PRINCIPIOS DEL ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA Y DEL ACONDICIONAMIENTO FÍSICO

G. Gregory Haff | N. Travis Triplett
Editores

NSCA® NATIONAL STRENGTH AND CONDITIONING ASSOCIATION



Paidotribo

Principios del entrenamiento de la fuerza y del acondicionamiento físico

Principios del entrenamiento de la fuerza y del acondicionamiento físico

G. Gregory Haff
Edith Cowan University, Western Australia
N. Travis Triplett
Appalachian State University, Boone, Carolina del Norte
Editores

Paidotribo

Título original: *Essentials of Strength Training and Conditioning* (4.ª edición)
Editores (de la cuarta edición): G. Gregory Haff y N. Travis Triplett
Copyright de la edición original: © 2016 (2008, 2000 y 1994), National Strength Training and Conditioning Association
Publicado según acuerdo con Human Kinetics, Champaign, Illinois (EUA)

Traducción: Pedro González del Campo
Corrección del texto: Aurora Zafra
Diseño de la cubierta: David Carretero
Edición: Lluís Cugota

© 2017, Editorial Paidotribo
Les Guixeres
C/ de la Energía, 19-21
08915 Badalona (España)
Tel.: 93 323 33 11 – Fax: 93 453 50 33
http://www.paidotribo.com
E-mail: paidotribo@paidotribo.com

Primera edición
ISBN: 978-84-9910-663-2
ISBN EPUB: 978-84-9910-742-4
BIC: WSD

Diseño de maqueta y preimpresión: Editor Service, S.L., Diagonal, 299; 08013 Barcelona

ÍNDICE

Prefacio
Agradecimientos
Créditos

CAPÍTULO 1 **Estructura y función de los sistemas corporales**
N. Travis Triplett

Sistema musculoesquelético • Sistema neuromuscular • Sistema cardiovascular • Sistema respiratorio • Conclusión • Ayudas al aprendizaje

CAPÍTULO 2 **Biomecánica del ejercicio resistido**
Jeffrey M. McBride

Musculatura esquelética • Planos anatómicos y principales movimientos del cuerpo • Fuerza y potencia • Fuentes de resistencia a la contracción muscular • Biomecánica articular: Problemas en el entrenamiento resistido • Conclusión • Ayudas al aprendizaje

CAPÍTULO 3 **Bioenergética del ejercicio y del entrenamiento**
Trent J. Herda y Joel T. Cramer

Terminología esencial • Sistemas biológicos de energía • Depleción y repleción de los sustratos • Factores bioenergéticos limitadores del rendimiento físico • Consumo de oxígeno y contribuciones aeróbicas y anaeróbicas al ejercicio • Especificidad metabólica del entrenamiento • Conclusión • Ayudas al aprendizaje

CAPÍTULO 4 **Respuestas endocrinas al ejercicio resistido**
William J. Kraemer, Jakob L. Vingren y Barry A. Spiering

Síntesis, almacenamiento y secreción de hormonas • El músculo como destino de las interacciones de las hormonas • Papel de los receptores de hormonas en la mediación de los cambios hormonales • Categorías de hormonas • Ejercicio resistido con grandes cargas e incremento de la secreción de hormonas • Mecanismos de las interacciones hormonales • Cambios hormonales en la sangre periférica • Adaptaciones del sistema endocrino • Hormonas anabólicas primarias • Hormonas de las glándulas suprarrenales • Otras consideraciones sobre las hormonas • Conclusión • Ayudas al aprendizaje

CAPÍTULO **5** **Adaptaciones a los programas de entrenamiento anaeróbico**
Duncan French

Adaptaciones neuronales • Adaptaciones musculares • Adaptaciones de los tejidos conjuntivos • Respuestas y adaptaciones endocrinas al entrenamiento anaeróbico • Respuestas cardiovascular y respiratoria al ejercicio anaeróbico • Compatibilidad de los modos de entrenamiento aeróbico y anaeróbico • Sobreentrenamiento • Desentrenamiento • Conclusión • Ayudas al aprendizaje

CAPÍTULO **6** **Adaptaciones a los programas de entrenamiento de la resistencia aeróbica**
Ann Swank y Carwyn Sharp

Respuestas agudas al ejercicio aeróbico • Adaptaciones crónicas al ejercicio aeróbico • Adaptaciones al entrenamiento de la resistencia aeróbica • Factores individuales y externos que influyen en las adaptaciones al entrenamiento de la resistencia aeróbica • Sobreentrenamiento: Definición, prevalencia, diagnóstico e indicadores potenciales • Conclusión • Ayudas al aprendizaje

CAPÍTULO **7** **Diferencias por edad y sexo, y sus implicaciones para el ejercicio resistido**
Rhodri S. Lloyd y Avery D. Faigenbaum

Niños • Mujeres atletas • Adultos mayores • Conclusión • Ayudas al aprendizaje

Psicología de la preparación y el

CAPÍTULO **8** **rendimiento atlético**
Traci A. Statler y Andrea M. DuBois

Papel de la psicología deportiva • Estado ideal de rendimiento • Gestión de la energía: Activación, ansiedad y estrés • Influencia de la activación y la ansiedad sobre el rendimiento • Motivación • Atención y centro de atención • Técnicas psicológicas para mejorar el rendimiento • Mejora de la adquisición y aprendizaje de destrezas motoras • Conclusión • Ayudas al aprendizaje

CAPÍTULO **9** **La salud y los factores nutricionales básicos**
Marie Spano

Papel de los especialistas en nutrición deportiva • Pautas básicas de alimentación • Macronutrientes • Vitaminas • Minerales • Líquido y electrolitos • Conclusión • Ayudas al aprendizaje

CAPÍTULO **10** **Estrategias nutricionales para potenciar el rendimiento**
Marie Spano

Nutrición antes, durante y después de la competición • Estrategias nutricionales para alterar la composición corporal • Trastornos de la conducta alimentaria • Conclusión • Ayudas al aprendizaje

CAPÍTULO **11** **Métodos y sustancias para mejorar el rendimiento**
Bill Campbell

Tipos de sustancias que mejoran el rendimiento • Hormonas • Suplementos dietéticos • Conclusión • Ayudas al aprendizaje

CAPÍTULO **12** **Principios de la selección y administración de pruebas**
Michael McGuigan

Razones para las pruebas • Terminología de las pruebas •

Evaluación de la calidad de las pruebas • Selección de pruebas • Administración de pruebas • Conclusión • Ayudas al aprendizaje

CAPÍTULO 13 **Administración, puntuación e interpretación de las pruebas seleccionadas**
Michael McGuigan

Parámetros de medición del rendimiento atlético • Protocolos y datos de resultados de pruebas seleccionadas • Evaluación estadística de los datos de las pruebas • Conclusión • Ayudas al aprendizaje

CAPÍTULO 14 **Calentamiento y entrenamiento de la flexibilidad**
Ian Jeffreys

Calentamiento • Flexibilidad • Tipos de estiramiento • Conclusión • Técnicas de estiramiento estático • Técnicas de estiramiento dinámico • Ayudas al aprendizaje

CAPÍTULO 15 **Técnica de los ejercicios de entrenamiento con pesas libres y con máquinas de pesas**
Scott Caulfield y Douglas Berninger

Fundamentos técnicos de los ejercicios • Vigilancia de ejercicios con pesas libres • Conclusión • Ejercicios del entrenamiento resistido • Ayudas al aprendizaje

CAPÍTULO 16 **Técnica de los modos alternativos de ejercicio y del entrenamiento con implementos no tradicionales**
G. Gregory Haff, Douglas Berninger y Scott Caulfield

Pautas generales • Métodos de entrenamiento con el peso del cuerpo • Métodos de entrenamiento del equilibrio y la estabilidad de la zona media • Métodos de entrenamiento con resistencia variable • Métodos de entrenamiento con implementos no tradicionales • Entrenamiento unilateral • Conclusión • Modos y

ejercicios no tradicionales • Ayudas al aprendizaje

CAPÍTULO 17 **Diseño de programas para el entrenamiento con resistencia**
Jeremy M. Sheppard y N. Travis Triplett

Principios de la prescripción de ejercicio anaeróbico • Paso 1: Análisis de las necesidades • Paso 2: Selección de ejercicios • Paso 3: Frecuencia del entrenamiento • Paso 4: Orden de los ejercicios • Paso 5: Carga del entrenamiento y repeticiones • Paso 6: Volumen • Paso 7: Períodos de descanso • Conclusión • Ayudas al aprendizaje

CAPÍTULO 18 **Diseño de programas y técnica para el entrenamiento pliométrico**
David H. Potach y Donald A. Chu

Fisiología y mecánica de la pliometría • Diseño de programas • Factores relacionados con la edad • Pliometría y otras formas de ejercicio • Problemas de seguridad • Conclusión • Ejercicios pliométricos • Ayudas al aprendizaje

CAPÍTULO 19 **Diseño de programas y técnica para el entrenamiento de la velocidad y la agilidad**
Brad H. DeWeese y Sophia Nimphius

Mecánica de la rapidez y la agilidad • Base neurofisiológica de la velocidad • Velocidad en carrera • Agilidad y capacidad para cambiar de dirección • Métodos para desarrollar la rapidez • Métodos para desarrollar la agilidad • Diseño de programas • Estrategias para el desarrollo de la velocidad • Estrategias para el desarrollo de la agilidad • Conclusión • Ejercicios de velocidad y agilidad • Ayudas al aprendizaje

CAPÍTULO 20 **Diseño de programas y técnica para el entrenamiento de la resistencia aeróbica**
Benjamin H. Reuter y J. Jay Dawes

Factores relacionados con la resistencia aeróbica • Diseño de un programa de resistencia aeróbica • Tipos de programas de entrenamiento de la resistencia aeróbica • Aplicación del diseño

de programas a las fases de entrenamiento de la temporada • Factores especiales relacionados con el entrenamiento de la resistencia aeróbica • Conclusión • Ejercicios de entrenamiento de la resistencia aeróbica • Ayudas al aprendizaje

CAPÍTULO **21** **Periodización**
G. Gregory Haff

Conceptos centrales relacionados con la periodización • Jerarquía de la periodización • Períodos de periodización • Aplicación de las temporadas deportivas a los períodos de periodización • Modelos de periodización lineal frente a ondulante • Ejemplo de plan anual de entrenamiento • Conclusión • Ayudas al aprendizaje

CAPÍTULO **22** **Rehabilitación y reacondicionamiento físico**
David H. Potach y Terry L. Grindstaff

Equipo de medicina del deporte • Tipos de lesiones • Curación tisular • Metas de la rehabilitación y el reacondicionamiento físico • Diseño de programas • Reducción del riesgo de lesiones y recaídas • Conclusión • Ayudas al aprendizaje

CAPÍTULO **23** **Diseño, distribución y organización de las instalaciones**
Andrea Hudy

Aspectos generales del diseño de nuevas instalaciones • Instalaciones existentes para el desarrollo de la fuerza y el acondicionamiento físico • Evaluación de las necesidades de los programas deportivos • Diseño de instalaciones para el desarrollo de la fuerza y el acondicionamiento físico • Disposición del material deportivo en las instalaciones para el desarrollo de la fuerza y el acondicionamiento físico • Limpieza y mantenimiento de superficies y material deportivo • Conclusión • Ayudas al aprendizaje

CAPÍTULO **24** **Principios, intervenciones y temas legales relacionados con las instalaciones**
Traci Statler y Victor Brown

Declaración de objetivos y metas del programa • Objetivos del programa • Equipo de especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico • Problemas éticos y legales • Políticas de relaciones con el personal y actividades • Administración de las instalaciones • Planificación de la preparación y respuesta ante emergencias. • Conclusión • Ayudas al aprendizaje

Respuestas a las preguntas de repaso
Bibliografía
Índice alfabético
Editores
Colaboradores
Colaboradores en ediciones anteriores

PREFACIO

En 1994 se publicó la primera edición de *Principios del entrenamiento de la fuerza y del acondicionamiento físico*. Tras una segunda edición (en 2000) y más de cien mil ejemplares vendidos, se publicó una tercera edición revisada y ampliada en 2008. Esta nueva edición continúa la tradición que lo ha convertido en el manual de texto más completo del mercado para los profesionales de la fuerza y el acondicionamiento físico. En este manual, treinta expertos profundizan más aún si cabe en las teorías, conceptos y principios científicos del entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico, así como en sus aplicaciones para el rendimiento deportivo.

La primera edición surgió al concienciarnos de que en el panorama editorial no había libro alguno sobre el entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico que contuviese la opinión de profesionales destacados en los campos de la anatomía, la bioquímica, la biomecánica, la endocrinología, la nutrición, la fisiología del ejercicio, la psicología y otras ciencias, ni tampoco que incorporase los principios de estas disciplinas a la creación de programas de entrenamiento seguros y eficaces. Además, la falta de estudios de investigación relevantes y bien dirigidos complicaron los primeros esfuerzos por crear un libro de horizontes tan ambiciosos. Una vez que estuvo listo, *Principios del entrenamiento de la fuerza y del acondicionamiento físico* se convirtió rápidamente en el manual definitivo sobre la materia.

La segunda edición, que vio la luz seis años más tarde, fue algo más que un lavado de cara del contenido; fue una revisión del alcance y aplicación de la primera edición. En todo el texto y en las más de cien páginas adicionales, los colaboradores recurrieron a conceptos e investigaciones modernas, relevantes y concluyentes para convertir información científica en información aplicable al rendimiento. Se añadieron muchas herramientas de aprendizaje, como los objetivos de los capítulos, los puntos clave, los cuadros con explicaciones y aplicaciones prácticas, y muestras de programas de entrenamiento resistido para tres deportes distintos. Estas mejoras, junto con la presentación a todo color con cientos de fotografías, hicieron que la segunda edición fuese realmente excepcional.

La tercera edición, que salió de imprenta ocho años después de la segunda edición, ofreció capítulos reestructurados y ampliaciones de otros capítulos, completados con nuevas fotografías y con la terminología actualizada. Además, la maquetación se modernizó y se crearon nuevos recursos para profesores y estudiantes con el fin de que este manual siguiera siendo el libro de referencia para el estudio e instrucción de la fuerza y el acondicionamiento físico.

Actualizaciones de la cuarta edición

Esta cuarta edición amplía las ediciones anteriores y aplica la información e investigaciones más modernas en un formato lógico que reafirma el papel de *Principios del entrenamiento de la fuerza y del acondicionamiento físico* como el manual más importante para los estudiantes que buscan trabajar en estos campos y para los especialistas de la ciencia del deporte dedicados al entrenamiento de atletas. Estas son las mejoras principales:

- Estudios de investigación actualizados –específicamente en áreas de entrenamiento interválico de alta intensidad, sobreentrenamiento, agilidad y cambios de dirección, nutrición para la salud y el rendimiento, y periodización– ayudan a los lectores a entender mejor estas tendencias populares de la industria.
- Un nuevo capítulo con instrucciones y fotos que muestra técnicas para ejercicios con modos alternativos e implementos no tradicionales.
- Diez pruebas adicionales, entre otras para la fuerza máxima, la potencia y la capacidad aeróbica, junto con nuevos ejercicios de flexibilidad, ejercicios para el entrenamiento resistido, ejercicios pliométricos y ejercicios de velocidad y agilidad, que ayudan a los especialistas a diseñar programas que lleven a la práctica las pautas actuales.

Todos los capítulos empiezan con los objetivos y puntos clave para que el lector se desenvuelva bien con la lectura. Los términos clave se recalcan en negrita y aparecen en una lista al final de los capítulos. Los capítulos incorporan recuadros en los que se muestra la aplicación práctica del contenido, mientras que capítulos posteriores contienen muestras de programas de entrenamiento resistido para tres deportes distintos. Se suministran instrucciones detalladas y fotografías sobre las pruebas, los

estiramientos, el entrenamiento resistido, los modos alternativos de ejercicio, los ejercicios pliométricos, el entrenamiento de agilidad y el ejercicio aeróbico de fondo. Por último, los capítulos concluyen con preguntas de opciones múltiples cuyas respuestas aparecen al final del libro.

Principios del entrenamiento de la fuerza y del acondicionamiento físico es el recurso principal para personas que se preparan para el examen de titulación de Especialista titulado en Entrenamiento de la Fuerza y el Acondicionamiento (CSCS).

Como autoridad mundial en la fuerza y el acondicionamiento, la National Strength and Conditioning Association (NSCA) respalda y divulga los conocimientos basados en estudios de investigación, así como su aplicación práctica para mejorar la condición física y el rendimiento atlético. Con más de treinta mil miembros en más de cincuenta países, la NSCA se ha sabido establecer como una asociación internacional para la teoría y la práctica, así como la investigación sobre la fuerza y el acondicionamiento.

Las titulaciones de CSCS y NSCA-CPT fueron las primeras de su clase en gozar de acreditación nacional por la National Commission for Certifying Agencies (Comisión Nacional para Agencias de Certificación), una agencia no gubernamental sin ánimo de lucro de Washington, DC, la cual establece normas a nivel nacional para las agencias de certificación. Hasta la fecha, más de cuarenta mil especialistas de setenta y cinco países tienen una o más titulaciones de la NSCA.

Tanto si se usa para aprender los fundamentos del entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico, como para prepararse para un examen de titulación, o como libro de consulta para los especialistas, *Principios del entrenamiento de la fuerza y del acondicionamiento físico* ayudará a los practicantes y a la comunidad científica a entender mejor el modo de desarrollar y administrar programas seguros y eficaces para el entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico.

rígido en el filamento de actina, con lo cual permite la producción de fuerza mientras los filamentos de actina se ven desplazados hacia el centro del sarcómero (1). Es importante entender que la cantidad de fuerza producida por un músculo en cualquier instante está directamente relacionada con el número de puentes cruzados de miosina unidos transversalmente a filamentos de actina en ese instante (1).

Conceptos destacados

- El número de puentes cruzados que se forman entre los filamentos de actina y miosina en cualquier instante dictamina la producción de fuerza de un músculo.

Fase de contracción. La energía para la tracción, o **golpe de potencia**, proviene de la hidrólisis (catabolismo) de trifosfato de adenosina (ATP) o difosfato de adenosina (ADP) y fosfato, una reacción catalizada por la enzima adenosintrifosfatasa (ATPasa). Otra molécula de ATP debe reemplazar el ADP en la cabeza globular del puente cruzado de miosina para que la cabeza se desprenda de la actina activa y vuelva a su posición inicial. Esto permite continuar el proceso de contracción (si hay calcio disponible para unirse a la troponina) o que sobrevenga la relajación (si no hay calcio disponible). Hay que reparar en que el calcio desempeña un papel en la regulación de gran número de procesos en el músculo esquelético además de la contracción, como el metabolismo energético oxidativo y glucolítico, y también la síntesis y degradación de proteínas (10).

- El calcio y el ATP son necesarios para la acción cíclica de formación de puentes cruzados entre los filamentos de actina y miosina.

Fase de recarga. El acortamiento apreciable del músculo solo se refleja cuando esta secuencia de acontecimientos —unión del calcio a la troponina, acoplamiento de los puentes cruzados de miosina con actina, golpe de potencia, disociación de actina y miosina, y restitución de la posición de la cabeza de la miosina— se repite una y otra vez en la fibra muscular. Eso sucede siempre y cuando haya calcio disponible en las miofibrillas y ATP utilizable para colaborar en el desacoplamiento de la miosina de la actina, y se disponga de suficiente miosina ATPasa activa para catalizar la degradación de ATP.

Fase de relajación. La relajación ocurre cuando se detiene la estimulación del nervio motor. Se bombea calcio de vuelta al retículo sarcoplasmático, lo cual impide la unión entre filamentos de actina y miosina. La relajación se obtiene mediante la vuelta de los filamentos de actina y miosina a su estado de desunión.

Sistema neuromuscular

Las fibras musculares están inervadas por motoneuronas que transmiten impulsos en forma de señales electroquímicas de la médula espinal al músculo. Las motoneuronas contienen por lo general numerosos ramos terminales al final de su axón y, por tanto, inervan muchas fibras musculares diferentes. La estructura entera es la que determina el tipo de fibras musculares y sus características, su función y participación en el ejercicio.

Activación de los músculos

Cuando una motoneurona emite un impulso o potencial de acción, todas las fibras que inerva se activan simultáneamente y se genera fuerza. El grado de control de un músculo depende del número de fibras musculares en cada unidad motora. Los músculos que deben actuar con gran precisión, como los músculos oculomotores, tal vez presenten unidades motoras con solo una fibra muscular por motoneurona. Los cambios en el número de unidades motoras activas de estos pequeños músculos producen gradaciones muy sutiles en la fuerza necesaria para los movimientos precisos del globo ocular. En contraste, el grupo muscular del cuádriceps, que mueve la pierna con mucha menos precisión, tal vez presente varios cientos de fibras inervadas por una motoneurona.

Recuadros de ampliación

Pasos de la contracción muscular

Los pasos de la contracción muscular se resumen de la manera siguiente:

1. El inicio del desdoblamiento de ATP por la miosina ATPasa provoca que la cabeza de la miosina asuma un estado energizado que le permite adoptar una posición en la que es capaz de formar un enlace con actina.
2. La liberación de fosfato en el proceso de desdoblamiento de ATP hace que la cabeza de miosina cambie de forma y se desplace.
3. Esto a su vez desplaza el filamento de actina hacia el centro del sarcómero y recibe el nombre de golpe de potencia; a continuación, se libera ADP.
4. Una vez que ha ocurrido el golpe de potencia, la cabeza de miosina se desprende de la actina, pero solo después de que otra molécula de ATP se una a la cabeza de miosina porque el proceso de unión facilita el desprendimiento.
5. La cabeza de miosina está lista para unirse a otra actina (como se describe en el paso 1), por lo que el ciclo continúa siempre y cuando haya ATP y ATPasa presentes y el calcio se una a la troponina.

15.15 ABERTURAS CON MANCUERNAS EN DECÚBITO SUPINO (Y VARIACIÓN EN BANCA INCLINADA)

Este ejercicio también se practica en un banco inclinado. Si se utiliza esta variación, comenzaremos colocando las mancuernas por encima de la cabeza y de la cara en lugar de por encima del pecho.

Postura inicial: El atleta

- Se agarran dos mancuernas con una empuñadura cerrada y neutra.
- Nos tumbamos en decúbito supino en un banco inclinado en la postura de cinco apoyos.
- Pedimos la asistencia del ayudante para colocar las mancuernas en la posición inicial.
- Practicamos el *press* con las mancuernas al unísono hasta una posición con los codos extendidos por encima del pecho.
- Flexionamos ligeramente los codos para que apunten hacia los lados.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Postura inicial: El ayudante

- Apoyamos una rodilla en el suelo con el pie de la otra pierna totalmente apoyado en el suelo (o nos arrodillamos con las dos piernas).
- Asimos los antebrazos del atleta cerca de las muñecas.
- A petición del atleta, le ayudamos a levantar las mancuernas hasta una posición por encima del pecho.
- Soltamos suavemente los antebrazos del atleta.

Fase de movimiento descendente: El atleta

- Las mancuernas descienden abriendo un arco amplio hasta que estén a nivel de los hombros o el pecho.
- Mantenemos los ejes de las mancuernas paralelos entre sí mientras los codos descienden.
- Se mantienen las rodillas rígidas y los codos en una posición ligeramente flexionada.
- Se mantienen las manos, muñecas, antebrazos, codos, brazos y hombros en el mismo plano vertical.
- Se mantiene la posición del cuerpo con cinco puntos de contacto.

Fase de movimiento descendente: El ayudante

- Se mantienen las manos cerca, pero no en contacto, con los antebrazos del atleta, próximas a las muñecas, mientras descienden las mancuernas.

Fase de movimiento ascendente: El atleta

- Se elevan las mancuernas acercándose una a la otra en un amplio arco de vuelta a la posición inicial.
- Se mantienen las muñecas rígidas y los codos en una posición ligeramente flexionada.
- Se mantienen las manos, muñecas, antebrazos, codos, brazos y hombros en el mismo plano vertical.
- Se mantiene la posición del cuerpo con cinco puntos de contacto.

Fase de movimiento ascendente: El ayudante

- Se mantienen las manos cerca, pero no en contacto, con los antebrazos del atleta, próximas a las muñecas, mientras ascienden las mancuernas.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Pectoral mayor, cara anterior del deltoides



Posiciones iniciales.



Movimientos descendente y ascendente.

Fotos de los ejercicios

Términos clave

Preguntas de repaso

TÉRMINOS CLAVE

célula del tejido de destino
complejo receptor de hormona (H-RC)
enzima proteolítica
glándula endocrina
hormona
  anabólica
  catabólica
  esteroidea
  polipeptídica
  tiroidea
inmunología neuroendocrina
mensajero secundario
neuroendocrinología
punto de unión alostérico
reactividad cruzada
regulación decreciente
síndrome general de adaptación
teoría de la cerradura y la llave
variación diurna (nivel hormonal)

PREGUNTAS DE REPASO

(respuestas en la página 657)

1. Tras una tanda de entrenamiento resistido, las secreciones hormonales agudas proporcionan toda la información siguiente al cuerpo, EXCEPTO:
   a. El grado de esfuerzo fisiológico.
   b. Las exigencias metabólicas del ejercicio.
   c. El tipo de esfuerzo fisiológico.
   d. La energía gastada.

2. ¿Cuál de las siguientes hormonas potencian el crecimiento del tejido muscular?
   I. Hormona del crecimiento.
   II. Cortisol.
   III. IGF-1.
   IV. Progesterona.
   a. Solo I y III.
   b. Solo II y IV.
   c. Solo I, II y III.
   d. Solo II, III y IV.

3. ¿Cuál de las siguientes NO es una función de la hormona del crecimiento?
   a. Aumento de la lipólisis.
   b. Disminución de la síntesis de colágeno.
   c. Aumento del transporte de aminoácidos.
   d. Disminución de la utilización de glucosa.

4. ¿Cuál de las siguientes hormonas tiene la máxima influencia sobre los cambios neuronales?
   a. Hormona del crecimiento.
   b. Testosterona.
   c. Cortisol.
   d. IGF.

5. ¿Qué tipo de sesión de entrenamiento resistido favorece los máximos incrementos de la hormona del crecimiento tras una sesión de ejercicio?

	Descanso	*Volumen*	*Series*
a.	30 segundos	Alto	3
b.	30 segundos	Bajo	1
c.	3 minutos	Alto	1
d.	3 minutos	Bajo	3

AGRADECIMIENTOS

La realización de la cuarta edición de *Fundamentos del entrenamiento de la fuerza y la condición física* de la NSCA fue una empresa ciclópea que habría sido imposible sin la contribución de un gran número de personas. Los orígenes históricos de esta obra señera han sido nuestro *leitmotiv*, igual que la dura labor de los numerosos autores que han contribuido en las tres ediciones previas ha sido el fundamento vital de este libro. Por eso, damos las gracias a los anteriores directores, Thomas Baechle y Roger Earle, por la previsión que tuvieron veinte años atrás y que nos ha llevado adonde hoy estamos, y por su labor apasionada en todas las ediciones previas. Esta edición no habría sido posible sin la contribución constante de Roger Earle, que ha ido más allá de su deber como representante de Human Kinetics. Es un amigo de verdad y ha colaborado en muchos aspectos de este libro y de nuestro trabajo de redacción.

También queremos dar las gracias a Keith Cinea y Carwyn Sharp por su ayuda en todo el proceso. Ambos han sido buenos representantes de la NSCA y han dejado clara la ciencia en la que se basa nuestra profesión y que determina el contenido de este libro. Como es una fuente clave para los profesionales presentes y futuros de la fuerza y la condición física, era esencial garantizar que este libro cumpliese realmente la misión de la NSCA de llevar la ciencia a la práctica, y tanto Keith como Carwyn son embajadores de esta filosofía. Gracias, asimismo, a tantos trabajadores de Human Kinetics que fueron esenciales para completar todas las fases de la publicación de este libro, desde la redacción y corrección de estilo hasta el diseño gráfico. Probablemente nuestro mayor agradecimiento sea para Chris Drews y Karla Walsh, nuestra redactora de contenidos y nuestra redactora jefe, quienes ayudaron de muy diversas maneras a dos directores novatos. Sin Chris y Karla es muy probable que nos hubiésemos perdido en el proceso.

G. Gregory Haff, PhD, CSCS, *D, FNSCA

A mi codirector y viejo amigo Travis Triplett. No se me ocurre otra persona con la que quisiera editar un libro de esta magnitud. Su bondad y tolerancia

casan a la perfección con mi metodología despiadada durante procesos como este. ¡Gracias por ser uno de mis mejores amigos!

Tengo que dar las gracias a mi familia. Mi esposa, Erin, ha sacrificado todo con el fin de darme libertad para perseguir mis sueños y emprender proyectos como este. Sin su apoyo estaría atrapado bajo el peso aplastante de la vida. Es una bendición contar con alguien fuerte que te respalde cuando vienen mal dadas, y por eso te quiero más de lo que te imaginas. A mi padre, Guy Haff; dudo que alguna vez pensaras que levantar pesas se convertiría en la profesión de mi vida cuando me llevaste a la YMCA de West Morris con once años de edad para que me enseñaran halterofilia. Sin aquello no me imagino quién sería yo en este momento. Por último, debo dedicar mi trabajo a mi madre, Sandra Haff. No importa dónde estés ahora. Espero que sigas estando orgullosa del hombre que soy y del hombre que me esfuerzo en ser día tras día. Te echo mucho de menos, mamá, y ojalá estuvieses aquí para que vieses tantas cosas estupendas que han ocurrido.

N. Travis Triplett, PhD, CSCS, *D, FNSCA

Ni en mis sueños más optimistas habría imaginado que dar mi primera clase de halterofilia mientras estudiaba en la universidad culminaría en un trabajo tan gratificante en el campo de la fuerza y la preparación física. Es complicado dar las gracias a todas las personas que han influido en que llegase a este punto de mi existencia y de mi vida profesional, y me pudiese embarcar con entusiasmo en este proyecto. Tuve la suerte de recibir una formación sólida de mis padres; ojalá pudieseis estar los dos aquí y ver que seguí el ejemplo que me disteis. También quisiera dar las gracias a mi círculo de amigos, que siempre me han brindado su apoyo y han estado ahí para animarme. A nivel profesional, quienes más han influido en mí han sido Mike Stone y Bill Kraemer. Aprecio enormemente su tutoría intelectual y su amistad. Numerosos colegas y antiguos estudiantes de todo el mundo han colaborado por el camino en mi formación y éxito, y valoro lo que habéis hecho todos y cada uno de vosotros, aunque no nos veamos con mucha frecuencia.

Por último, a mi codirector y buen amigo Greg Haff. ¿Quién se hubiese imaginado que los ratos compartidos durante las comidas, hablando de la fuerza y la preparación física mientras cursábamos estudios de posgrado, nos conduciría a esto? Espero compartir contigo muchos más años de amistad y

colaboración.

CRÉDITOS

Figura 2.10 Reproducido, con autorización, de Harman, E.A., Johnson, M. y Frykman, P.N. (1992). A movement-oriented approach to exercise prescription. *NSCA Journal* 14(1):47-54.
Figura 2.13 Reproducido de Jorgensen, K. (1976). Force-velocity relationship in human elbow flexors and extensors. En: Komi, P.V. (ed). *Biomechanics A-V*. Baltimore, MD: University Park Press, p. 147. Con autorización de P.V. Komi.
Tabla 5.3 Reproducido, con autorización, de Fry, A. (1993). «Physiological responses to short-term high intensity resistance exercise overtraining». Ph.D. Diss., The Pennsylvania State University; Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A, Gleeson, M. *et al*. (2013). Prevention, diagnosis, and treatment of the over training syndrome: Joint consensus statement of the European College of Sports Science and the American College of Sports Medicine. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 45:186-205.
Figura 7.2 Reproducido, con autorización, de Faigenbaum, A.D. *et al*. (2013). Youth resistance training; past practices, new perspectives and future directions. *Pediatric Exercise Science* 25:591-604.
Figura 8.1 Reproducido, con autorización, de Weinberg, R.S. y Gould, D. (2015). *Foundations of sport and exercise psychology*, 6.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics, p. 79.
Figura 8.2 Reproducido, con autorización, de Hatfield, B.D. y Walford, G.A. (1987). Understanding anxiety: Implications for sport performance. *NSCA Journal* 9(2):60-61.
Tabla 9.6 Adaptado, con autorización, de Foster-Powell, K., Holt, S. y Brand-Miller, J.C. (2002). International table of glycemic index and glycemic load values. *American Journal of Clinical Nutrition* 76:5-56.
Figura 13.6 Adaptado, con autorización, de Gilliam, G.M. (1983). 300 yard shuttle run. *NSCA Journal* 5(5):46.
Figura 13.11 Adaptado, con autorización, de Semenick, D. (1990). Tests and measurements: The T-test. *NSCA Journal* 12(1):36-37.
Figura 13.12 Adaptado, con autorización, de Pauole K. *et al*. (2000). Reliability and validity of the T-test as a measure of agility, leg power, and

leg speed in college age males and females. *Journal of Strength and Conditioning Research* 14:443-450.

Figura 13.16 Reproducido, con autorización, de Reiman, M.P. (2009). *Functional testing in performance*. Champaign, IL: Human Kinetics, p. 109.

Tabla 13.1 Adaptado, con autorización, de Hoffman, J. (2006). *Norms for fitness, performance, and health*. Champaign, IL: Human Kinetics, pp. 36-37.

Tabla 13.2 Reproducido, con autorización, de Hoffman, J. (2006). *Norms for fitness, performance, and health*. Champaign, IL: Human Kinetics, pp. 36-37

Tabla 13.3 Reproducido, con autorización, de Hoffman, J. (2006). *Norms for fitness, performance, and health*. Champaign, IL: Human Kinetics, p. 38.

Tabla 13.6 Reproducido, con autorización, de Hoffman, J. (2006). *Norms for fitness, performance, and health*. Champaign, IL: Human Kinetics, p. 58; adaptado de Chu, D.A. (1996). *Explosive power and strength*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Tabla 13.22 Reproducido, con autorización, de Hoffman, J. (2006). *Norms for fitness, performance, and health*. Champaign, IL: Human Kinetics, p. 113.

Tabla 13.25 Adaptado, con autorización, de Heyward, V.H. (1998). *Advanced fitness assessment and exercise prescription*, 3.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics, p. 155.

Tabla 13.26 Adaptado, con autorización, de Heyward, V.H. (1998). *Advanced fitness assessment and exercise prescription*, 3.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics, p. 12.

Tabla 16.1 Adaptado, con autorización, de McMaster D.T., Cronin, J. y McGuigan, M. (2009). Forms of variable resistance training. *Strength & Conditioning Journal* 31:50-64.

Tabla 16.2 Adaptado, con autorización, de McMaster D.T., Cronin, J. y McGuigan, M. (2010). Quantification of rubber and chain-based resistance modes. *Journal of Strength and Conditioning Research* 24:2056-2064.

Figura 17.1 Reproducido, con autorización, de Earle, R.W. (2006). Weight training exercise prescription. En: *Essentials of personal training symposium workbook*. Lincoln, NE: NSCA Certification Commission.

Figura 17.2 Reproducido, con autorización, de Earle, R.W. (2006). Weight training exercise prescription. En: *Essentials of personal training symposium workbook*. Lincoln, NE: NSCA Certification Commission.

Figura 19.11 Reproducido, con autorización, de Plisk, S.S. y Gambetta, V. (1997). Tactical metabolic training. *Strength & Conditioning* 19(2):44-53.

Tabla 19.4 Adaptado, con autorización, de Nimphius, S. (2014). Increasing

agility. En: Joyce, D. y Lewindon, D. (eds.) *High-performance training for sports*. Champaign, IL: Human Kinetics, p. 194.

Tabla 19.5 Adaptado, con autorización, de Nimphius, S. (2014). Increasing agility. En: Joyce, D. y Lewindon, D. (eds.). *High-performance training for sports*. Champaign, IL: Human Kinetics, pp. 185-198.

Tabla 20.2 Reproducido, con autorización, de Hagerman. P. (2012). Aerobic endurance training program design. En: Coburn J.W. y Malek M.H. (eds.). *NSCA's essentials of personal training*. 2.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics, p. 395.

Figura 21.1 Adaptado, con autorización, de Haff, G.G. y Haff, E.E. (2012). Training integration and periodization. En: Hoffman J. (ed.). *NSCA's guide to program design*. Champaign, IL: Human Kinetics, p. 215.

Figura 21.2 Adaptado, con autorización, de Haff, G.G. y Haff, E.E. (2012). Training integration and periodization. En: Hoffman J. (ed.). *NSCA's guide to program design*. Champaign, IL: Human Kinetics, p. 216.

Figura 21.3 Adaptado, con autorización, de Haff, G.G. y Haff, E.E. (2012). Training integration and periodization. En: Hoffman J. (ed.). *NSCA's guide to program design*. Champaign, IL: Human Kinetics, p. 219.

Tabla 21.1 Adaptado, con autorización, de Haff, G.G. y Haff, E.E. (2012). Training integration and periodization. En: Hoffman J. (ed.). *NSCA's guide to program design*. Champaign, IL: Human Kinetics, p. 220.

Figura 21.4 Reproducido, con autorización, de Haff, G.G. y Haff, E.E. (2012). Training integration and periodization. En: Hoffman J. (ed.). *NSCA's guide to program design*. Champaign, IL: Human Kinetics, p. 223; adaptado de la figura 11.7, p. 2239. Reproducido de Stone, Michael H. y O'Bryant, Harold S. (1987). *Weight Training: A Scientific Approach*, 2.ª ed. Burgess.

Tabla 23.1 Adaptado, con autorización, de Kroll, W. (1991). Structural and functional considerations in designing the facility, part I. *NSCA Journal* 13(1):51-58.

Figura 23.6 Adaptado, con autorización, de Earle, R.W. y Baechle, T.R. (eds.) (2004). *NSCA's essentials of personal training*. Champaign, IL: Human Kinetics, pp. 604-606.

Tabla 24.1 Adaptado, con autorización, de NSCA (2009). *Strength & conditioning professional standards and guidelines*. Colorado Springs, CO: NSCA, p. 17.

Figura 24.3 Reproducido, con autorización, de Earle, R.W. (1993). *Staff and facility policies and procedures manual*. Omaha, NE: Creighton University.

Tabla 24.2 Adaptado, con autorización, de NSCA (2011). *Performance training center emergency policies and procedures manual*. Colorado Springs, CO: NSCA, p. 3.

CAPÍTULO 1

Estructura y función de los sistemas corporales

N. Travis Triplett*

A la conclusión del capítulo, el lector:

- Describirá la macroestructura y microestructura del músculo y el hueso.
- Expondrá la teoría de los filamentos deslizantes de la contracción muscular.
- Referirá las características fisiológicas y morfológicas específicas de distintos tipos de fibras musculares y podrá predecir su participación relativa en diferentes deportes.
- Especificará las características fisiológicas y anatómicas de los sistemas respiratorio y cardiovascular.

* El autor agradece la significativa aportación de Robert T. Harris y Gary R. Hunter en la redacción de este capítulo.

El ejercicio físico y el rendimiento deportivo exigen del cuerpo movimientos voluntarios eficaces. Tales movimientos son producto de las fuerzas que desarrollan los músculos y que mueven las distintas partes del cuerpo usando los sistemas de palancas del esqueleto. Los músculos esqueléticos están bajo control de la corteza cerebral, que activa las fibras o las células de músculo esquelético por medio de las motoneuronas del sistema nervioso periférico. El mantenimiento de esta actividad neuromuscular implica un aporte constante de oxígeno y nutrientes a los músculos activos, así como la eliminación del dióxido de carbono y los desechos metabólicos de los tejidos activos mediante la actividad de los sistemas respiratorio y cardiovascular.

Para aplicar los conocimientos científicos al entrenamiento de atletas y al

desarrollo de programas eficaces de entrenamiento, los especialistas en fuerza y acondicionamiento físico deben poseer conocimientos básicos de la función musculoesquelética y de los sistemas corporales que respaldan directamente el trabajo de los músculos ejercitados. Por ello, este capítulo profundiza en aspectos de la anatomía y función de los sistemas musculoesquelético, neuromuscular, cardiovascular y respiratorio, que son esenciales para el desarrollo y mantenimiento de la fuerza y la potencia musculares.

Sistema musculoesquelético

El sistema musculoesquelético del cuerpo humano es una configuración de huesos, articulaciones, músculos y tendones capaces de realizar la gran variedad de movimientos característicos de la actividad humana. En esta sección se describen los diferentes componentes del sistema musculoesquelético, tanto individualmente como en el ámbito de su funcionamiento conjunto.

El esqueleto

Los músculos del cuerpo no ejercen su fuerza directamente contra el suelo u otros objetos, sino sobre los huesos, que giran sobre las articulaciones y transmiten la fuerza al medio externo. Los músculos solo pueden tirar, no empujar; sin embargo, a través del sistema de palancas de huesos, las fuerzas de tracción de los músculos se manifiestan como fuerzas de tracción o empuje sobre objetos externos.

Hay aproximadamente doscientos seis huesos en el cuerpo, aunque el número es variable. Esta estructura resistente y relativamente ligera proporciona palancas, soporte y protección (figura 1.1). El **esqueleto axial** se compone del cráneo, la columna vertebral (desde la vértebra C1 hasta el cóccix), las costillas y el esternón. El **esqueleto apendicular** consta de la cintura escapular (escápulas y clavículas derechas e izquierdas); los huesos de los brazos, muñecas y manos (húmero, radio, cúbito, huesos carpianos, huesos metacarpianos y falanges de las extremidades superiores derecha e izquierda); la cintura pélvica (hueso coxal o innominado derecho e izquierdo), y los huesos de las piernas, tobillos y pies (fémur, rótula, tibia, peroné, huesos del tarso, huesos metatarsianos y falanges de las extremidades inferiores derecha e izquierda).

Las uniones entre los huesos se denominan *articulaciones*. Las

articulaciones fibrosas (p. ej., las suturas del cráneo) no admiten prácticamente ningún movimiento; las **articulaciones cartilaginosas** (p. ej., los discos intervertebrales) permiten un movimiento limitado, y las **articulaciones sinoviales** (p. ej., el codo y la rodilla) permiten un movimiento considerable. Los movimientos practicados durante el ejercicio y los deportes dependen principalmente de las articulaciones sinoviales, cuyas características más importantes son el escaso rozamiento y el amplio grado de movilidad. Los extremos de los huesos articulados están recubiertos de **cartílago hialino** liso, y toda la articulación está encerrada en una cápsula llena de **líquido sinovial**. Suele haber también ligamentos y cartílagos que aportan un soporte adicional (13).

Prácticamente todos los movimientos articulares son movimientos rotatorios sobre un eje. Las articulaciones se clasifican según el número de direcciones en que se produce la rotación. Las **articulaciones monoaxiales**, como el codo, se mueven como bisagras y giran alrededor de un único eje. Aunque a menudo se la clasifica como una *articulación troclear*, su eje de rotación cambia mientras recorre su arco de movilidad. Las **articulaciones biaxiales**, como el tobillo y la muñeca, generan movimiento sobre dos ejes perpendiculares. Las **articulaciones multiaxiales**, como las articulaciones esferoideas del hombro y la cadera, producen movimiento alrededor de tres ejes perpendiculares que definen el espacio.

La **columna vertebral** está compuesta por vértebras separadas por discos flexibles para que haya movimiento. Las vértebras se agrupan en siete vértebras cervicales en la región del cuello; doce vértebras torácicas en la zona media a superior de la espalda; cinco vértebras lumbares componen la porción inferior de la espalda; cinco vértebras sacras fusionadas que integran la porción final de la pelvis, y de tres a cinco vértebras coccígeas que forman una cola vestigial interna que se extiende inferiormente desde la pelvis.

¿Qué factores influyen en el crecimiento esquelético del adulto?

Hay varios aspectos que influyen positivamente en el esqueleto adulto, la mayoría dependientes del empleo que se haga de los músculos. Cuando el cuerpo soporta cargas pesadas (trabajo físico y entrenamiento resistido), el hueso aumenta su densidad y también su contenido mineral óseo. Si el cuerpo realiza movimientos explosivos con impacto, también se producen cambios similares. Algunas de las mayores densidades óseas se han documentado en personas que practican gimnasia u otras actividades en que se desarrollan movimientos de mucha fuerza y elevada potencia, algunos con aterrizajes

duros (11). Otros factores que influyen en las adaptaciones óseas dependen de si el esqueleto axial se somete a cargas y de la frecuencia con que esto ocurre. Puesto que el período de adaptación del hueso es más largo que el del músculo esquelético, es importante variar la frecuencia, intensidad y tipo de estímulo.

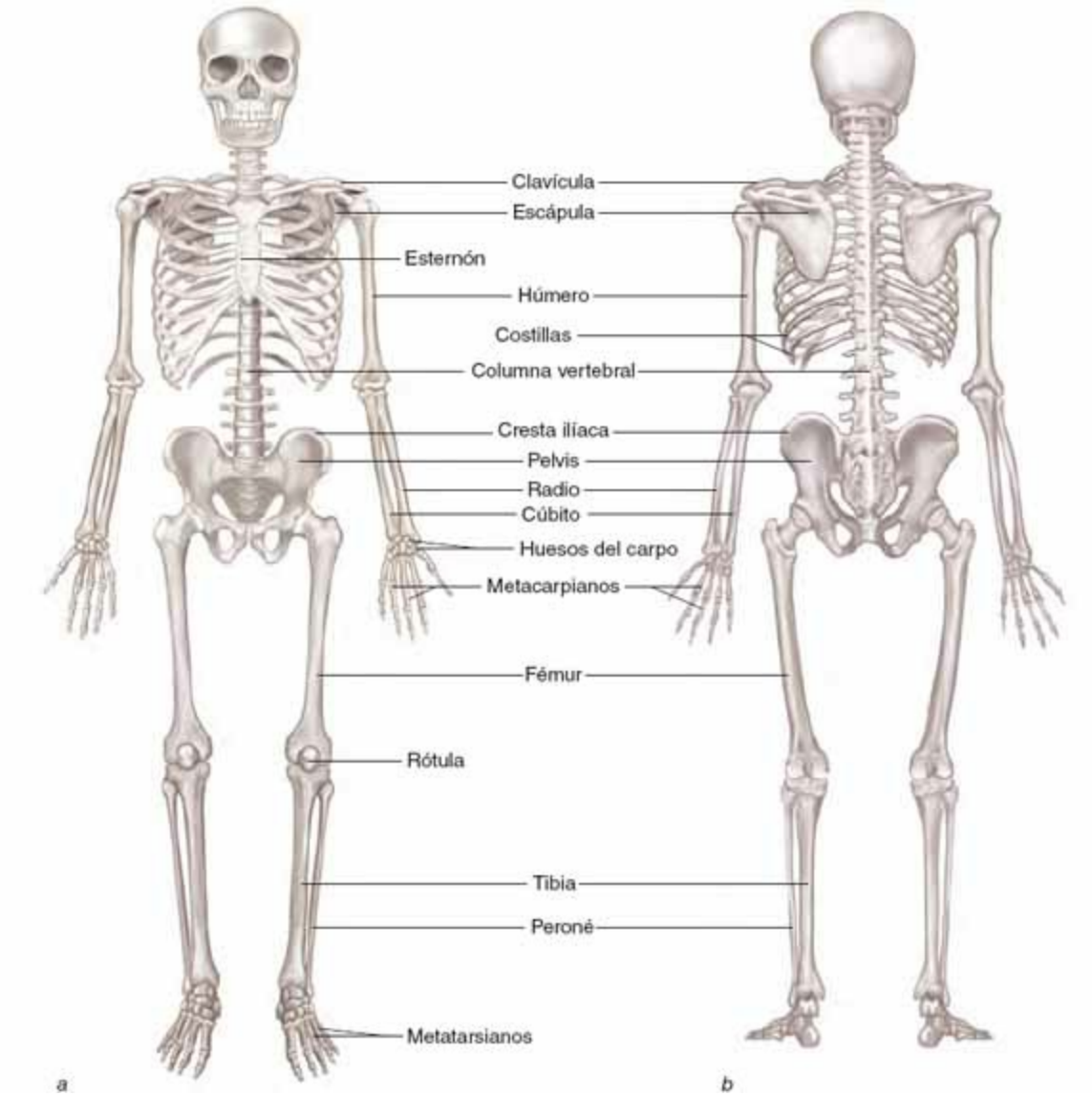


FIGURA 1.1 Vistas anterior (*a*) y posterior (*b*) del esqueleto de un varón adulto.

Musculatura esquelética

En la figura 1.2 se expone el sistema de músculos que dotan de movimiento al esqueleto. Los puntos de conexión entre los huesos son las articulaciones, y los músculos esqueléticos se insertan en los huesos por sus extremos. Sin esta disposición no se producirían movimientos.

Macroestructura y microestructura musculoesqueléticas

Los músculos esqueléticos son órganos compuestos de tejido muscular, tejido conjuntivo, nervios y vasos sanguíneos. El tejido conjuntivo fibroso, o **epimisio**, recubre los más de cuatrocientos treinta músculos esqueléticos del cuerpo. El epimisio es contiguo a los tendones en los extremos del músculo (figura 1.3). El **tendón** se inserta en el periostio, un tejido conjuntivo especializado que recubre todos los huesos; cualquier contracción del músculo tirará del tendón y este, a su vez, del hueso. Los músculos de las extremidades presentan dos inserciones en el hueso: una **proximal** (más cercana al tronco) y otra **distal** (más alejada del tronco). Las dos inserciones de los músculos del tronco se denominan **superior** (más próxima a la cabeza) e **inferior** (más próxima a los pies).

Las células musculares, llamadas **fibras musculares**, son células largas (a veces de longitud pareja a la de todo el músculo), cilíndricas y con un diámetro de 50 a 100 μm (el grosor de un cabello humano). Estas fibras contienen muchos núcleos situados en la periferia de la célula, y su aspecto es estriado cuando se observan bajo un microscopio óptico. Debajo del epimisio las fibras musculares se agrupan en haces (**fascículos**) de hasta ciento cincuenta fibras, y estos haces están rodeados por tejido conjuntivo llamado **perimisio**. Las fibras musculares están rodeadas individualmente por tejido conjuntivo llamado **endomisio**, circundado y contiguo al **sarcolema** o membrana de la fibra (13). Todo el tejido conjuntivo —epimisio, perimisio y endomisio— es contiguo al tendón, por lo que la tensión que desarrolla la célula muscular se transmite al tendón y al hueso en que se inserta (figura 1.3).

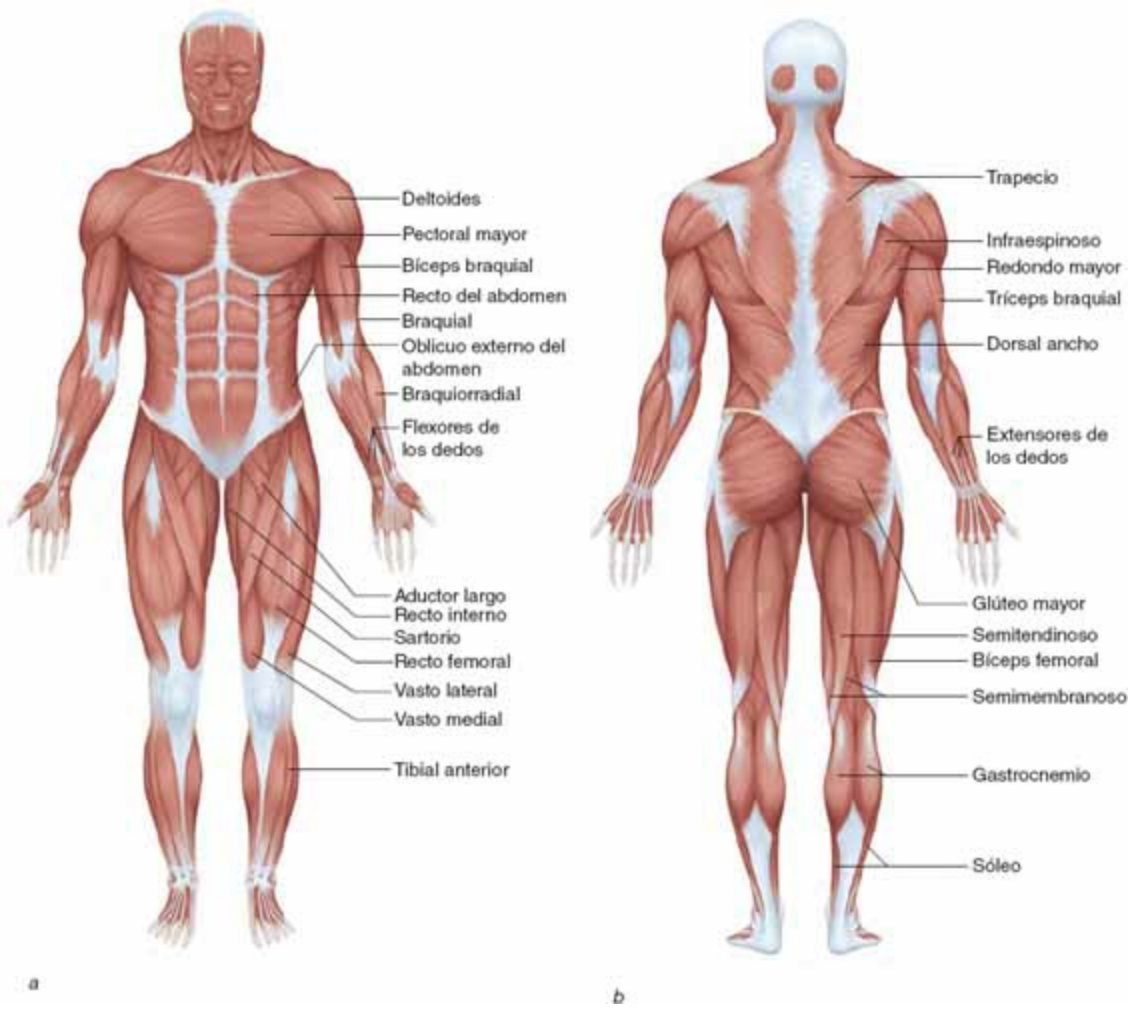


FIGURA 1.2 Vistas anterior (*a*) y posterior (*b*) de la musculatura esquelética.

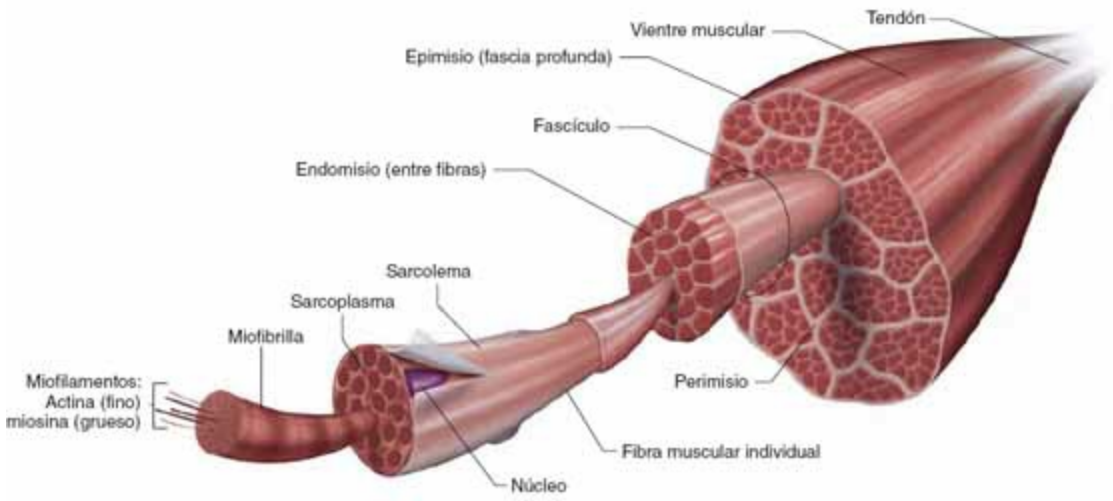


FIGURA 1.3 Esquema de un músculo que muestra tres tipos de tejido conjuntivo: Epimisio (vaina externa), perimisio (que recubre todos y cada uno de los fascículos o grupos de fibras)

y endomisio (que recubre las fibras individuales).

La unión entre una **motoneurona** (célula nerviosa) y las fibras musculares que inerva recibe el nombre de *placa motora terminal* o, con más frecuencia, **unión neuromuscular** (figura 1.4). Si bien las células musculares solo tienen una unión neuromuscular, una sola motoneurona inerva muchas fibras musculares, a veces cientos o incluso miles. Una motoneurona y las fibras musculares que inerva forman una **unidad motora**. Todas las fibras musculares de una unidad motora se contraen a la vez cuando las estimula la motoneurona.

En la figura 1.5 se aprecia la estructura interna de una fibra muscular. El **sarcoplasma**, que es el citoplasma de la fibra muscular, contiene componentes contráctiles compuestos de filamentos proteínicos, otras proteínas, glucógeno almacenado y gotas de lípidos, enzimas y organelos especializados, como mitocondrias y el retículo sarcoplasmático.

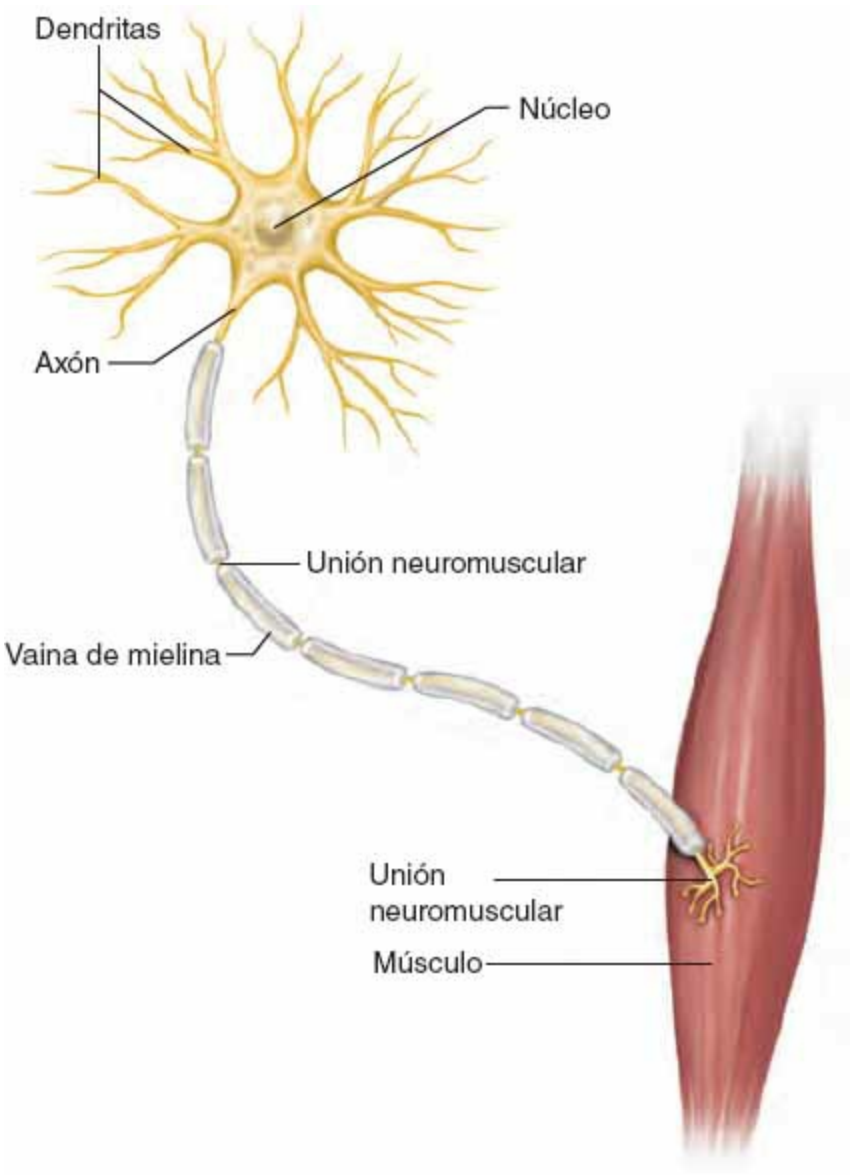


FIGURA 1.4 Unidad motora compuesta de una motoneurona y las fibras musculares que inerva. Suele haber varios cientos de fibras musculares en una sola unidad motora.

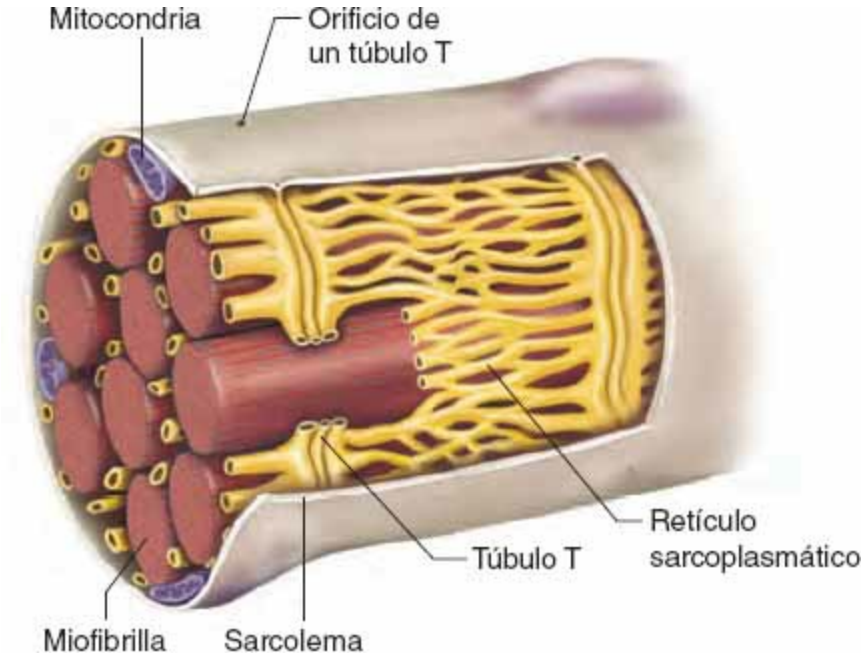


FIGURA 1.5 Sección transversal de una fibra muscular.

Cientos de **miofibrillas** (cada una de 1 µm de diámetro, es decir, una centésima del diámetro de un cabello) ocupan el sarcoplasma. Las miofibrillas contienen el aparato que contrae la célula muscular y que se compone principalmente de dos tipos de **miofilamentos**: **miosina** y **actina**. Los filamentos de miosina (filamentos gruesos de unos 16 nm de diámetro, alrededor de una diezmilésima del grosor de un cabello) contienen hasta doscientas moléculas de miosina. Los filamentos de miosina se dividen en tres partes: una cabeza globular, una bisagra y una cola fibrosa. La cabeza globular sobresale del filamento de miosina a intervalos regulares, y con dos filamentos de miosina se forma un **puente cruzado** que interactúa con la actina. Los filamentos de actina (filamentos finos de unos 6 nm de diámetro) están compuestos por dos cadenas que forman una doble hélice. Los filamentos de actina y miosina se extienden longitudinalmente formando la más pequeña unidad contráctil del músculo esquelético: el **sarcómero**. Los sarcómeros tienen una longitud media de unos 2,5 µm cuando las fibras están relajadas (existen aproximadamente 4.500 sarcómeros por centímetro de músculo) y se repiten a lo largo de toda la longitud de la fibra muscular (1).

La figura 1.6 muestra la estructura y orientación de la actina y la miosina presentes en el sarcómero. Los filamentos de miosina adyacentes se adhieren unos a otros en el puente M situado en el centro del sarcómero (el centro de la zona H). Los filamentos de actina se alinean en ambos extremos del

sarcómero y se anclan en la línea Z. Las líneas Z se repiten a lo largo de toda la miofibrilla. Seis filamentos de actina rodean cada filamento de miosina, y cada filamento de actina está rodeado por tres filamentos de miosina.

Es la configuración de los filamentos de actina y miosina y la de las líneas Z de los sarcómeros la que confiere al músculo esquelético su alternancia de líneas oscuras y claras, así como su aspecto estriado bajo el microscopio óptico. La oscura **banda A** se corresponde con la alineación de los filamentos de miosina, mientras que la **banda I**, de apariencia más clara, se corresponde con las áreas de dos sarcómeros adyacentes que contienen solo filamentos de actina (13). La **línea Z** se localiza en medio de la banda I y semeja una línea fina y oscura que discurre longitudinalmente a través de la banda I. La **zona H** es el área situada en el centro del sarcómero donde solo hay filamentos de miosina. Durante la contracción muscular, la zona H mengua cuando la actina se desliza sobre la miosina hacia el centro del sarcómero. La banda I también disminuye cuando las líneas Z son arrastradas al centro del sarcómero.

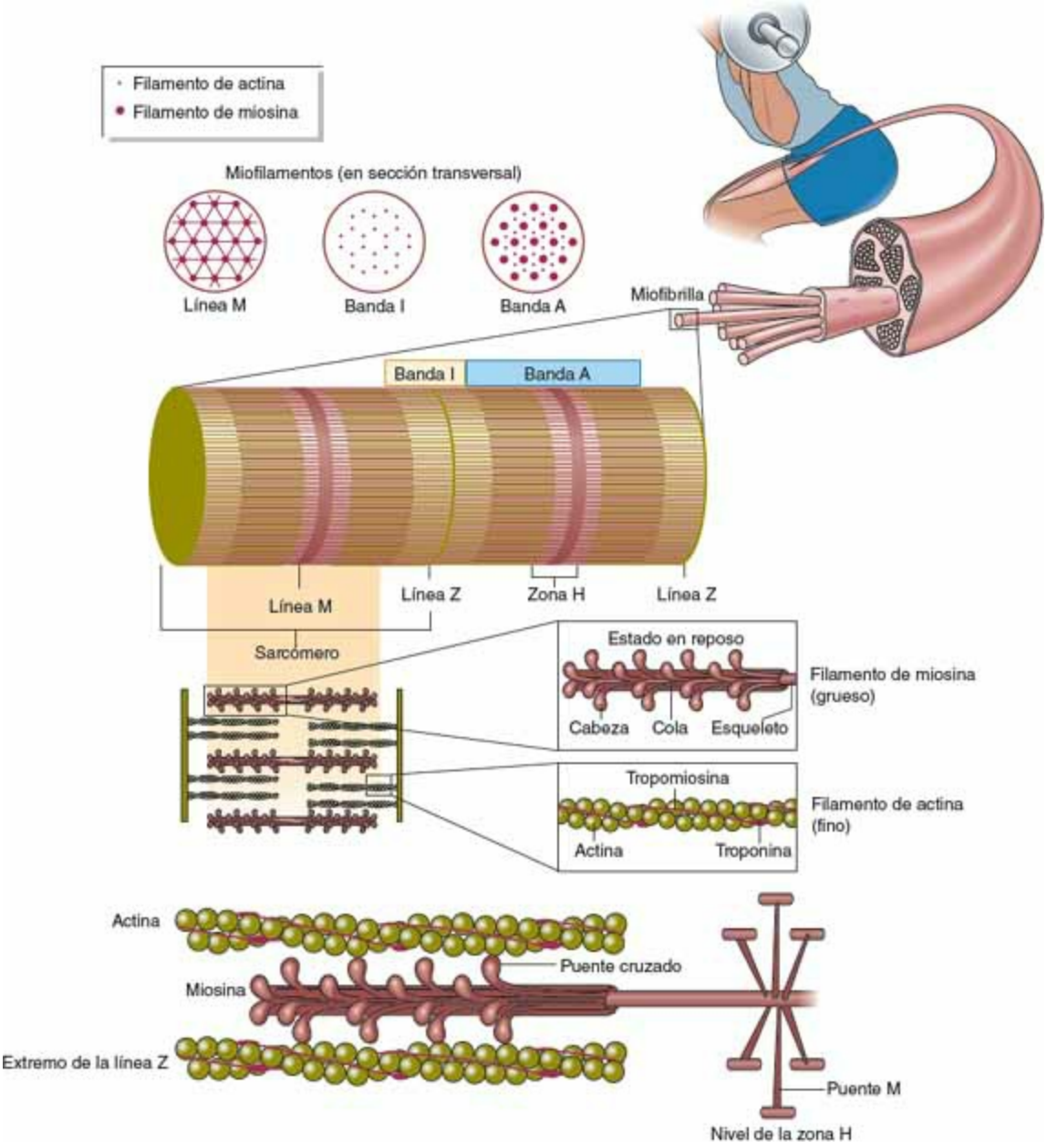


FIGURA 1.6 Detalle de los filamentos de las proteínas actina y miosina. La configuración de los filamentos de actina (finos) y miosina (gruesos) confiere al músculo su apariencia estriada.

Paralelo a cada fibrilla y rodeándola hay un intrincado sistema de túbulos que se denomina **retículo sarcoplasmático** (véase la figura 1.5) y que termina en vesículas en la proximidad de las líneas Z. Iones de calcio se almacenan en las vesículas. La regulación del calcio controla las contracciones musculares. Los **túbulos T**, o túbulos transversos, cursan perpendiculares al retículo sarcoplasmático y terminan en la proximidad de la línea Z entre dos vesículas. Como los túbulos T discurren entre miofibrillas

periféricas y son contiguos al sarcolema en la superficie de la célula, la descarga de un **potencial de acción** (un impulso nervioso eléctrico) llega casi simultáneamente de la superficie a todos los niveles de la fibra muscular. Por tanto, se libera calcio en el músculo y se produce una contracción coordinada.

La descarga de un potencial de acción de un nervio motor manifiesta la liberación de calcio del retículo sarcoplasmático en la miofibrilla, lo cual genera tensión en el músculo.

Teoría de los filamentos deslizantes de la contracción muscular

En su enunciación más sencilla, la **teoría de los filamentos deslizantes** establece que los filamentos de actina en ambos extremos del sarcómero se deslizan hacia dentro sobre los filamentos de miosina, desplazando las líneas Z hacia el centro del sarcómero y, en consecuencia, acortando la fibra muscular (figura 1.7). Cuando los filamentos de actina se deslizan sobre los de miosina, disminuye la longitud de la zona H y de la banda I. La acción de los puentes cruzados de miosina al ejercer tracción sobre los filamentos de actina es responsable del movimiento del filamento de actina. Como solo se produce un desplazamiento mínimo del filamento de actina con cada flexión del puente cruzado de miosina, se deben producir muchas flexiones repetidas y muy rápidas en múltiples puentes cruzados de todo el músculo para que haya un movimiento perceptible (13).

Fase en reposo. En condiciones normales en reposo, la presencia de calcio es mínima en la miofibrilla (la mayor parte se almacena en el retículo sarcoplasmático); por ello son muy pocos los puentes cruzados de miosina unidos a la actina. Incluso con el punto de unión de la actina recubierto, la miosina y la actina siguen interactuando con una unión débil, que se vuelve firme (y genera tensión muscular) cuando el punto de unión de la actina queda expuesto después de la liberación del calcio almacenado.

Fase de acoplamiento entre la excitación y la contracción. Antes de la flexión de los puentes cruzados de miosina, primero se deben anclar al filamento de actina. Cuando se estimula el retículo sarcoplasmático para liberar iones de calcio, el calcio se une a la **troponina**, una proteína dispuesta a intervalos regulares a lo largo del filamento de actina (figura 1.6) que tiene elevada afinidad por los iones de calcio. Esto produce un desplazamiento de otra molécula proteica, la **tropomiosina**, que discurre a lo largo del filamento

de actina por la hendidura de la doble hélice. Ahora el puente cruzado de miosina se ancla mucho más rápido en el filamento de actina, con lo cual permite la producción de fuerza mientras los filamentos de actina se ven desplazados hacia el centro del sarcómero (1). Es importante entender que la cantidad de fuerza producida por un músculo en cualquier instante está directamente relacionada con el número de puentes cruzados de miosina unidos transversalmente a filamentos de actina en ese instante (1).

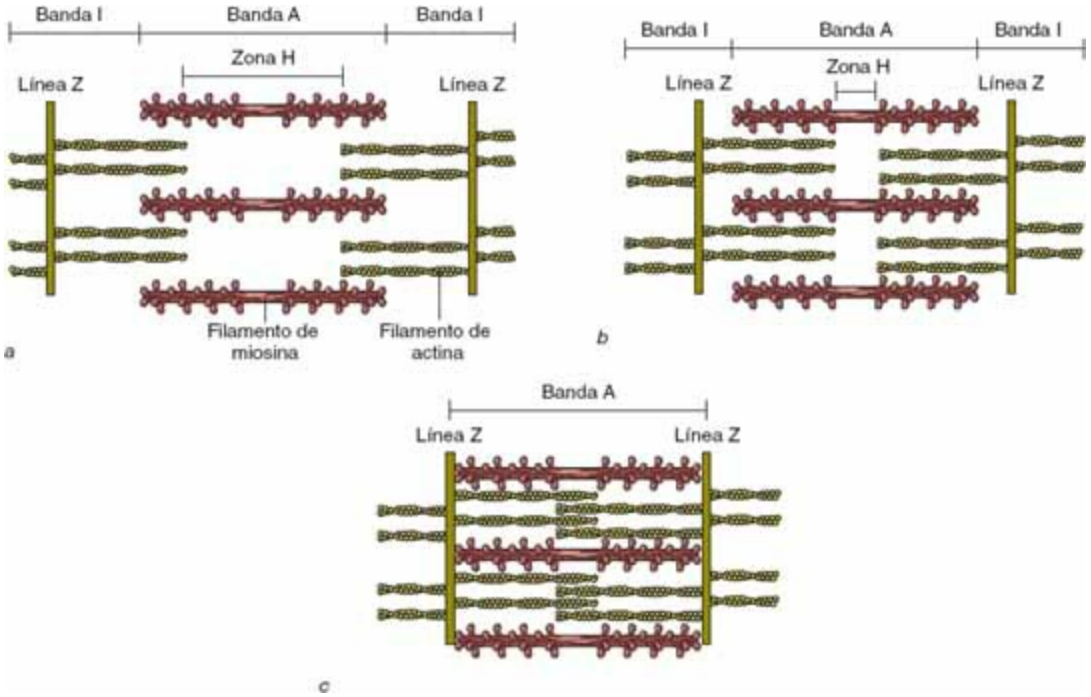


FIGURA 1.7 Contracción de una miofibrilla. (*a*) En un músculo estirado, las bandas I y la zona H han aumentado su longitud, y el potencial de fuerza es bajo debido al escaso alineamiento de puentes cruzados de filamentos de actina. (*b*) Cuando el músculo se contrae (en este caso parcialmente), las bandas I y la zona H se acortan. El potencial de fuerza es elevado debido al alineamiento óptimo de puentes cruzados de filamentos de actina. (*c*) Con el músculo contraído, el potencial de fuerza es bajo debido a que la superposición de actina reduce el potencial de alineamiento de puentes cruzados de filamentos de actina.

El número de puentes cruzados que se forman entre los filamentos de actina y miosina en cualquier instante dictamina la producción de fuerza de un músculo.

Fase de contracción. La energía para la tracción, o **golpe de potencia**, proviene de la hidrólisis (catabolismo) de trifosfato de adenosina (ATP) o difosfato de adenosina (ADP) y fosfato, una reacción catalizada por la enzima adenosintrifosfatasa (ATPasa). Otra molécula de ATP debe remplazar el ADP en la cabeza globular del puente cruzado de miosina para que la cabeza se

desprenda de la actina activa y vuelva a su posición inicial. Esto permite continuar el proceso de contracción (si hay calcio disponible para unirse a la troponina) o que sobrevenga la relajación (si no hay calcio disponible). Hay que reparar en que el calcio desempeña un papel en la regulación de gran número de procesos en el músculo esquelético además de la contracción, como el metabolismo energético oxidativo y glucolítico, y también la síntesis y degradación de proteínas (10).

El calcio y el ATP son necesarios para la acción cíclica de formación de puentes cruzados entre los filamentos de actina y miosina.

Fase de recarga. El acortamiento apreciable del músculo solo se refleja cuando esta secuencia de acontecimientos —unión del calcio a la troponina, acoplamiento de los puentes cruzados de miosina con actina, golpe de potencia, disociación de actina y miosina, y restitución de la posición de la cabeza de la miosina— se repite una y otra vez en la fibra muscular. Eso sucede siempre y cuando haya calcio disponible en las miofibrillas y ATP utilizable para colaborar en el desacoplamiento de la miosina de la actina, y se disponga de suficiente miosina ATPasa activa para catalizar la degradación de ATP.

Fase de relajación. La relajación ocurre cuando se detiene la estimulación del nervio motor. Se bombea calcio de vuelta al retículo sarcoplasmático, lo cual impide la unión entre filamentos de actina y miosina. La relajación se obtiene mediante la vuelta de los filamentos de actina y miosina a su estado de desunión.

Sistema neuromuscular

Las fibras musculares están inervadas por motoneuronas que transmiten impulsos en forma de señales electroquímicas de la médula espinal al músculo. Las motoneuronas contienen por lo general numerosos ramos terminales al final de su axón y, por tanto, inervan muchas fibras musculares diferentes. La estructura entera es la que determina el tipo de fibras musculares y sus características, su función y participación en el ejercicio.

Activación de los músculos

Cuando una motoneurona emite un impulso o potencial de acción, todas las fibras que inerva se activan simultáneamente y se genera fuerza. El grado de control de un músculo depende del número de fibras musculares en cada unidad motora. Los músculos que deben actuar con gran precisión, como los músculos oculomotores, tal vez presenten unidades motoras con solo una fibra muscular por motoneurona. Los cambios en el número de unidades motoras activas de estos pequeños músculos producen gradaciones muy sutiles en la fuerza necesaria para los movimientos precisos del globo ocular. En contraste, el grupo muscular del cuádriceps, que mueve la pierna con mucha menos precisión, tal vez presente varios cientos de fibras inervadas por una motoneurona.

Pasos de la contracción muscular

Los pasos de la contracción muscular se resumen de la manera siguiente:

1. El inicio del desdoblamiento de ATP (por la miosina ATPasa) provoca que la cabeza de la miosina asuma un estado «energizado» que le permite adoptar una posición en la que es capaz de formar un enlace con actina.
2. La liberación de fosfato en el proceso de desdoblamiento de ATP hace que la cabeza de miosina cambie de forma y se desplace.
3. Esto a su vez desplaza el filamento de actina hacia el centro del sarcómero y recibe el nombre de golpe de potencia; a continuación, se libera ADP.
4. Una vez que ha ocurrido el golpe de potencia, la cabeza de miosina se desprende de la actina, pero solo después de que otra molécula de ATP se una a la cabeza de miosina porque el proceso de unión facilita el desprendimiento.
5. La cabeza de miosina está lista para unirse a otra actina (como se describe en el paso 1), por lo que el ciclo continúa siempre y cuando haya ATP y ATPasa presentes y el calcio se una a la troponina.

El potencial de acción (corriente eléctrica) que fluye por una motoneurona no excita directamente las fibras musculares que inerva, sino que lo hace por medio de una transmisión química. La llegada del potencial de acción a la terminal nerviosa causa la liberación de un neurotransmisor, la **acetilcolina**, que se difunde por la unión neuromuscular y provoca la excitación del sarcolema. Una vez que se libera suficiente acetilcolina, se genera un potencial de acción a lo largo del sarcolema, y la fibra se contrae. Todas las fibras musculares de la unidad motora se contraen y desarrollan fuerza al mismo tiempo. No hay evidencia de que el estímulo de una motoneurona provoque la contracción de solo algunas fibras. De igual forma, tampoco un potencial de acción más elevado puede producir una contracción más

poderosa. Este fenómeno se conoce como el **principio de todo o nada** del músculo.

Cada potencial de acción que viaja por una motoneurona conlleva un corto período de activación de las fibras musculares en la unidad motora. La breve contracción se denomina **espasmo**. La activación del sarcolema causa la liberación de calcio en la fibra, y la contracción ocurre tal y como se describió previamente. Se genera fuerza si hay resistencia a la interacción de tracción de filamentos de actina y miosina. Aunque la liberación de calcio durante un espasmo muscular es suficiente para permitir la activación óptima de actina y miosina y, por tanto, la fuerza máxima de las fibras, el calcio se retira antes de que la fuerza alcance el máximo y el músculo se relaje (figura 1.8 *a*). Si se produce un segundo espasmo muscular de la motoneurona antes de que las fibras se relajen por completo, se suma la fuerza de los dos espasmos y la fuerza resultante es mayor que la producida por uno solo (figura 1.8 *b*). Reducir el intervalo de tiempo entre los espasmos consigue una sumación mayor de fuerzas y de uniones de puentes cruzados. Es posible que los estímulos se descarguen con una frecuencia tan alta que se empiecen a producir espasmos y terminen fusionándose por completo, afección llamada **tétanos** (figura 1.8, *c* y *d*). Esta es la cantidad máxima de fuerza que puede desarrollar la unidad motora.

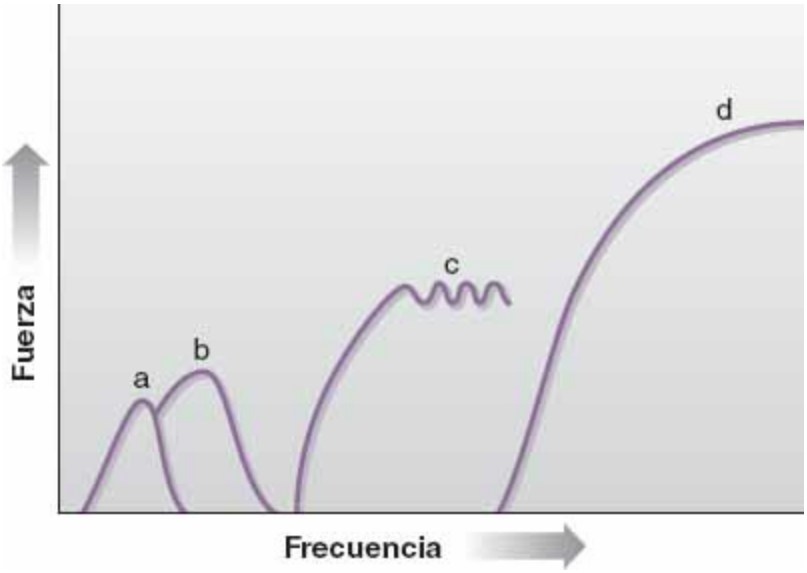


FIGURA 1.8 Espasmo, sumación de espasmos y tétanos de una unidad motora: (*a*) espasmo aislado; (*b*) fuerza resultante de la sumación de dos espasmos; (*c*) tétanos incompleto, y (*d*) tétanos completo.

Tipos de fibras musculares

Los músculos esqueléticos se componen de fibras con características fisiológicas y morfológicas muy distintas. Estas diferencias han derivado en que existan varios sistemas de clasificación basados en diversos criterios. El método más conocido consiste en clasificar las fibras según el tiempo de contracción, para lo cual se usan los términos **fibra de contracción lenta** y **fibra de contracción rápida**. Como las unidades motoras se componen de fibras musculares del mismo tipo, también se pueden designar usando este sistema de clasificación. Una unidad motora de contracción rápida es aquella que desarrolla fuerza y se relaja con rapidez, y, por tanto, su tiempo de contracción es corto. Las unidades motoras de contracción lenta, por el contrario, desarrollan fuerza y se relajan lentamente, y su tiempo de contracción es largo.

Se suele recurrir a la tinción histoquímica para marcar el contenido de la miosina ATPasa, pues sirve para clasificar las fibras de contracción lenta y rápida. Aunque las técnicas permitan teñir múltiples tipos de fibras, estas se suelen identificar como de **tipo I** (contracción lenta), **tipo IIa** (contracción rápida) y **tipo IIx** (contracción rápida). Otro método más específico consiste en cuantificar la cantidad de proteínas de cadena pesada de miosina (MHC); la nomenclatura es parecida a la de la metodología de la miosina ATPasa.

El contraste de las características mecánicas de las fibras tipo I y tipo II se acompaña de una diferencia distintiva en la capacidad de las fibras para exigir y suministrar energía para la contracción y, por tanto, para soportar la fatiga. Las fibras tipo I son por lo general eficaces, resistentes al cansancio y con una elevada capacidad para suministrar energía aeróbica, si bien cuentan con un limitado potencial para el rápido desarrollo de fuerza, al caracterizarse por la baja actividad de la miosina ATPasa y la baja potencia anaeróbica (2, 8).

Las unidades motoras tipo II son en esencia lo contrario, y se caracterizan por ser ineficientes y fatigables, con escasa potencia aeróbica, de rápido desarrollo de fuerza, con elevada actividad de la miosina ATPasa y alta potencia anaeróbica (2, 8). Las fibras tipo IIa y tipo IIx difieren sobre todo en su capacidad para el aporte de energía procedente de los sistemas aeróbico y oxidativo. Las fibras tipo IIa, por ejemplo, tienen mayor capacidad para el metabolismo aeróbico y más capilares a su alrededor que las fibras tipo IIx, y, por tanto, muestran mayor resistencia al cansancio (3, 7, 9, 12). Basándonos en estas diferencias, no sorprende que los músculos ortostáticos, como el

sóleo, contengan más fibras tipo I, mientras que los grandes músculos de la locomoción, como el grupo del cuádriceps, contienen una mezcla de fibras tipo I y tipo II para intervenir en actividades en las que se produce poca o mucha potencia (como correr al trote y esprintar, respectivamente). Remitimos a la tabla 1.1 en la que aparece un resumen de las características primarias de los tipos de fibras.

TABLA 1.1 Características principales de los tipos de fibras musculares

Características	Tipos de fibras		
	Tipo I	Tipo IIa	Tipo IIx
Tamaño de las motoneuronas	Pequeño	Grande	Grande
Umbral de reclutamiento	Bajo	Intermedio/alto	Alto
Velocidad de conducción nerviosa	Lenta	Rápida	Rápida
Velocidad de contracción	Lenta	Rápida	Rápida
Velocidad de relajación	Lenta	Rápida	Rápida
Resistencia al cansancio	Alta	Intermedia/baja	Baja
Tolerancia física	Alta	Intermedia/baja	Baja
Producción de fuerza	Baja	Intermedia	Elevada
Producción de potencia	Baja	Intermedia/elevada	Elevada
Contenido de enzimas aeróbicas	Alto	Intermedio/bajo	Bajo
Contenido de enzimas anaeróbicas	Bajo	Alto	Alto
Complejidad del retículo sarcoplasmático	Baja	Intermedia/alta	Alta
Densidad capilar	Alta	Intermedia	Baja
Contenido de mioglobina	Alto	Bajo	Bajo
Densidad y tamaño de las mitocondrias	Elevado	Intermedio	Bajo
Diámetro de las fibras	Pequeño	Intermedio	Grande
Color	Rojo	Blanco/rojo	Blanco

Las unidades motoras se componen de fibras musculares con características fisiológicas y morfológicas específicas que determinan su capacidad funcional.

Patrones de reclutamiento de unidades motoras

Por medio de las experiencias acumuladas en el día a día somos muy conscientes de que los músculos varían su nivel de producción de fuerza según la exigencia de una tarea concreta. Esta capacidad de variar o graduar la fuerza es esencial para la ejecución de patrones de movimiento armónicos y coordinados. La fuerza muscular se gradúa de dos formas. Una es por medio de la variación de la frecuencia con la que se activan las unidades motoras. Si una unidad motora se activa una vez, la contracción que produce

no genera mucha fuerza; sin embargo, si la frecuencia de activación aumenta hasta que las fuerzas de los espasmos comienzan a solaparse o sumarse, la fuerza resultante de la unidad motora es mucho mayor. Este método para variar la producción de fuerza es especialmente importante en el caso de los músculos pequeños, como los de la mano. Incluso con fuerzas escasas, se activan la mayoría de las unidades motoras de estos músculos, aunque con una frecuencia baja. La producción de fuerza de todo el músculo se intensifica mediante un incremento de la frecuencia de activación de las unidades motoras individuales.

Los otros medios para variar la fuerza de los músculos esqueléticos implican un incremento de la fuerza mediante la variación del número de unidades motoras activadas, proceso conocido como *reclutamiento*. En los músculos grandes, como los del muslo, las unidades motoras se activan con una frecuencia casi tetánica cuando se las recluta. Los incrementos en la producción de fuerza se logran mediante el reclutamiento de unidades motoras adicionales.

El tipo de unidad motora reclutada para una actividad está determinado por sus características fisiológicas (tabla 1.2). Para una actividad como una carrera de fondo, se estimulan unidades motoras de contracción lenta para aprovechar su notable eficacia, su tolerancia al trabajo físico y su resistencia al cansancio. Si se requiere fuerza adicional, como durante un esprín al final de una carrera, se reclutan unidades motoras de contracción rápida para aumentar el ritmo; por desgracia, el ejercicio a semejante intensidad no se puede mantener mucho tiempo. Si la actividad requiere un esfuerzo casi máximo, como en una cargada de fuerza, entonces intervienen la mayoría de las unidades motoras, siendo las unidades de contracción rápida las que aportan la contribución más significativa al esfuerzo. La completa activación de las motoneuronas disponibles probablemente no sea posible en personas desentrenadas (4, 5, 6). Aunque tal vez se recluten las unidades grandes de contracción rápida si el esfuerzo es sustancial, en la mayoría de las circunstancias lo más probable es que no sea posible activarlas con una frecuencia lo bastante elevada como para que se genere fuerza máxima.

TABLA 1.2 Participación relativa de los tipos de fibras musculares en diversos deportes

Prueba	Tipo I	Tipo II
Esprín de 100 metros	Baja	Alta

Carrera de 800 metros	Alta	Alta
Maratón	Alta	Baja
Halterofilia olímpica	Baja	Alta
Fútbol, lacrosse, hockey	Alta	Alta
Receptor de fútbol americano	Baja	Alta
Defensa de fútbol americano	Baja	Alta
Baloncesto, balonmano	Baja	Alta
Voleibol	Baja	Alta
Lanzador de béisbol o softball	Baja	Alta
Boxeo	Alta	Alta
Lucha libre	Alta	Alta
Prueba de natación de 50 metros	Baja	Alta
Atletismo	Baja	Alta
Esquí de fondo, biatlón	Alta	Baja
Tenis	Alta	Alta
Esquí alpino o eslalon	Alta	Alta
Patinaje de velocidad	Alta	Alta
Ciclismo en pista	Baja	Alta
Ciclismo de fondo	Alta	Baja
Remo	Alta	Alta

Los propioceptores son receptores sensitivos especializados que proporcionan al sistema nervioso central información necesaria para mantener el tono muscular y ejecutar movimientos complejos y coordinados.

La propiocepción

Los **propioceptores** son receptores sensitivos especializados, localizados en articulaciones, músculos y tendones. Como estos receptores son sensibles a la presión y a la tensión, transmiten información sobre la dinámica de los músculos a las partes conscientes y subconscientes del sistema nervioso central. El cerebro recibe así información sobre el sentido cinestésico y

discrimina conscientemente la posición de partes del cuerpo respecto a la gravedad. Sin embargo, la mayor parte de esta información propioceptiva se procesa a niveles subconscientes de modo que no tenemos que dedicar actividad consciente alguna a mantener una postura o posición de partes del cuerpo.

La producción de fuerza de un músculo varía con el cambio en la frecuencia de activación de unidades motoras individuales o con el cambio en el número de unidades motoras activadas.

Husos musculares

Los **husos musculares** son propioceptores compuestos por varias fibras musculares modificadas y envueltas en una vaina de tejido conjuntivo (figura 1.9). Estas fibras modificadas, llamadas **fibras intrafusales**, cursan paralelas a las **fibras extrafusales** normales. Los husos musculares proporcionan información sobre la longitud del músculo y el ritmo del cambio de longitud. Cuando el músculo se elonga, los husos se estiran. Esta deformación activa la neurona sensitiva del huso, que envía un impulso a la médula espinal, donde se sinapsa (se conecta) con motoneuronas. Esto causa la activación de motoneuronas que inervan el mismo músculo. Los husos, por tanto, indican el grado en que se debe activar el músculo para superar una resistencia. A medida que aumenta la carga, el músculo se estira más y la participación de los husos musculares produce una mayor activación del músculo. Los músculos que ejecutan movimientos precisos cuentan con muchos husos por unidad de masa para garantizar el control exacto de su actividad contráctil. Un ejemplo sencillo de actividad de los husos musculares es el reflejo rotuliano. La aplicación de un golpe seco sobre el tendón del grupo de músculos extensores de la rodilla —debajo de la rótula— causa la extensión de las fibras de los husos musculares. Esto provoca la activación de las fibras musculares extrafusales del mismo músculo.

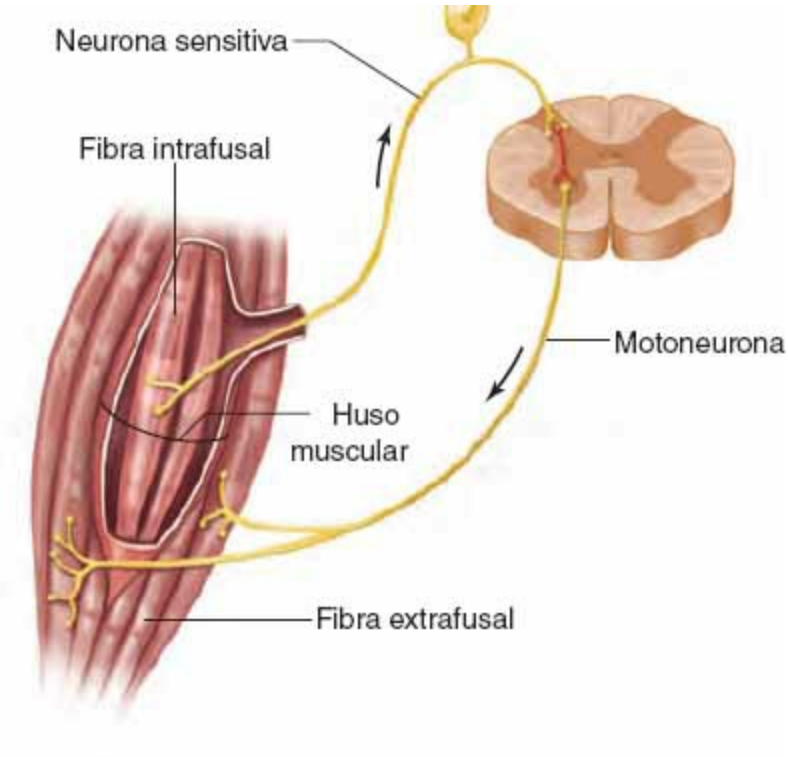


FIGURA 1.9 Huso muscular. Cuando se estira un músculo, la deformación del huso muscular activa la neurona sensitiva, la cual envía un impulso a la médula espinal, donde se sinapsa con una motoneurona y obliga al músculo a contraerse.

¿Cómo pueden los atletas mejorar la producción de fuerza?

- Incorporar fases de entrenamiento que empleen cargas más pesadas con el fin de mejorar el reclutamiento neuronal.
- Aumentar el área transversal de los músculos implicados en la actividad deseada.
- Practicar ejercicios con múltiples articulaciones y diversos músculos que se puedan ejecutar con acciones explosivas para mejorar al máximo el reclutamiento de fibras musculares de contracción rápida.

Se produce un reflejo rotuliano mientras las fibras se acortan de manera activa. Esto, a su vez, acorta las fibras intrafusales e interrumpe su descarga.

Órganos tendinosos de Golgi

Los **órganos tendinosos de Golgi (OTG)** son propioceptores localizados en los tendones cerca de la unión miotendinosa, y adoptan series, es decir, se insertan de un extremo a otro con fibras musculares extrafusales (figura 1.10). Los órganos tendinosos de Golgi se activan cuando se estira el tendón

que se inserta en un músculo activo. A medida que aumenta la tensión en el músculo, aumenta la descarga de los OTG. La neurona sensitiva de los OTG se sinapsa con una interneurona inhibidora de la médula espinal, que a su vez se sinapsa e inhibe una motoneurona que sirve al mismo músculo. El resultado es una reducción de la tensión en el músculo y el tendón. Por tanto, mientras que los husos facilitan la activación del músculo, la entrada neural de los OTG inhibe la activación del músculo.

Se cree que el proceso inhibidor de los OTG proporciona un mecanismo protector contra el desarrollo excesivo de tensión. El efecto de los OTG, por tanto, es mínimo si las fuerzas son reducidas, aunque, cuando se aplica una carga muy pesada sobre el músculo, la inhibición refleja mediada por los OTG provoca que el músculo se relaje. La capacidad de la corteza motora para desactivar esta inhibición tal vez sea una de las adaptaciones fundamentales al entrenamiento con grandes resistencias.

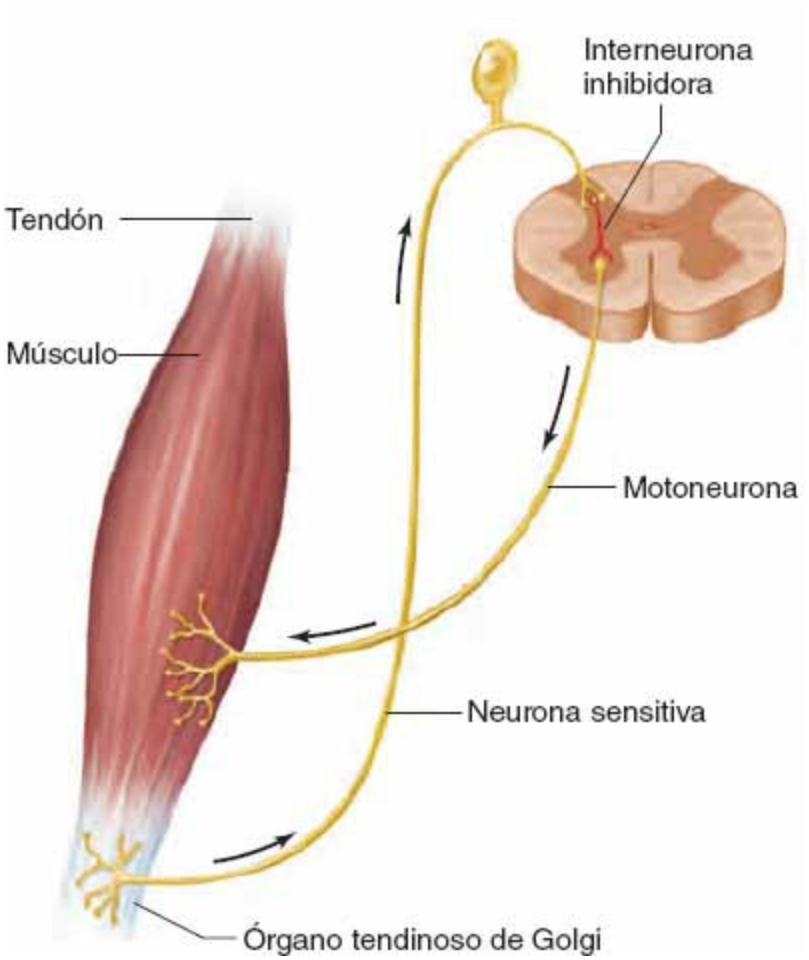


FIGURA 1.10 Órgano tendinoso de Golgi (OTG). Cuando se aplica una carga extremadamente pesada sobre el músculo, se produce la descarga del OTG. La neurona

sensitiva del OTG activa una interneurona inhibidora en la médula espinal, que a su vez se sinapsa e inhibe una motoneurona que sirve al mismo músculo.

Sistema cardiovascular

El papel principal del sistema cardiovascular es transportar nutrientes y eliminar desechos metabólicos al tiempo que mantiene el entorno de todas las funciones corporales. El sistema cardiovascular desempeña papeles clave en la regulación del sistema ácido-básico, los líquidos y la temperatura, así como otras muchas funciones fisiológicas. Esta sección describe la anatomía y fisiología del corazón y los vasos sanguíneos.

El corazón

El corazón es un órgano muscular compuesto por dos bombas interconectadas pero diferenciadas; el hemicardio derecho bombea sangre a través de los pulmones, y el hemicardio izquierdo bombea sangre al resto del cuerpo. Cada bomba cuenta con dos cavidades: una **aurícula** y un **ventrículo** (figura 1.11). Las aurículas derecha e izquierda desaguan sangre en los ventrículos derecho e izquierdo. Los ventrículos derecho e izquierdo generan la principal fuerza para impulsar sangre por la circulación pulmonar y periférica, respectivamente (13).

Las válvulas

La **válvula tricúspide** y la **válvula mitral** (válvula bicúspide) (que conjuntamente reciben el nombre de **válvulas auriculoventriculares [AV]**) impiden el reflujo de sangre de los ventrículos a las aurículas durante la contracción ventricular (**sístole**). La **válvula aórtica** y la **válvula pulmonar** (colectivamente, las **válvulas semilunares**) impiden el reflujo de sangre de las arterias aorta y pulmonar a los ventrículos durante la relajación ventricular (**diástole**). Cada válvula se abre y cierra de forma pasiva, es decir, se cierra cuando el gradiente de presión retrógrada invierte la dirección de la sangre y la empuja contra la válvula, y se abre cuando el gradiente de presión anterógrada obliga a la sangre a moverse hacia delante (13).

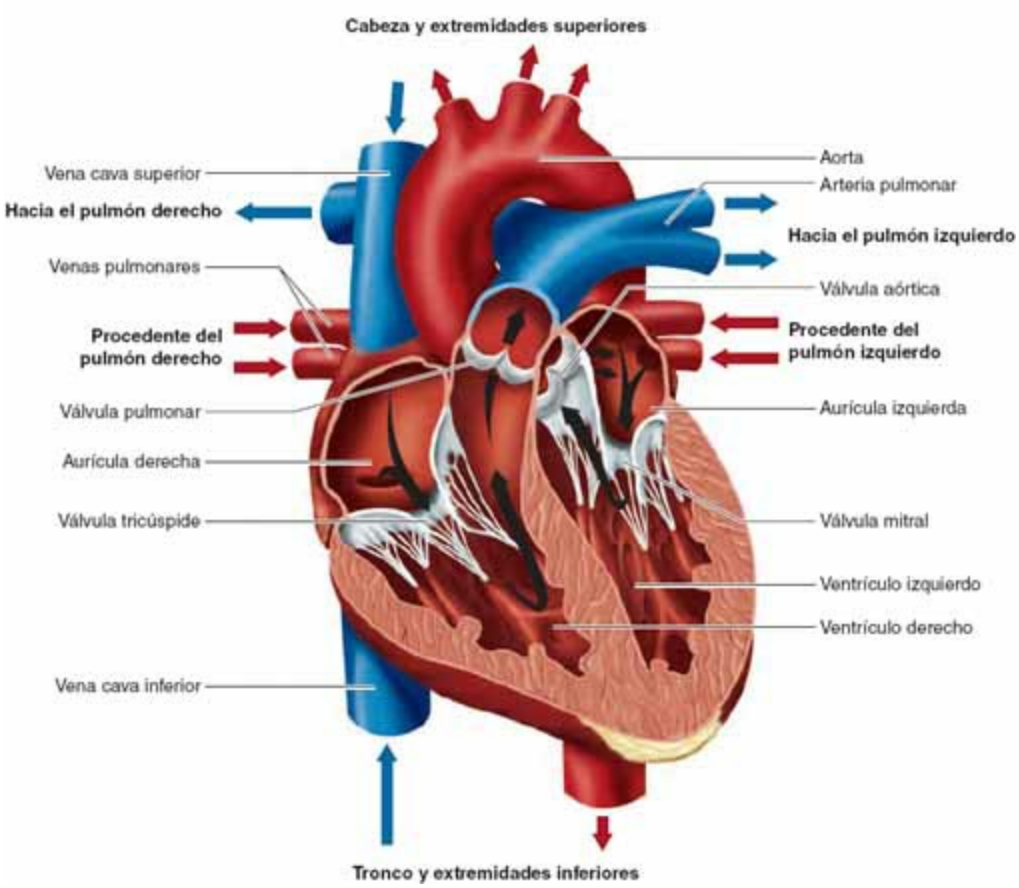


FIGURA 1.11 Estructura del corazón humano y recorrido de la sangre por sus cavidades.

Sistema de conducción

Un sistema especializado de conducción eléctrica (figura 1.12) controla la contracción mecánica del corazón. El sistema de conducción está compuesto por:

- El **nódulo sinusal (SA)**, el marcapasos intrínseco, donde normalmente se inician los impulsos rítmicos eléctricos.
- Los fascículos internodales, que conducen el impulso del nódulo SA al nódulo auriculoventricular.
- El **nódulo auriculoventricular (AV)**, donde el impulso se retrasa ligeramente antes de pasar a los ventrículos.
- El **fascículo auriculoventricular (AV)** o **haz de His**, que conduce el impulso a los ventrículos.
- Las **fibras de Purkinje**, subdivisiones del haz de His, que conducen los impulsos a todas las partes de los ventrículos.

El nódulo SA es una pequeña área de tejido muscular especializado que se localiza en la pared superolateral de la aurícula derecha. Las fibras del nódulo son contiguas a las fibras musculares de la aurícula, con el resultado de que cada impulso eléctrico que se inicia en el nódulo SA se suele extender de inmediato por las aurículas. El sistema conductor se organiza de modo que el impulso no viaje demasiado rápido por los ventrículos, dejando tiempo para que las aurículas se contraigan y desagüen sangre en los ventrículos antes de que empiece la contracción ventricular. Son sobre todo el nódulo AV y sus fibras conductoras asociadas los que difieren cada uno de los impulsos que penetran en los ventrículos. El nódulo AV se localiza en la pared posterior del tabique de la aurícula derecha (13).

Las ramas izquierda y derecha del haz de His proceden del fascículo AV y desembocan en los ventrículos. Excepto por su porción inicial, donde penetran en la barrera AV, estas fibras conductoras presentan características funcionales opuestas a las de las fibras del nódulo AV. Son grandes y transmiten impulsos a mucha más velocidad que las fibras del nódulo AV. Como estas fibras dan origen a las fibras de Purkinje, las cuales penetran de manera más completa en los ventrículos, el impulso viaja con rapidez por todo el sistema ventricular y causa que ambos ventrículos se contraigan aproximadamente al mismo tiempo (13).

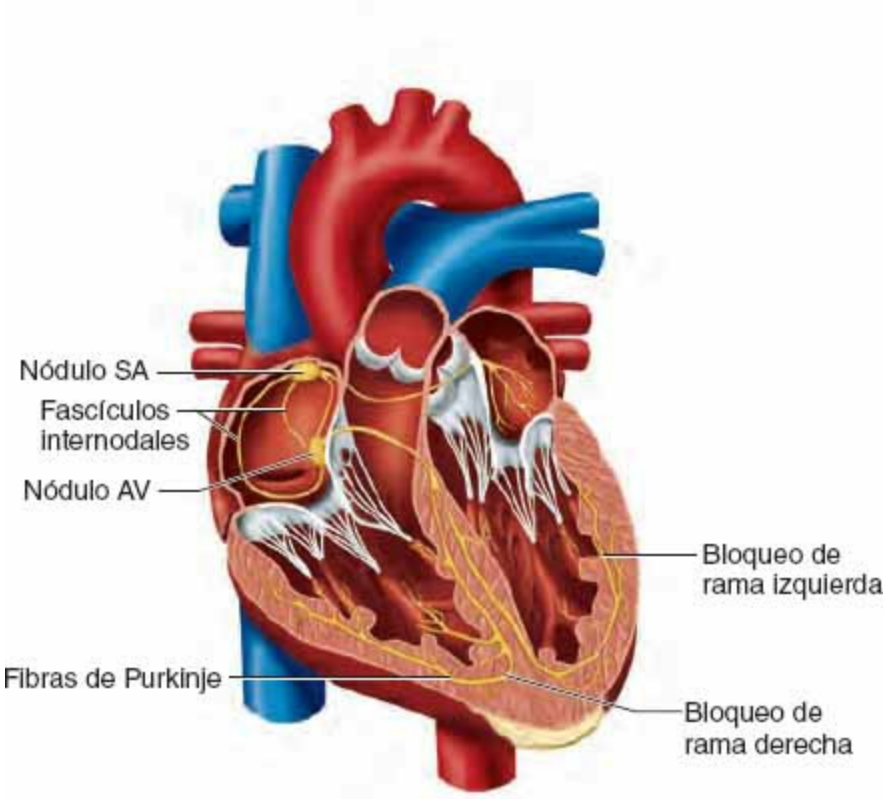


FIGURA 1.12 El sistema de conducción eléctrica del corazón.

El nódulo SA normalmente controla la ritmicidad del corazón, porque su frecuencia de descarga es considerablemente mayor (60-80 veces por minuto) que la del nódulo AV (40-60 veces por minuto) o la de las fibras ventriculares (15-40 veces por minuto). En cada descarga del nódulo SA, su impulso se dirige al nódulo AV y a las fibras ventriculares, descargando sus membranas excitables. Por tanto, estos tejidos potencialmente autoexcitadores se descargan antes de que en realidad se produzca la autoexcitación.

En las propiedades inherentes de conducción y ritmicidad del **miocardio** (músculo cardíaco) influye el centro cardiovascular del bulbo raquídeo, que transmite señales al corazón a través de los **sistemas nerviosos simpático** y **parasimpático**, los cuales forman parte del sistema nervioso autónomo. Un gran número de neuronas simpáticas y parasimpáticas inervan las aurículas, mientras que los ventrículos reciben su inervación casi exclusivamente de fibras simpáticas. La estimulación de los nervios simpáticos acelera la despolarización del nódulo SA (el efecto cronotrópico), que causa que el corazón lata más rápido. La estimulación del sistema nervioso parasimpático aminora la frecuencia de descargas del nódulo SA, lo cual ralentiza la

frecuencia cardíaca. La frecuencia cardíaca de reposo es normalmente de 60 a 100 latidos/minuto; menos de 60 latidos/min se considera **bradicardia**, y más de 100 latidos/ minuto se considera **taquicardia**.

Electrocardiograma

La actividad eléctrica del corazón se registra en la superficie del cuerpo; la representación gráfica de esta actividad recibe el nombre de **electrocardiograma (ECG)**. Un ECG normal, como el de la figura 1.13, está compuesto por una **onda P**, un **complejo QRS** (el complejo QRS a menudo lo forman tres ondas diferenciadas: una onda Q, una onda R y una onda S) y una **onda T**. La onda P y el complejo QRS son trazados de la despolarización eléctrica, es decir, del estímulo eléctrico que deriva en una contracción mecánica. La **despolarización** es la inversión del potencial de membrana, por lo cual el potencial, normalmente negativo, se vuelve ligeramente positivo dentro de la membrana y levemente negativo fuera de ella. La onda P se genera por los cambios en el potencial eléctrico de las células del músculo cardíaco que despolarizan las aurículas y causan la contracción auricular. El complejo QRS es generado por el potencial eléctrico que despolariza los ventrículos y causa la contracción ventricular. En contraste, la onda T procede del potencial eléctrico generado mientras los ventrículos se recuperan del estado de despolarización; este proceso, llamado **repolarización**, ocurre en el músculo ventricular poco después de la despolarización. Aunque también se produce la repolarización de las aurículas, la formación de su onda suele ocurrir durante el tiempo de la despolarización ventricular y, por tanto, queda enmascarada por el complejo QRS (13).

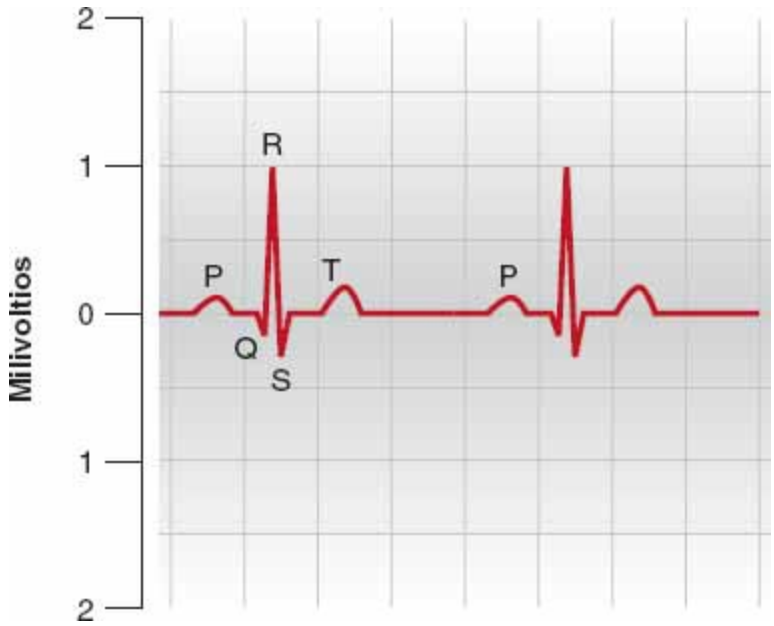


FIGURA 1.13 Electrocardiograma normal.

Vasos sanguíneos

Las circulaciones central y periférica constituyen un único circuito cerrado con dos componentes: un **sistema arterial**, que conduce la sangre lejos del corazón, y un **sistema venoso**, que reconduce la sangre de vuelta al corazón (figura 1.14). A continuación describimos los vasos sanguíneos de estos sistemas.

Las arterias

La función de las **arterias** es transportar con rapidez la sangre bombeada por el corazón. Como la sangre bombeada fuera del corazón está sometida a una presión ligeramente elevada, las arterias presentan unas paredes musculosas y fuertes. Las ramificaciones de las arterias, llamadas **arteriolas**, actúan de vasos de control a través de los cuales la sangre entra en los capilares. Las arteriolas desempeñan un papel importante en la regulación del flujo sanguíneo de los capilares. Las arteriolas contienen paredes musculosas y fuertes, capaces de cerrar su luz por completo o permitir que se dilate muchas veces su diámetro, con lo cual modifican enormemente el riego sanguíneo de los capilares como respuesta a las necesidades de los tejidos (13).

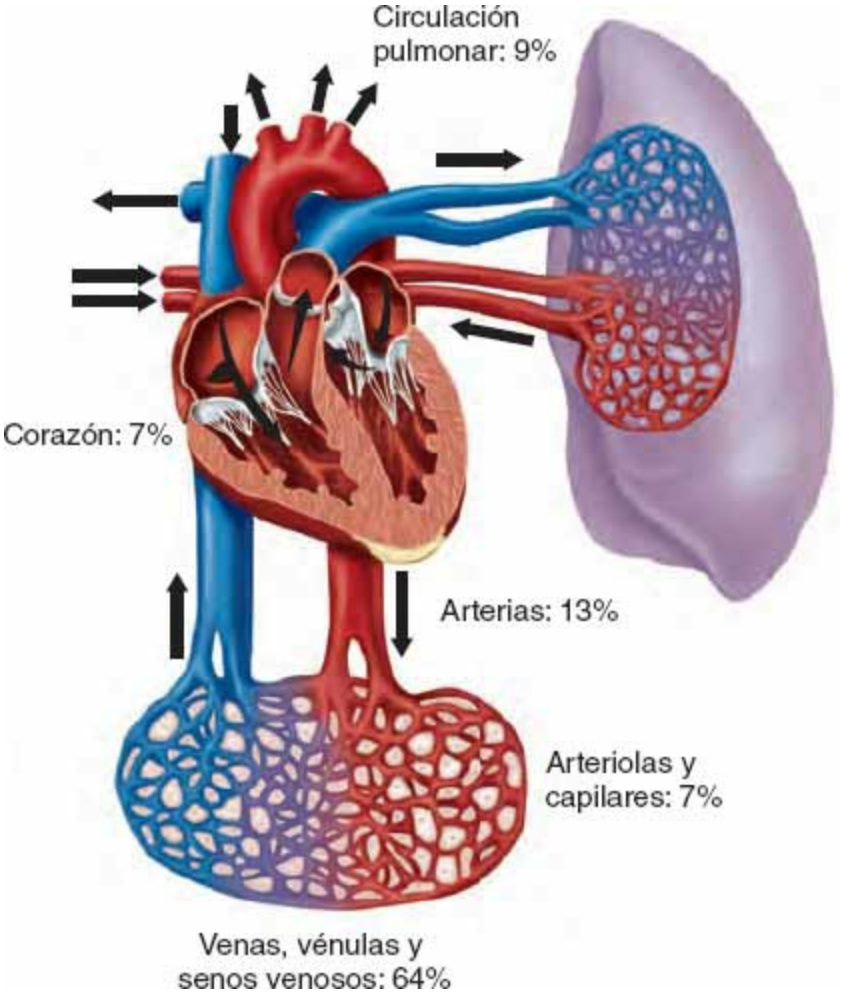


FIGURA 1.14 Componentes venoso (izquierda) y arterial (derecha) del sistema circulatorio. Los valores porcentuales revelan la distribución de la volemia por el sistema circulatorio en reposo.

Los capilares

La función de los **capilares** es facilitar el intercambio de oxígeno, líquidos, nutrientes, electrolitos, hormonas y otras sustancias entre la sangre y el líquido intersticial de los diversos tejidos del cuerpo. Las paredes de los capilares son muy finas y también permeables a estas sustancias, aunque no a todas (13).

Las venas

Las **vénulas** acumulan sangre de los capilares y convergen gradualmente en las venas, progresivamente más grandes, que conducen la sangre de vuelta al corazón. Como la presión del sistema venoso es muy baja, las paredes de las

venas son finas aunque musculosas. Esto les permite contraerse o dilatarse en cierto grado y, por tanto, actuar como un reservorio de sangre en pequeñas o grandes cantidades (13). Además, algunas venas, como las de las piernas, contienen válvulas unidireccionales que ayudan a mantener el retorno venoso impidiendo el flujo retrógrado de la sangre.

El sistema cardiovascular transporta nutrientes y elimina productos de desecho al tiempo que ayuda a mantener el entorno de todas las funciones corporales. La sangre transporta oxígeno de los pulmones a los tejidos para el metabolismo celular; también transporta dióxido de carbono, el producto de desecho más abundante del metabolismo, desde los tejidos hasta los pulmones, donde se elimina del cuerpo.

La sangre

Las dos grandes funciones de la sangre son el transporte de oxígeno de los pulmones a los tejidos para el metabolismo celular y la eliminación del dióxido de carbono, el producto de desecho más abundante del metabolismo, desde los tejidos hasta los pulmones. El transporte de oxígeno corresponde a la **hemoglobina**, la molécula de proteína férrica que transportan los glóbulos rojos. La hemoglobina también ejerce un papel adicional importante de amortiguador ácido-básico, un regulador de la concentración de iones de hidrógeno, lo cual es crucial para la tasa de reacciones químicas en las células. Los **glóbulos rojos**, el principal componente de la sangre, también desempeñan otras funciones. Por ejemplo, contienen gran cantidad de anhidrasa carbónica, que cataliza la reacción entre el dióxido de carbono y el agua para facilitar la eliminación del dióxido de carbono.

Sistema respiratorio

La función primaria del sistema respiratorio es el intercambio básico de oxígeno y dióxido de carbono. La anatomía del sistema respiratorio humano se muestra en la figura 1.15. Mientras el aire circula por la nariz, las cavidades nasales realizan tres funciones diferenciadas: calentamiento, humidificación y purificación del aire (13). El aire se distribuye por los pulmones a través de la tráquea, los bronquios y los bronquiolos. La **tráquea** (inicio de las vías respiratorias bajas) recibe el nombre de *vía respiratoria de primera generación*, y los **bronquios** derecho e izquierdo son las *vías respiratorias de segunda generación*; cada división posterior constituye una

generación adicional (**bronquiolos**). Hay aproximadamente veintitrés generaciones (o subdivisiones) antes de que el aire finalmente llegue a los **alvéolos**, donde se intercambian gases en la respiración (13).

¿Qué es la bomba de músculo esquelético?

La bomba de músculo esquelético es la ayuda que la contracción de los músculos proporciona al sistema circulatorio. La bomba de músculo esquelético colabora con el sistema venoso, que contiene válvulas unidireccionales para garantizar el retorno de la sangre al corazón. Al contraerse, los músculos comprimen las venas y, como la sangre solo puede circular en la dirección de las válvulas, termina retornando al corazón. Este mecanismo es una de las razones por las que se recomienda a la gente que siga andando después del ejercicio para evitar la acumulación de sangre en las extremidades inferiores. Por otra parte, es importante masajearse periódicamente los músculos cuando pasemos mucho tiempo sentados con el fin de facilitar el retorno venoso al corazón.

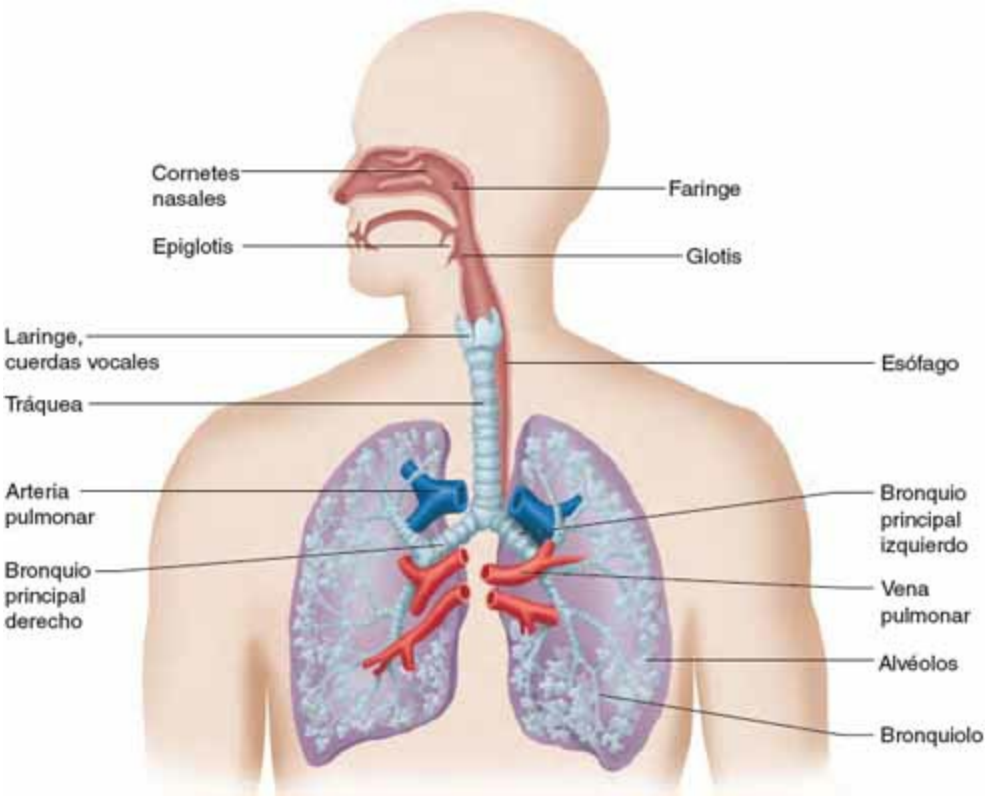


FIGURA 1.15 Anatomía macroscópica del sistema respiratorio humano.

La función primaria del sistema respiratorio es el intercambio básico de oxígeno y dióxido de carbono.

Intercambio de aire

La cantidad y movimiento de aire y gases espirados dentro y fuera de los pulmones se regula mediante la expansión y retracción de los pulmones. Estos no se expanden ni retraen activamente por sí mismos, sino que el tórax actúa sobre ellos de dos formas: mediante el movimiento ascendente y descendente del diafragma para aumentar y disminuir el tamaño de la cavidad torácica, y mediante la elevación y depresión de las costillas para aumentar y disminuir el diámetro anteroposterior de la cavidad torácica (13). La respiración tranquila y normal depende casi por completo del movimiento del diafragma. Durante la inspiración, la contracción del diafragma crea una presión negativa (vacío) en la cavidad torácica y el aire es atraído a los pulmones. Durante la espiración, el diafragma se limita a relajarse; la retracción elástica de los pulmones, la pared torácica y las estructuras abdominales comprime los pulmones y el aire es expulsado al exterior. Al jadear, las fuerzas elásticas por sí solas no son lo bastante poderosas como para ofrecer la necesaria respuesta respiratoria. La fuerza adicional requerida procede sobre todo de la contracción de los músculos abdominales, los cuales empujan hacia arriba el abdomen contra la base del diafragma (13).

El segundo método para expandir los pulmones consiste en la elevación de la caja torácica. Como la cavidad torácica es pequeña y las costillas se inclinan hacia abajo en reposo, la elevación de la caja torácica permite a las costillas proyectarse casi directamente hacia delante de modo que el esternón se desplaza hacia delante y se aleja de la columna vertebral. Los músculos que elevan la caja torácica son los músculos de la inspiración, como los intercostales externos, los esternocleidomastoideos, los serratos anteriores y los escalenos. Los músculos que deprimen el tórax son los músculos de la espiración e incluyen los abdominales (recto del abdomen, oblicuos internos y externos del abdomen, y transverso del abdomen) y los intercostales internos (13).

La **presión pleural** es la presión que se concentra en el estrecho espacio entre la pleura pulmonar y la **pleura** de la pared torácica (membranas que envuelven los pulmones y tapizan las paredes torácicas). Esta presión suele ser ligeramente negativa. Como el pulmón es una estructura elástica, durante la inspiración normal la expansión de la caja torácica es capaz de desplazar la superficie de los pulmones y crea una presión más negativa que mejora la inspiración. Durante la espiración, el proceso, en esencia, se invierte (13).

¿Qué importancia tiene entrenar los músculos de la

respiración?

El ejercicio regular es beneficioso para mantener la función de los músculos respiratorios. Tanto el ejercicio de fondo, que implica la contracción repetitiva de los músculos respiratorios, como el ejercicio resistido, que trabaja el diafragma y los músculos abdominales por su uso en la estabilización y para aumentar la presión intraabdominal (maniobra de Valsalva) durante el esfuerzo, pueden causar ciertas adaptaciones de los músculos al entrenamiento. Esto ayuda a preservar un tanto la función pulmonar cuando envejecemos. Sin embargo, por lo general, no es necesario entrenar específicamente los músculos excepto después de una cirugía o durante un período prolongado de descanso en cama, cuando los patrones respiratorios normales se ven comprometidos.

La **presión alveolar** es la presión interna de los alvéolos cuando la hendidura glótica está abierta y no entra ni sale aire de los pulmones. De hecho, en este caso la presión de todas las porciones del árbol respiratorio es la misma hasta los alvéolos y equivale a la presión atmosférica. Para que el aire fluya al interior durante la inspiración, la presión de los alvéolos debe caer hasta un valor ligeramente inferior a la presión atmosférica. Durante la espiración, la presión alveolar se debe situar por encima de la presión atmosférica (13).

Durante la respiración normal en reposo, la ventilación pulmonar solo necesita del 3% al 5% de la energía gastada por el cuerpo. Sin embargo, durante el ejercicio muy intenso la energía requerida puede representar hasta el 8-15% del gasto energético total del cuerpo, especialmente si la persona presenta aumento de resistencia al paso del aire en la vías respiratorias, como ocurre con el asma. A menudo se recomienda adoptar precauciones, incluyendo la evaluación médica del atleta, dependiendo del nivel potencial de deterioro.

Intercambio de gases respiratorios

Con la ventilación, el oxígeno se difunde de los alvéolos a la sangre pulmonar, y el dióxido de carbono lo hace de la sangre a los alvéolos. El proceso de **difusión** es un movimiento aleatorio de moléculas en direcciones opuestas a través de la membrana alveolocapilar. La energía para la difusión depende del movimiento cinético de las mismas moléculas. La difusión neta de gas se produce de la región de concentración elevada a la región de baja concentración. Las tasas de difusión de los dos gases dependen de su concentración en los capilares y los alvéolos, y de la presión parcial de cada gas (13).

En reposo, la presión parcial de oxígeno en los alvéolos es aproximadamente 60 mm Hg más que en los capilares pulmonares. Por tanto, el oxígeno se difunde por la sangre de los capilares pulmonares. De forma similar, el dióxido de carbono se difunde en dirección opuesta. Este proceso de intercambio de gases es tan rápido que se considera instantáneo (13).

Conclusión

El conocimiento de la fisiología y la anatomía respiratoria, cardiovascular, neuromuscular y musculoesquelética es importante para el especialista en fuerza y acondicionamiento físico con el fin de comprender la base física del acondicionamiento. Esto comprende aprender la función de la macroestructura y la microestructura del esqueleto y las fibras musculares, los tipos de fibras musculares y las interacciones entre el tendón y el músculo, y entre la unidad motora y su activación, así como las interacciones del corazón, el sistema vascular, los pulmones y el sistema respiratorio. Esta información es necesaria para elaborar estrategias de entrenamiento que cumplan las necesidades específicas de los atletas.

TÉRMINOS CLAVE

acetilcolina
actina
alvéolo
arteria
arteriola
articulación
  biaxial
  cartilaginosa
  fibrosa
  monoaxial
  multiaxial
  sinovial
aurícula
banda
  A
  I
bloqueo

- de rama derecha
- de rama izquierda

bradicardia
bronquiolo
bronquio
capilar
cartílago hialino
columna vertebral
complejo QRS
despolarización
diástole
difusión
distal
electrocardiograma (ECG)
endomisio
epimisio
espasmo
esqueleto
- apendicular
- axial

fascículo auriculoventricular (AV)
fascículo
fibra
- de contracción lenta
- de contracción rápida
- de Purkinje
- extrafusal
- muscular
- tipo I
- tipo IIa
- tipo IIx

glóbulo rojo
golpe de potencia
hemoglobina
huso muscular
línea Z
líquido sinovial

miocardio
miofibrilla
miofilamento
miosina
motoneurona
nódulo
  auriculoventricular (AV)
  sinusal (SA)
onda
  P
  T
órgano tendinoso de Golgi (OTG)
perimisio
periostio
pleura
potencial de acción
presión
  alveolar
  pleural
principio de todo o nada
propioceptor
puente cruzado
repolarización
retículo sarcoplasmático
sarcolema
sarcómero
sarcoplasma
sistema
  arterial
  nervioso parasimpático
  nervioso simpático
  venoso
sístole
taquicardia
tendón
teoría de los filamentos deslizantes

tétanos
tráquea
tropomiosina
troponina
túbulo T
unidad motora
unión neuromuscular
válvula
  aórtica
  auriculoventricular (AV)
  mitral
  pulmonar
  semilunar
  tricúspide
vena
ventrículo
vénula
zona H

PREGUNTAS DE REPASO

(respuestas en la página 657)

1. ¿Cuál de las siguientes sustancias regula las acciones musculares?
   a. Potasio.
   b. Calcio.
   c. Troponina.
   d. Tropomiosina.

2. ¿Cuál de las siguientes sustancias actúa en la unión neuromuscular para excitar las fibras musculares de una unidad motora?
   a. Acetilcolina.
   b. ATP.
   c. Fosfocreatina.
   d. Serotonina.

3. Al lanzar una pelota de béisbol, el brazo de un atleta se estira rápidamente justo antes de soltar la pelota. ¿Cuál de las siguientes estructuras detecta y responde a ese estiramiento aumentando de forma

refleja la actividad muscular?
a. Órgano tendinoso de Golgi.
b. Huso muscular.
c. Músculo extrafusal.
d. Corpúsculo de Pacini.

4. ¿En cuál de las siguientes estructuras se inician normalmente los impulsos eléctricos del corazón?
a. Nódulo AV.
b. Nódulo SA.
c. El cerebro.
d. El sistema nervioso simpático.

5. ¿Cuál de los siguientes fenómenos ocurre durante el complejo QRS de un ECG típico?
I. Despolarización de la aurícula
II. Repolarización de la aurícula
III. Repolarización del ventrículo
IV. Despolarización del ventrículo
a. Solo I y III.
b. Solo II y IV.
c. Solo I, II y III.
d. Solo II, III y IV.

CAPÍTULO 2

Biomecánica del ejercicio resistido

Jeffrey M. McBride*

A la conclusión del capítulo, el lector:

- Identificará los principales componentes de la musculatura esquelética.
- Diferenciará los diversos tipos de palancas del sistema musculoesquelético.
- Concretará los movimientos anatómicos primarios durante los ejercicios y las actividades deportivas.
- Calculará el trabajo lineal y rotacional y la potencia.
- Describirá los factores que contribuyen a la fuerza y potencia del ser humano.
- Evaluará los patrones de potencia y fuerza resistida de las máquinas para el ejercicio.
- Definirá los factores importantes para la biomecánica articular en el ejercicio.

* El autor agradece la significativa aportación de Everett Harman en la redacción de este capítulo.

Conocer la biomecánica es importante para entender los movimientos del ser humano, así como los que intervienen en el deporte y el ejercicio. La **biomecánica** se centra en los mecanismos a través de los cuales los componentes musculoesqueléticos interactúan y generan movimiento. Conocer el desarrollo de los movimientos del cuerpo humano y las tensiones que los movimientos imponen al sistema musculoesquelético facilita el diseño de programas eficaces y seguros de entrenamiento resistido.

Este capítulo empieza con una revisión de la musculatura esquelética, la mecánica corporal y los patrones primarios de movimiento durante el ejercicio y las actividades deportivas, y después se describen los principios biomecánicos relacionados con la manifestación de la potencia y la fuerza del

cuerpo humano. A continuación, se examinan las fuentes primarias de resistencia a la contracción muscular usadas en las máquinas de ejercicio, incluyendo la gravedad, la inercia, el rozamiento, la viscosidad y la elasticidad. Finalmente, se analizan los aspectos del entrenamiento resistido relacionados con la biomecánica articular (con especial énfasis en los hombros, la espalda y las rodillas).

Musculatura esquelética

Para producir movimientos y generar fuerza contra objetos externos, los dos extremos de un músculo esquelético deben insertarse en el hueso por medio de tejido conjuntivo. Tradicionalmente, los anatomistas definen el **origen** del músculo como su *inserción proximal* (la más próxima al centro del cuerpo) y la **inserción** como su *anclaje distal* (más alejado del centro del cuerpo). En ocasiones el origen se define como la estructura más estática en la que se inserta el músculo y la inserción como la estructura de mayor movilidad. Esta definición puede llevar a invertir, por confusión, la posición del origen y la inserción. Por ejemplo, durante una flexión de abdominales con las piernas rectas, el origen del músculo ilíaco es el fémur debido a su inmovilidad relativa. La pelvis, al actuar con más movilidad, es la inserción. Sin embargo, durante el ejercicio de elevación de las piernas, la pelvis se mantiene relativamente inmóvil y, por tanto, se convierte en el origen, mientras que el fémur, al mostrarse más móvil, se convierte en la inserción. La definición tradicional, por tanto, es la más consistente.

Los músculos se insertan en el hueso de diversas formas. En las **inserciones carnosas**, que se suelen localizar en el extremo proximal del músculo, las fibras musculares se fijan directamente al hueso, habitualmente sobre un área amplia para que la fuerza se distribuya y no esté muy focalizada. Las **inserciones fibrosas**, como los **tendones**, se mezclan y son contiguas a las vainas de los músculos y al tejido conjuntivo que rodea el hueso. Presentan fibras adicionales que se extienden por el mismo hueso para lograr una unión más resistente.

Virtualmente todos los movimientos del cuerpo implican la acción de más de un músculo. El músculo más directamente implicado en producir un movimiento recibe el nombre de **agonista**. Un músculo que ralentiza o detiene el movimiento se considera **antagonista**. El músculo antagonista ayudar a estabilizar la articulación y a frenar la extremidad al final de un

movimiento rápido, con lo cual protege de fuerzas potencialmente destructivas las estructuras **articulares cartilaginosas** y ligamentarias. Durante un lanzamiento, por ejemplo, el músculo tríceps actúa de agonista, extendiendo el codo para acelerar la pelota. Por el contrario, cuando el codo se aproxima a su extensión completa, el músculo bíceps actúa de antagonista para ralentizar la extensión del codo y detenerla, con lo cual protege las estructuras del codo de impactos internos.

Un músculo se considera **sinérgico** cuando colabora indirectamente en un movimiento. Por ejemplo, los músculos que estabilizan la escápula actúan como sinérgicos durante el movimiento del brazo. Sin estos músculos sinérgicos, los músculos que mueven el brazo (muchos de los cuales tienen su origen en la escápula) no serían eficaces en la ejecución del movimiento. Los músculos sinérgicos también se activan para controlar el movimiento del cuerpo cuando el agonista es un músculo que cruza dos articulaciones. Por ejemplo, el músculo recto femoral rebasa la cadera y la rodilla, y actúa flexionando la cadera y extendiendo la rodilla cuando se contrae. Incorporarse de una sentadilla profunda requiere la extensión de la cadera y la rodilla. Si el músculo recto femoral tiene que actuar extendiendo la rodilla mientras la persona se incorpora sin inclinar el tronco hacia delante, entonces los músculos extensores de cadera, como el glúteo mayor, deben actuar como sinérgicos para contrarrestar la flexión de las caderas que, de otro modo, se produciría como resultado de la tensión del músculo recto femoral.

Palancas del sistema musculoesquelético

Aunque hay muchos músculos en el cuerpo que no actúan por medio de palancas, como los músculos del rostro, la lengua, el corazón, las arterias y los esfínteres, los movimientos del cuerpo directamente implicados en el deporte y el ejercicio actúan a través de palancas óseas. Para entender cómo produce el cuerpo esos movimientos, se requiere un conocimiento esencial de las palancas. Veamos varias definiciones básicas:

- **Brazo de palanca.** Distancia perpendicular desde la línea de acción de la fuerza hasta el fulcro. La línea de acción de una fuerza es una línea infinitamente larga que pasa por el punto de aplicación de la fuerza, orientada en la dirección en que se ejerce la fuerza.
- **Fuerza muscular.** Fuerza generada por actividad biomecánica o por el estiramiento de tejido no contráctil que tiende a aproximar los extremos

opuestos de un músculo.

- **Fuerza de resistencia.** Fuerza generada por una fuente externa al cuerpo (p. ej., la gravedad, la inercia o el rozamiento) y que se opone a la fuerza muscular.
- **Fulcro.** Punto de apoyo de una palanca.

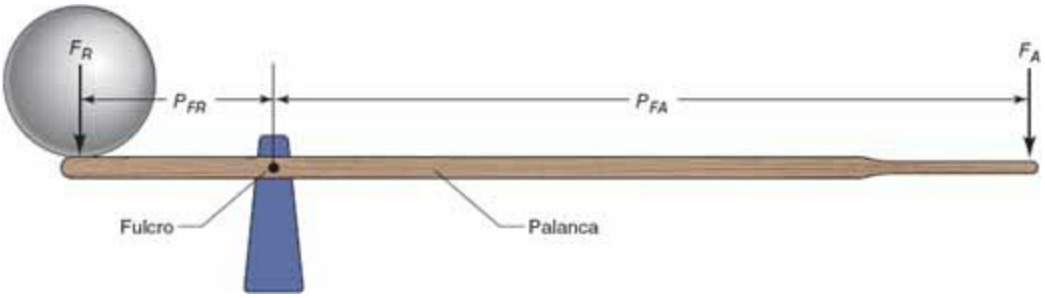


FIGURA 2.1 Palanca. La palanca transmite fuerza tangencial al arco de rotación de un punto de contacto a otro a lo largo de la longitud del objeto. F_A = fuerza aplicada a la palanca; P_{FA} = brazo de palanca de la fuerza aplicada; *FR* = fuerza que opone resistencia a la rotación de la palanca; P_{FR} = brazo de palanca de la fuerza de resistencia. La palanca aplica una fuerza sobre el objeto que equivale en magnitud a la F_R, pero en sentido opuesto.

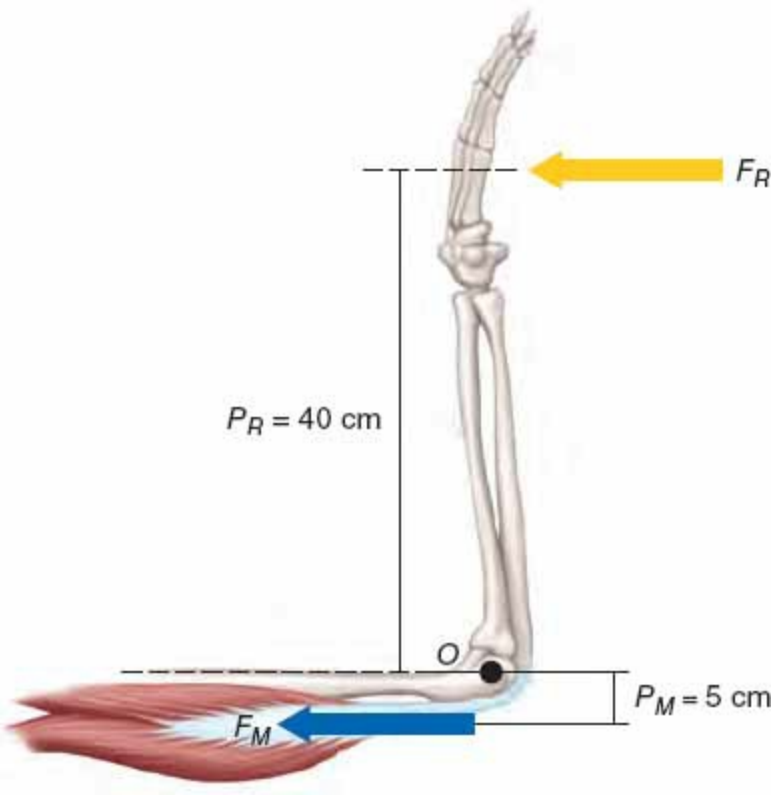


FIGURA 2.2 Palanca de primer orden (el antebrazo). Extensión del codo contra una resistencia (p. ej., un ejercicio de extensión del músculo tríceps). O = fulcro; F_M = fuerza

muscular; F_R = fuerza de resistencia; P_M = brazo de palanca de la fuerza muscular; P_R = brazo de palanca de la fuerza de resistencia. Ventaja mecánica = P_M/P_R = 5 cm/40 cm = 0,125, la cual, al ser inferior a 1, constituye una desventaja.

- **Palanca.** Cuerpo rígido o semirrígido que, cuando soporta una fuerza cuya línea de acción no pasa por su punto de apoyo, ejerce fuerza sobre cualquier objeto que se oponga a su tendencia a girar (figura 2.1).
- **Palanca de primer orden.** Palanca en la que la fuerza del músculo y la fuerza de resistencia actúan sobre puntos opuestos del fulcro (figura 2.2).
- **Palanca de segundo orden.** Palanca en la que la fuerza muscular y la fuerza de resistencia actúan sobre el mismo lado del fulcro, donde la fuerza muscular actúa sobre un brazo de palanca más largo que el de la fuerza de resistencia, como cuando los músculos de la pantorrilla trabajan para ponernos de puntillas (figura 2.3). Gracias a su ventaja mecánica (es decir, a que el brazo de palanca es relativamente largo), la fuerza muscular requerida es menor que la fuerza de resistencia (el peso corporal).
- **Palanca de tercer orden.** Palanca en la que la fuerza muscular y la fuerza de resistencia actúan sobre el mismo lado del fulcro, donde la fuerza muscular actúa sobre un brazo de palanca más corto que el de la fuerza de resistencia (figura 2.4). La ventaja mecánica es, por tanto, inferior a 1, de modo que la fuerza muscular tiene que ser mayor que la fuerza de resistencia para generar un torque igual al producido por la fuerza de resistencia.
- **Torque** (también llamado *momento*). Grado en que una fuerza tiende a girar un objeto sobre un fulcro específico. Se define cuantitativamente como la magnitud de una fuerza multiplicada por la longitud de su brazo de palanca.
- **Ventaja mecánica.** Relación entre el brazo de palanca de una fuerza aplicada y el brazo de palanca de la fuerza de resistencia (figura 2.1). Para que haya un estado de equilibrio entre el torque aplicado y el torque de resistencia, el producto de la fuerza muscular y el brazo de palanca a través del cual actúa debe equivaler al producto de la fuerza de resistencia y su brazo de palanca. Por tanto, una ventaja mecánica, representada por una relación superior a 1, permite que la fuerza aplicada (muscular) sea inferior que la fuerza de resistencia para producir una cantidad pareja de torque. Por el contrario, una ventaja mecánica con una relación inferior a 1 indica que solo hay que aplicar

una fuerza (muscular) mayor que la resistencia presente, creándose así una desventaja evidente para el músculo.

La figura 2.2 muestra una palanca de primer orden, porque la fuerza muscular y la fuerza de resistencia actúan sobre los lados opuestos del fulcro. Durante un esfuerzo isométrico o una rotación articular a velocidad constante, $F_M \cdot P_M = F_R \cdot P_R$. Como P_M es mucho menor que P_R, F_M debe ser mucho mayor que F_R; esto pone en evidencia la naturaleza poco ventajosa de esta disposición (es decir, se requiere más fuerza muscular para generar empuje contra una resistencia externa relativamente pequeña).

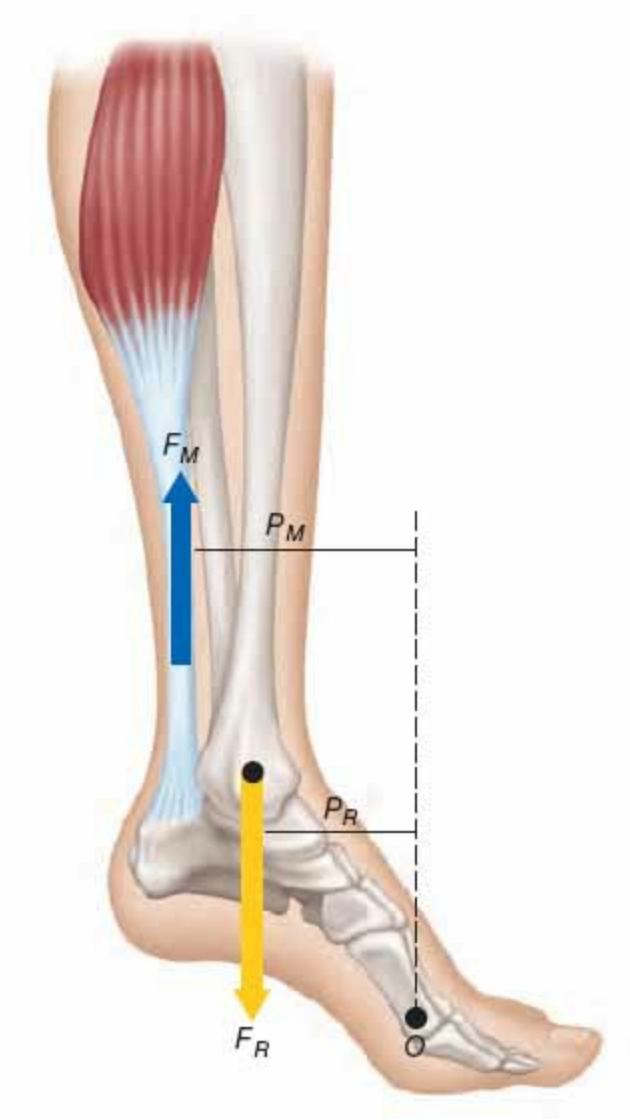


FIGURA 2.3 Palanca de segundo orden (el pie). Flexión plantar contra una resistencia (p. ej., ponerse de puntillas). F_M = fuerza muscular; F_R = fuerza de resistencia; P_M = brazo de

palanca de la fuerza muscular; P_R = brazo de palanca de la fuerza de resistencia. Cuando se eleva el cuerpo, el antepié, que es el punto sobre el cual gira el pie, se convierte en el fulcro (O). Como P_M es mayor que P_R, F_M es menor que F_R.

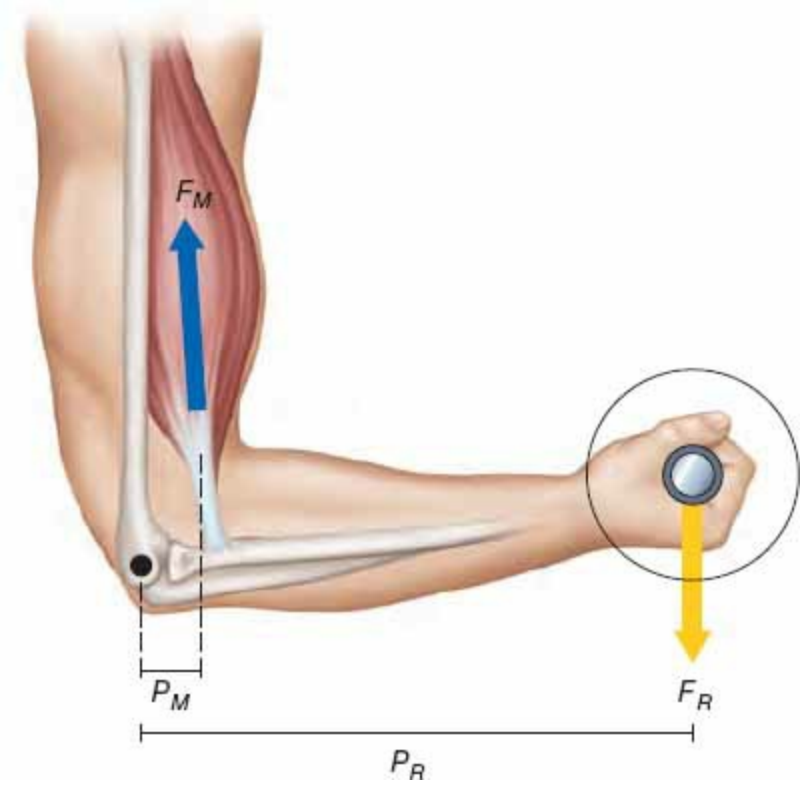


FIGURA 2.4 Palanca de tercer orden (el antebrazo). Flexión del codo contra una resistencia (p. ej., un ejercicio de flexión de bíceps). F_M = fuerza muscular; F_R = fuerza de resistencia; P_M = brazo de palanca de la fuerza muscular; P_R = brazo de palanca de la fuerza de resistencia. Como *PM* es mucho menor que P_R, F_M debe ser mucho mayor que F_R.

La mayoría de los músculos del ser humano que imprimen un giro a las extremidades en las articulaciones actúan con una ventaja mecánica inferior a 1 (es decir, con *des-* ventaja mecánica). Por eso, la fuerza interna de los músculos es mucho mayor que la fuerza ejercida por el cuerpo sobre objetos externos. Por ejemplo, en la figura 2.2, como el brazo de palanca y resistencia es ocho veces más largo que el brazo de palanca del músculo, la fuerza muscular debe equivaler a ocho veces la fuerza de resistencia. Las fuerzas internas extremadamente elevadas que experimentan los músculos y tendones explican en gran parte las lesiones de estos tejidos. Durante el movimiento, la clasificación de una palanca como de primero, segundo o tercer orden a menudo depende de la decisión un tanto arbitraria de dónde se sitúa el fulcro. Por tanto, entender el principio de la ventaja mecánica es mucho más

importante que ser capaz de clasificar palancas.

La ventaja mecánica a menudo cambia continuamente durante las actividades de la vida real. Veamos unos ejemplos:

- En movimientos de flexión y extensión de la rodilla, donde la articulación no es una verdadera trocleartrosis, la localización del eje de rotación cambia continuamente a lo largo del arco de movilidad, con lo cual afecta la longitud del brazo de palanca a través del cual actúan los músculos cuádriceps e isquiotibiales. Durante la extensión de la rodilla, la rótula ayuda a prevenir grandes cambios en la ventaja mecánica del músculo cuádriceps al impedir que su tendón se hunda y se aproxime demasiado al eje de rotación.
- En movimientos como la flexión y extensión del codo no hay una estructura como la rótula que mantenga relativamente constante la distancia perpendicular entre el eje de rotación articular y la línea de acción del tendón (figura 2.5).
- Durante el entrenamiento resistido con pesas libres, el brazo de palanca a través del cual actúan las pesas equivale a la distancia horizontal de una línea que recorre el centro de masa de la haltera o la mancuerna hasta la articulación del cuerpo sobre la que se produce la rotación de la extremidad; por tanto, el brazo de palanca de la resistencia varía a lo largo del movimiento (figura 2.6).

La mayoría de los músculos esqueléticos trabajan con una desventaja mecánica considerable debido a la configuración de las palancas del cuerpo humano en relación con las fuerzas externas a las que el cuerpo opone resistencia. En consecuencia, durante el deporte y otras actividades físicas, la fuerza de músculos y tendones es muy superior a la ejercida por las manos o los pies sobre los objetos externos o el suelo.

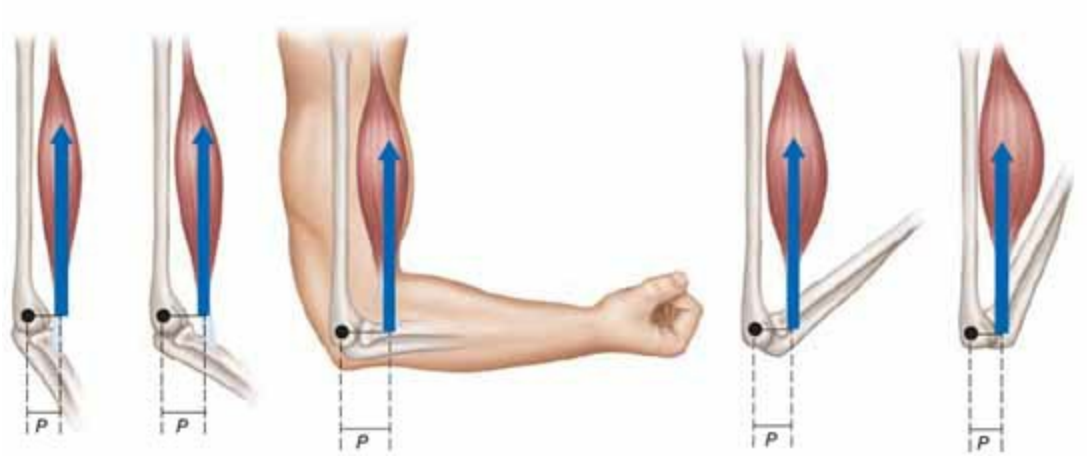


FIGURA 2.5 Durante la flexión del codo por acción del músculo bíceps, la distancia perpendicular del eje de rotación de la articulación hasta la línea de acción del tendón varía durante el arco de movilidad articular. Cuando el brazo de palanca (*P*) es más corto, la ventaja mecánica es menor.

Variaciones en la inserción de los tendones

Existe una considerable variación en la estructura anatómica del ser humano, incluyendo los puntos del hueso en que se insertan los tendones. Una persona cuyos tendones se inserten en localizaciones óseas alejadas del centro articular debería ser capaz de levantar pesos mayores, porque la fuerza muscular actúa a través de un brazo de palanca más largo y, por tanto, puede producir más torque en la articulación. (En la figura 2.5, por ejemplo, consideramos el modo en que cambiaría el brazo de palanca [*P*] si la inserción del tendón estuviera más a la derecha). Sin embargo, es importante saber que existe cierta compensación por la inserción del tendón. La ventaja mecánica adquirida al insertarse los tendones más lejos del centro de la articulación se acompaña de una pérdida de velocidad máxima, porque el músculo se tiene que contraer más para que la articulación se mueva hasta completar cierto arco articular. Es decir, el acortamiento muscular causa una menor rotación de los segmentos corporales alrededor de una articulación, lo cual se traduce en una pérdida de velocidad de movimiento.

La figura 2.7*a* muestra que, al empezar con la articulación extendida, cuando un músculo hipotético se acorta en cierto grado, la articulación gira 37°. Sin embargo, si el músculo se insertase más lejos del centro articular, como en la figura 2.7*b*, el mismo acortamiento del músculo solo causaría una rotación de 34° de la articulación debido a la geometría del triángulo dinámico cuyos vértices están en el origen e inserción del músculo y en el

centro de rotación de la articulación.

Para generar cierta velocidad de rotación articular, todo músculo inserto más lejos del centro de la articulación se deberá contraer a mayor velocidad, a una en la que pueda generar menos fuerza debido a la relación inversa entre la fuerza y la velocidad del músculo (34), descrita más adelante en este capítulo. Por lo tanto, la distribución del tendón reduce la capacidad generadora de fuerza del músculo durante movimientos más rápidos.

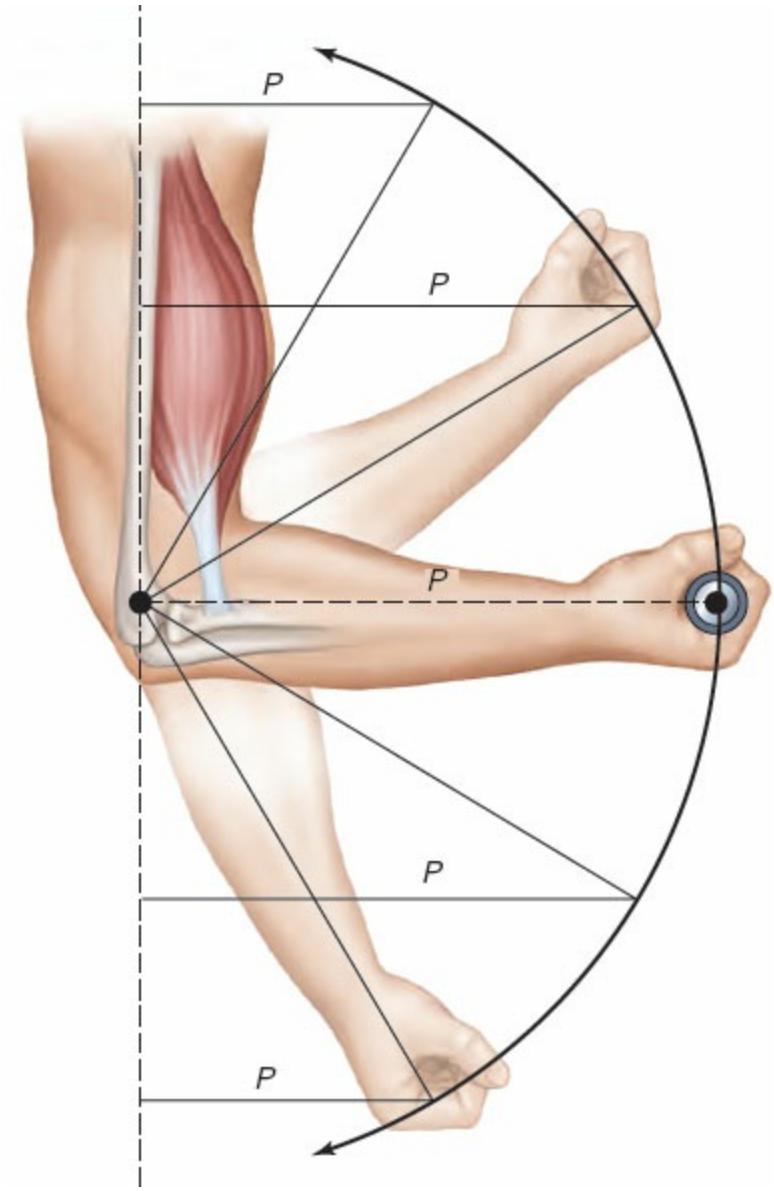


FIGURA 2.6 Al levantar un peso, el brazo de palanca (*P*) a través del cual actúa el peso y, por tanto, el torque o resistencia cambia en relación con la distancia horizontal entre el peso y el codo.

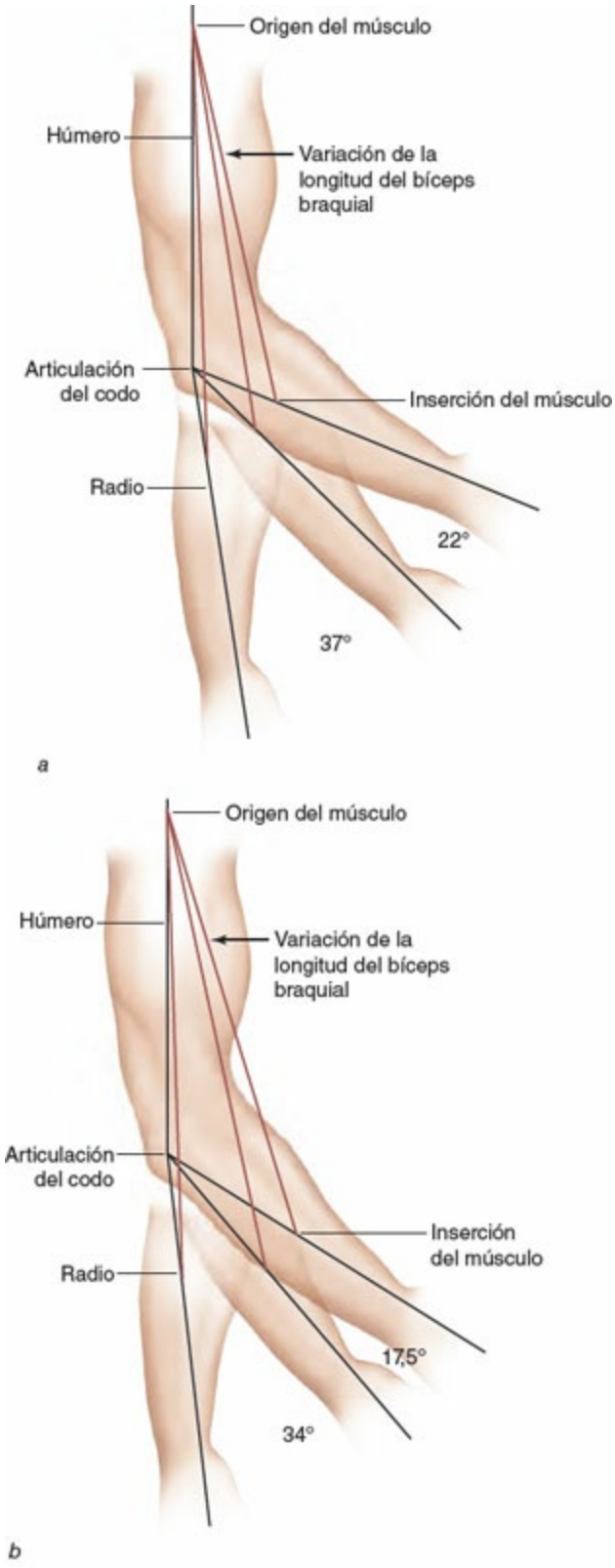


FIGURA 2.7 Cambios en el ángulo articular con incrementos similares del acortamiento del músculo cuando el tendón se inserta (*a*) más próximo y (*b*) más lejos del centro de la articulación. La configuración *b* presenta un brazo de palanca más grande y, por tanto, un

torque mayor para la fuerza de un músculo, si bien con menos rotación por unidad de contracción muscular y, por ello, con una velocidad de movimiento más lenta.

Es posible apreciar el modo en que diferencias individuales relativamente sutiles en la estructura se traducen en diversas ventajas y desventajas. Aunque esta configuración esquelética no sea modificable, es importante entender que, para movimientos más lentos, como los del *powerlifting**, la inserción de los tendones más alejada de lo normal de la articulación puede ser ventajosa, mientras que para actividades atléticas que se desarrollan a mayor velocidad, como el golpeo de la pelota con una raqueta de tenis, esta configuración puede ser poco ventajosa.

Planos anatómicos y principales movimientos del cuerpo

La figura 2.8 muestra a una persona de pie en la **posición anatómica** estándar. El cuerpo está erguido, los brazos junto a los costados y las palmas de las manos orientadas hacia delante. Las vistas anatómicas del cuerpo, como en la resonancia magnética, por lo general se muestran en los **planos sagital, frontal** y **transverso**, los cuales cortan el cuerpo, respectivamente, en las secciones derecha-izquierda, anterior-posterior y superior-inferior, aunque no necesariamente en el punto medio. Los planos anatómicos también son útiles para describir los principales movimientos del cuerpo. Ejemplos de movimientos durante ejercicios en estos planos pueden ser las flexiones con *haltera* (barra metálica con discos en los extremos) en bipedestación (en el plano sagital), las elevaciones laterales de mancuernas en bipedestación (en el plano frontal) y las aberturas con mancuernas (en el plano transverso).

El análisis biomecánico del movimiento es útil para analizar a nivel cuantitativo la actividad deseada. Sin embargo, en ausencia de la pericia o del material deportivo necesario, basta la observación para identificar las características básicas de un movimiento deportivo. A continuación, se seleccionan ejercicios que requieran un movimiento parecido de las mismas articulaciones, con lo cual se incorpora especificidad al entrenamiento. La grabación de vídeos a cámara lenta facilita la observación. Además, la existencia de programas informáticos permite un análisis más detallado de los movimientos deportivos captados en vídeo.

La figura 2.9 presenta una sencilla lista de posibles movimientos del cuerpo que proporcionan un marco manejable para la prescripción de

ejercicios orientados al movimiento. Solo se tienen en cuenta los movimientos en los planos frontal, sagital y transverso, porque, si bien pocos movimientos corporales ocurren solo en estos tres planos principales, hay suficiente solapamiento de los efectos del entrenamiento como para que los músculos ejercitados en los planos también se fortalezcan durante los movimientos entre esos planos.

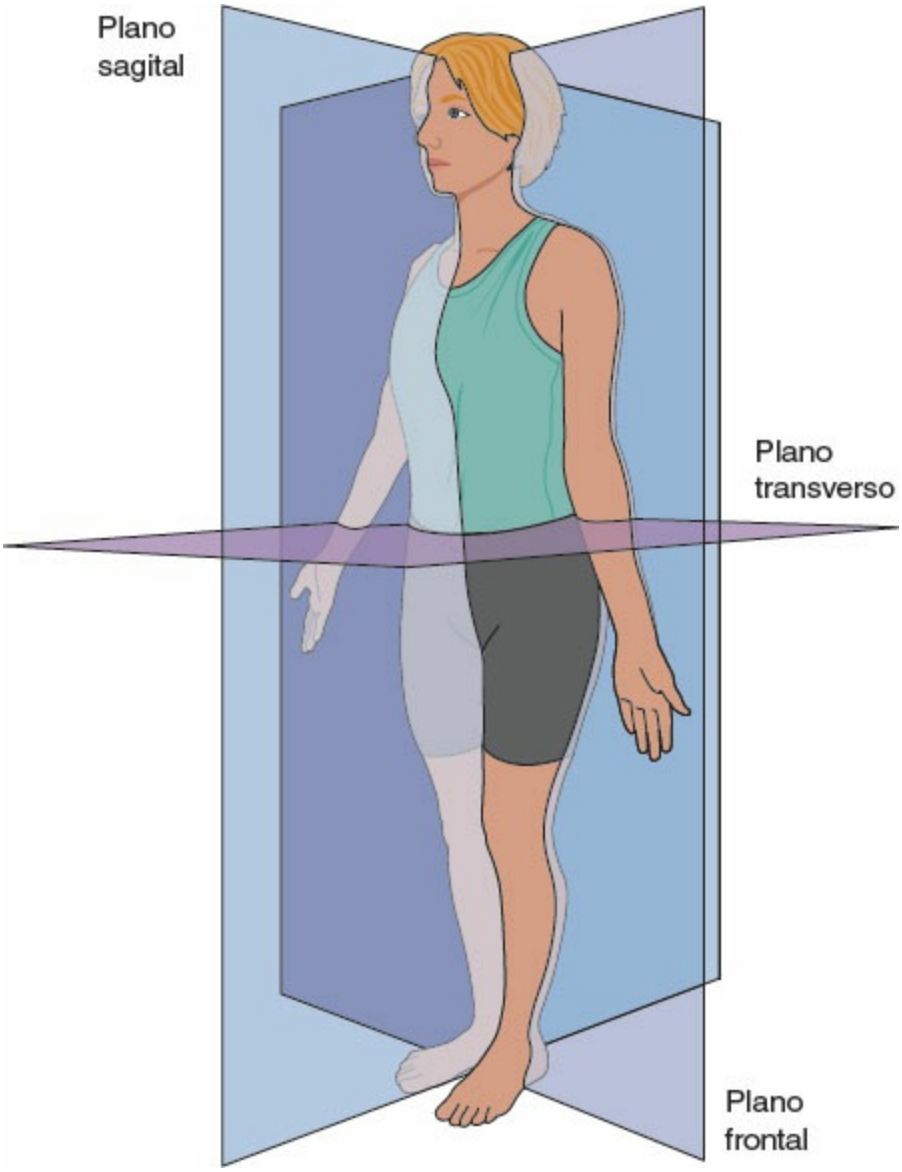


FIGURA 2.8 Los tres planos del cuerpo humano en la posición anatómica.

Aunque un programa que aportase ejercicios resistidos para todos los movimientos que aparecen en la figura 2.9 sería general y equilibrado, algunos de los movimientos se suelen omitir de los programas de ejercicios

estándar, mientras que otros reciben un énfasis particular. Movimientos importantes en el deporte que no se suelen incorporar a los programas de entrenamiento resistido estándar son la rotación interna y externa del hombro (lanzamientos, tenis), la flexión de las rodillas (esprines), la flexión de la cadera (patadas, esprines), la flexión dorsal del tobillo (correr), la rotación interna y externa de las caderas (giro sobre un eje), la abducción y aducción de las caderas (recorte lateral), la rotación del torso (lanzamientos, bateo) y los diversos movimientos del cuello (boxeo, lucha libre).

Fuerza y potencia

Los términos *fuerza* y *potencia* se usan ampliamente para describir algunas capacidades importantes que contribuyen a los esfuerzos máximos en el deporte y otras actividades físicas. Por desgracia, a menudo hay poca consistencia en la forma en que se utilizan dichos términos. Esta sección proporciona una base científica para entender la fuerza y la potencia, así como para demostrar el modo en que diversos factores contribuyen a su manifestación.

Definiciones básicas

Aunque es ampliamente aceptado que la **fuerza** es la capacidad para desarrollar un esfuerzo, existe una considerable discrepancia respecto a cómo se debe medir la fuerza. El peso que una persona puede levantar probablemente sea la medida cuantitativa más antigua de la fuerza. Avances tecnológicos han popularizado el uso de la prueba de la *fuerza isométrica* y también la prueba de la *fuerza isocinética*. Todos los deportes implican **aceleración** (cambio en la velocidad por unidad de tiempo) del cuerpo y, en algunos deportes, también de un implemento (p. ej., bate de béisbol, jabalina, raqueta de tenis). La aceleración se asocia con la fuerza de resistencia según la segunda ley de Isaac Newton:

$$\text{Fuerza} = \text{masa} \cdot \text{aceleración} \qquad (2.1)$$

Debido a las diferencias individuales en la capacidad para ejercer fuerza a distintas velocidades (43), los valores de la fuerza obtenidos en pruebas con ejercicios resistidos a velocidad baja e isométricos tal vez varíen en su capacidad predictiva cuando se requiera a la vez fuerza y gran velocidad. Por

tanto, poner a prueba la capacidad de un atleta para generar fuerza con distintas cargas tal vez nos proporcione más información sobre sus capacidades y debilidades para un deporte específico (6). Aunque controlar y monitorizar la velocidad durante una prueba de fuerza requiera un equipamiento sofisticado, los valores resultantes de la fuerza tal vez sean más significativos respecto a la capacidad para un deporte que las mediciones estáticas de la fuerza o el levantamiento de cargas máximas.

Potencia y trabajo positivos

La curiosidad mostrada ante el hecho de poder generar fuerza con velocidades concretas de movimiento o a gran velocidad ha derivado en un gran interés por la potencia como medida de la capacidad para ejercer fuerza a velocidades superiores. Fuera del ámbito científico, la potencia se define *grosso modo* como «fuerza explosiva» (42). Sin embargo, en física, **potencia** se define con precisión como la cantidad de trabajo por unidad de tiempo, donde el **trabajo** es el producto de la fuerza ejercida sobre un objeto por la distancia que se desplaza el objeto en la dirección en la que se ejerce la fuerza. Cuantitativamente, trabajo y potencia se definen como sigue:

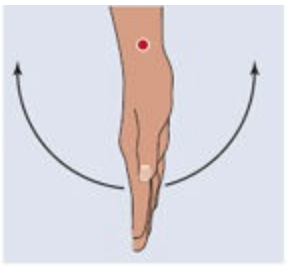
$$\text{Trabajo} = \text{fuerza} \cdot \text{desplazamiento} \quad (2.2)$$

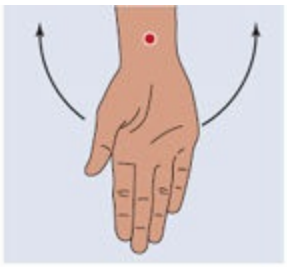
$$\text{Potencia} = \text{trabajo} / \text{tiempo} \quad (2.3)$$

La potencia también se considera el producto de la fuerza ejercida sobre un objeto por la velocidad del objeto en la dirección en la que se ejerce la fuerza, o bien como el producto de la velocidad del objeto por la fuerza ejercida sobre ese objeto en la dirección en la que se desplaza.

Muñeca, plano sagital
Flexión
Ejercicio: Flexión de muñeca
Deporte: Tiros libres de baloncesto

Extensión
Ejercicio: Extensión de muñeca
Deporte: Revés de frontón



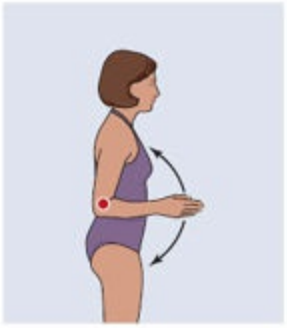


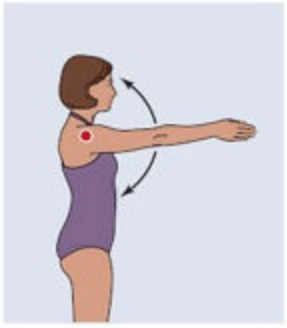
Muñeca, plano frontal
Desviación cubital
Ejercicio: Flexiones específicas de muñeca
Deporte: Balanceo del bate de béisbol

Desviación radial
Ejercicio: Flexiones específicas de muñeca
Deporte: Fase de retroceso del palo en un *swing* de golf

Codo, plano sagital
Flexión
Ejercicio: Flexión de bíceps
Deporte: Bolos

Extensión
Ejercicio: Tríceps en máquina
Deporte: Lanzamiento de peso



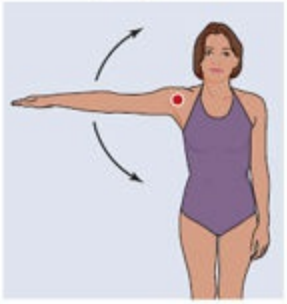


Hombro, plano sagital
Flexión
Ejercicio: Elevación anterior de brazos
Deporte: Gancho de boxeo

Extensión
Ejercicio: Remo sentado con empuñadura neutra
Deporte: Estilo libre, natación

Hombro, plano frontal
Aducción
Ejercicio: Jalones con empuñadura ancha
Deporte: Estilo braza, natación

Abducción
Ejercicio: *Press* de hombros con empuñadura ancha
Deporte: Salto de trampolín



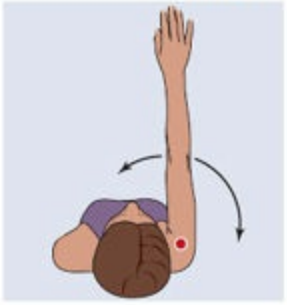


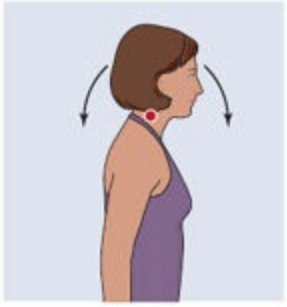
Hombro, plano transverso
Rotación interna
Ejercicio: Movimiento de lucha libre con el brazo (con polea o mancuerna)
Deporte: Lanzamiento de béisbol

Rotación externa
Ejercicio: Movimiento inverso de lucha libre con el brazo
Deporte: Bloqueos de kárate

Hombro, plano transverso
(brazo extendido y formando un ángulo de 90° con el tronco)
Aducción
Ejercicio: Aberturas con mancuernas
Deporte: Derecha de tenis

Abducción
Ejercicio: En anteroflexión, elevación lateral del brazo
Deporte: Revés de tenis





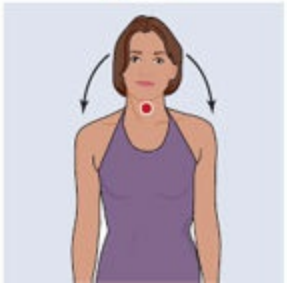
Cuello, plano sagital
Flexión
Ejercicio: Ejercicio de cuello con máquina
Deporte: Salto mortal

Extensión
Ejercicio: Puente posterior dinámico
Deporte: Salto mortal hacia atrás

Cuello, plano transverso
Rotación a la izquierda
Ejercicio: Resistencia manual
Deporte: Movimiento de lucha libre

Rotación a la derecha
Ejercicio: Resistencia manual
Deporte: Movimiento de lucha libre



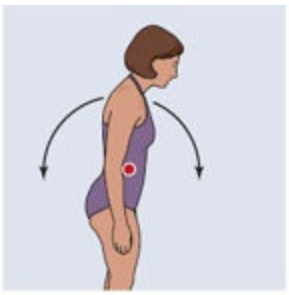


Cuello, plano frontal
Inclinación a la izquierda
Ejercicio: Ejercicio de cuello con máquina
Deporte: Eslalon de esquí

Inclinación a la derecha
Ejercicio: Ejercicio de cuello con máquina
Deporte: Eslalon de esquí

Región lumbar, plano sagital
Flexión
Ejercicio: Flexión de abdominales
Deporte: Fase de acompañamiento de un lanzamiento de jabalina

Extensión
Ejercicio: Peso muerto con las piernas rígidas
Deporte: Salto mortal hacia atrás



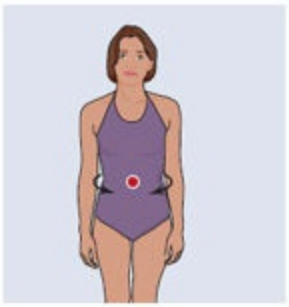


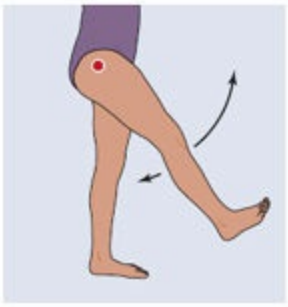
Región lumbar, plano frontal
Inclinación a la izquierda
Ejercicio: Gancho estilo baloncesto, por encima de la cabeza, con balón medicinal
Deporte: Rueda lateral sin manos, gimnasia acrobática

Inclinación a la derecha
Ejercicio: Lateroflexión del tronco
Deporte: Gancho de baloncesto

Región lumbar, plano transverso
Rotación a la izquierda
Ejercicio: Lanzamiento lateral de balón medicinal
Deporte: Bateo de una pelota de béisbol

Rotación a la derecha
Ejercicio: Rotación de torso en máquina
Deporte: *Swing* de golf



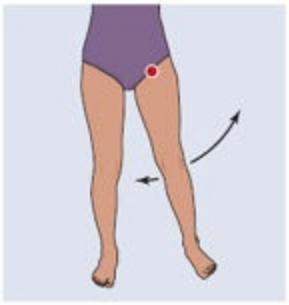


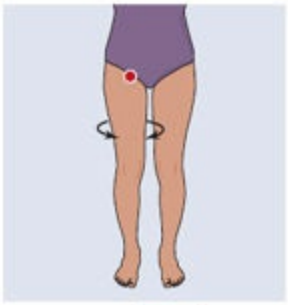
Cadera, plano sagital
Flexión
Ejercicio: Elevación de pierna recta
Deporte: Patada de despeje, fútbol americano

Extensión
Ejercicio: Sentadilla posterior
Deporte: Batida en el salto de longitud

Cadera, plano frontal
Aducción
Ejercicio: De pie, aducción de cadera en máquina
Deporte: Paso lateral ancho, fútbol

Abducción
Ejercicio: De pie, abducción de cadera en máquina
Deporte: Patinaje de velocidad sobre patines en línea



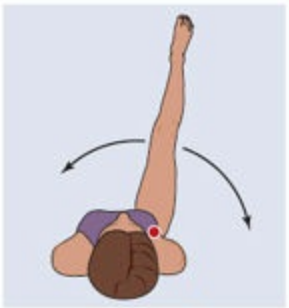


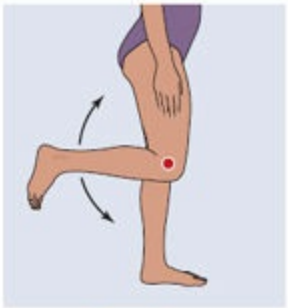
Cadera, plano transverso
Rotación interna
Ejercicio: Rotación interna resistida
Deporte: Movimiento de pivote en baloncesto

Rotación externa
Ejercicio: Rotación externa resistida
Deporte: Giros en patinaje artístico

Cadera, plano transverso
(ángulo de 90° entre el muslo y el tronco)
Aducción
Ejercicio: Aducción en máquina, sentado
Deporte: Barridos de kárate

Abducción
Ejercicio: Abducción en máquina, sentado
Deporte: Escape en lucha olímpica



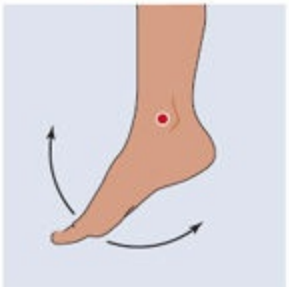


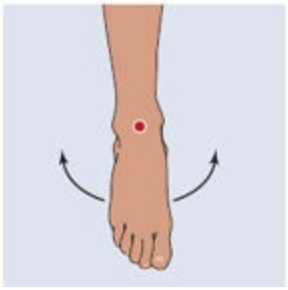
Rodilla, plano sagital
Flexión
Ejercicio: Flexión de rodilla
Deporte: Salto de trampolín agrupado

Extensión
Ejercicio: Extensión de rodilla
Deporte: Bloqueo de voleibol

Tobillo, plano sagital
Flexión dorsal
Ejercicio: Ponerse de puntillas
Deporte: Correr

Flexión plantar
Ejercicio: Elevación de gastrocnemios
Deporte: Salto de altura





Tobillo, plano frontal
Inversión
Ejercicio: Inversión resistida
Deporte: Regatear en fútbol

Eversión
Ejercicio: Eversión resistida
Deporte: Patinaje de velocidad

FIGURA 2.9 Principales movimientos del cuerpo. Los planos de movimiento se refieren al cuerpo en la postura anatómica a menos que se afirme lo contrario. Se enumeran los ejercicios habituales que oponen resistencia a los movimientos, así como las actividades deportivas relacionadas con ellos.

Fuente: Reproducido, con autorización, de Harman, Johnson y Frykman, 1992 (16).

TABLA 2.1 Factores para la conversión de medidas anglosajonas en unidades del SI

Para obtener	Se multiplica	Por
newtons (N)	libras (lb)	4,448
newtons (N)	kilogramos masa (kg)	aceleración de la gravedad
newtons (N)	kilogramos fuerza (kg)	9,807
metros (m)	pies (ft)	0,3048
metros (m)	pulgadas (in)	0,02540
radianes (rad)	grados (°)	0,01745

Para que cumplan su función todas las ecuaciones de este capítulo, hay que usar unidades coherentes. En el Sistema Internacional de Unidades (SI), que es la norma mundial, la fuerza se mide en newtons (N), la distancia en metros (m), el trabajo en julios (J, es decir, newtons-metros o N · m), el tiempo en segundos (s) y la potencia en vatios (W, eso es, J/s). Las unidades apropiadas del SI para las ecuaciones se pueden obtener de otras unidades usuales aplicando los factores enumerados en la tabla 2.1.

A modo de ejemplo de aplicación de la ecuación 2.2, el trabajo neto realizado cuando se levanta un peso equivale a la magnitud del peso (F_1) por la fuerza (F_2) requerida para obtener la tasa deseada de aceleración, multiplicada por el desplazamiento (D) en que el peso se eleva verticalmente. Hay que reparar en que el peso y la dirección de la fuerza deben coincidir con la dirección del desplazamiento. La determinación de esta relación se define por el ángulo entre el vector de fuerza y el vector del desplazamiento (theta, θ). Por ejemplo, el trabajo realizado al levantar 2 m una haltera de 100 kg y completar 10 repeticiones se calcula del siguiente modo:

1. Se determina el **peso** (F_1) en unidades SI (newtons) multiplicando la masa de la barra en kilogramos por la aceleración de la gravedad en metros por segundo al cuadrado. Si no se dispone de la aceleración local de la gravedad, una buena aproximación son 9,8 m/ s^2. Como se dijo con anterioridad, theta (θ) es el ángulo entre el vector de la fuerza y el vector del desplazamiento, que en este caso es cero:

$F_1^{\uparrow}$ $F_2^{\uparrow}$ $D^{\uparrow}$ θ = 0 grados

Fuerza para contrarrestar el peso de la barra (F_1) = 9,8 m/s^2 · 100 kg · cos 0° = 980 N

2. Se calcula la fuerza adicional (F_2) necesaria para acelerar verticalmente la masa de la barra a un ritmo dado. (La fuerza necesaria para bajar la barra de forma controlada se calcula más adelante). Por ejemplo, si el ritmo deseado de aceleración vertical ascendente es 2 m/s^2, la fuerza necesaria sería:

   Fuerza aplicada para acelerar el ascenso de la barra (F_2) = 2 m/s^2 · 100 kg · cos 0° = 200 N

3. Se aplica la ecuación 2.2 para calcular (en julios) el trabajo de 10 repeticiones:

   Trabajo (positivo) = (980 N + 200 N) · 2 m · 10 reps = 23.600 J

Este método para calcular el trabajo resulta muy útil a la hora de cuantificar el volumen de una sesión de entrenamiento. El trabajo de cada serie se calcula como se acaba de mostrar y el trabajo total durante toda la sesión de entrenamiento se determina por adición. Para ejercicios con pesas libres, el desplazamiento vertical de la barra durante una repetición de cada ejercicio se mide, en el caso de cada persona, restando la altura de la barra hasta el suelo en su posición más baja a la altura de la barra en su posición más alta. En el caso de ejercicios en máquina de pesas, se mide el desplazamiento vertical del peso, ya que la distancia vertical recorrida por el peso durante un ejercicio debe ser el mismo, con independencia del peso que se use. En el ejemplo previo, en donde se determinó el trabajo, si se necesitan 40 segundos para practicar 10 repeticiones, la producción media de potencia en vatios para la serie se calcula usando la ecuación 2.3:

Potencia (positiva) = 23.600 J / 40 segundos = 590 W

Potencia y trabajo negativos

Como la potencia equivale al producto de la fuerza y la velocidad, cuando se

ejerce fuerza sobre un peso en dirección opuesta a la que se desplaza el peso (como cuando se baja un peso de forma controlada), la potencia es negativa, al igual que el trabajo. Toda esta potencia y trabajo «negativos» se producen durante acciones musculares excéntricas, como bajar un peso o desacelerar al término de un movimiento rápido. En sentido estricto, no existe potencia ni trabajo negativos. El término *trabajo negativo* se refiere al trabajo ejercido sobre un músculo en vez del trabajo ejercido por ese músculo. Cuando se levanta un peso, los músculos ejercen un trabajo sobre el peso y aumentan su energía potencial. Cuando el peso desciende, su energía potencial se utiliza para realizar el mismo trabajo pero sobre el atleta. Por tanto, mientras se practican repeticiones, el atleta y el peso realizan alternativamente un trabajo sobre uno y otro, en vez de ser el atleta el que realiza de forma alternada un trabajo positivo y negativo. El ritmo al que se practican las repeticiones determina la producción de potencia. El ritmo al que la barra experimenta una aceleración descendente en caída libre es 9,8 m/s^2. Si la fuerza neta aplicada fuera 980 N (F_1), la tasa de aceleración sería 0 m/s^2. Si eliminamos 200 N de fuerza (200 N dividido por la masa de la barra de 100 kg, $a = F/m$), la tasa de aceleración descendente de la barra sería 2 m/s^2 (es decir, controlando la tasa de aceleración de la barra mediante la reducción de la fuerza aplicada).

1. Se calcula la fuerza (F_1) que se debe eliminar para permitir que la masa de la barra acelere en el descenso a un ritmo dado. Por ejemplo, si la tasa de aceleración descendente que se desea es 2 m/s^2, la fuerza requerida es:

   $F_1^{\uparrow}$ $F_3^{\downarrow}D^{\downarrow}$ θ = 0 grados

   Fuerza eliminada para acelerar la barra hacia abajo: (F_3) = 2 $m/s^2 \cdot 100$ kg $\cdot \cos 0° = 200$ N

2. Se aplica la ecuación 2.2 para calcular el trabajo de 10 repeticiones en julios:

   Trabajo (negativo) = (980 N + –200 N) · (–2 m) · 10 reps = –15.600 J

3. Se aplica la ecuación 2.3 para calcular en vatios la producción media de potencia de 10 repeticiones:

Potencia (negativa) = 15.600 J / 40 segundos = –390 W

Potencia y trabajo angulares

Las ecuaciones sobre el trabajo y la potencia recién presentadas se aplican a un objeto que se desplaza de un lugar a otro en línea recta. El trabajo y la potencia también son necesarios para hacer que un objeto gire sobre un eje o para que cambie la velocidad a la que gira, incluso si el objeto en sí no se desplaza por el espacio. El ángulo en que gira un objeto se llama **desplazamiento angular**, cuya unidad del SI es el radián (rad); 1 rad = 180° ÷ π = 57,3°, donde π = 3,14. La **velocidad angular** es la velocidad rotacional, medida en radianes por segundo (rad/s). El torque se expresa en newtons-metros (N · m), pero no se debe confundir con el trabajo, que también se expresa en newtons-metros. La diferencia es que la distancia del torque se refiere a la longitud del brazo de palanca (que es *perpendicular* a la línea de acción de la fuerza), mientras que la distancia del trabajo se refiere a la distancia recorrida *a lo largo* de la línea de acción de la fuerza. Al igual que para el movimiento en el espacio, el trabajo realizado al girar un objeto se mide en julios (J), y la potencia en vatios (W).
Esta ecuación sirve para calcular el **trabajo de rotación**:

$$\text{Trabajo} = \text{torque} \cdot \text{desplazamiento angular} \qquad (2.4)$$

La ecuación 2.3 sirve para calcular la **potencia de rotación**, igual que se usa para calcular la potencia lineal.

Aunque el término *fuerza* se asocie a menudo con velocidades bajas y el concepto *potencia* con velocidades altas, ambas variables reflejan la capacidad para ejercer fuerza a una velocidad de movimiento dada. La potencia es una función matemática directa de la fuerza y la velocidad.

Fuerza frente a potencia

La discrepancia entre las definiciones populares y las científicas sobre la potencia ha provocado todo tipo de malentendidos. Por ejemplo, en un deporte como el *powerlifting*, en el que se generan grandes fuerzas pero con velocidades de movimiento relativamente bajas, se produce menos potencia mecánica que en otros deportes como la halterofilia olímpica (6). A pesar de la discrepancia, no es probable que el *powerlifting* se rebautice algún día con otro nombre. En todos los demás contextos, los especialistas de la fuerza y el

acondicionamiento físico deben usar el término *potencia* solo en su sentido científico para evitar cualquier ambigüedad. Además, aunque la palabra *fuerza* se asocie a menudo con velocidades bajas y la palabra *potencia* con velocidades altas de movimiento, ambas variables reflejan la capacidad de ejercer fuerza a una velocidad dada. La potencia es una función matemática directa de la fuerza y la velocidad. Por lo tanto, si en cualquier instante se conocen dos de las variables —fuerza y velocidad—, se podrá calcular la potencia. Si una persona genera mucha fuerza o mucha potencia a una velocidad de movimiento dada, se está describiendo precisamente la misma capacidad; es decir, la capacidad de acelerar una masa a una velocidad concreta. Por lo tanto, no es correcto asociar fuerza con una velocidad baja y potencia con una velocidad alta. Fuerza es la capacidad de ejercer fuerza a cualquier velocidad, y la potencia es el producto matemático de la fuerza y la velocidad a una velocidad cualquiera. Lo determinante es la capacidad para ejercer fuerza a velocidades características de un deporte dado con el fin de superar la gravedad y acelerar el cuerpo o un implemento. En el caso de un movimiento deportivo relativamente lento por oponérsele una resistencia elevada, la fuerza a baja velocidad es crítica, mientras que en el caso de un movimiento muy rápido porque la resistencia es baja la fuerza a alta velocidad es importante. Por ejemplo, cuando los linieros ofensivos y defensivos de fútbol americano se empujan unos a otros, su velocidad de movimiento se frena por la fuerza muscular ejercida por el jugador contrario, así como por la inercia de la masa corporal del oponente. Como se impide a los músculos contraerse a gran velocidad, la capacidad de ejercer fuerza y potencia a baja velocidad es un componente importante del rendimiento. En contraste, los músculos de un jugador de bádminton alcanzan rápidamente una velocidad alta como resultado de la resistencia mínima que ofrecen la raqueta y el brazo del jugador. Por tanto, la capacidad de ejercer fuerza y potencia a gran velocidad es crítica para ajustar rápidamente los golpes.

Un deporte como el levantamiento de pesas (halterofilia olímpica) tiene un componente de potencia mucho mayor que el *powerlifting*, debido a las mayores velocidades de movimiento con grandes cargas, si los comparamos con los movimientos de *powerlifting*.

Factores biomecánicos de la fuerza

Varios factores biomecánicos intervienen en la manifestación de la fuerza del

ser humano como, por ejemplo, el control neuronal, el área transversal de los músculos, la configuración de las fibras musculares, la longitud de los músculos, el ángulo articular, la velocidad de contracción del músculo, la velocidad angular de la articulación y el tamaño corporal. Estos factores se exponen a continuación, como también la relación tridimensional de la fuerza y la relación entre fuerza y masa.

Control neuronal

El control neuronal influye en la producción de fuerza máxima de un músculo al determinar cuáles y cuántas unidades motoras participan en una contracción muscular (**reclutamiento**) y la velocidad a la que se activan esas unidades motoras (**codificación del índice**) (4). Por lo general, la fuerza muscular es mayor cuando (a) intervienen más unidades motoras en una contracción; (b) las unidades motoras son de mayor tamaño, o (c) la velocidad de activación es más rápida. Gran parte de la mejora de la fuerza que se manifiesta en las primeras semanas de entrenamiento resistido es atribuible a las adaptaciones neuronales mientras el cerebro aprende a generar más fuerza con el mismo tejido contráctil (33). Es habitual que los novatos en el entrenamiento resistido se sientan desanimados cuando no logran mantener el ritmo de incremento de las primeras semanas de entrenamiento. Es importante que se den cuenta de que la mejora futura se producirá si cumplen a rajatabla el régimen de entrenamiento, aunque a través de mecanismos más lentos como la hipertrofia muscular.

Área transversal del músculo

Si todo lo demás se mantiene igual, la fuerza que un musculo ejerce está más relacionada con el área transversal que con su volumen (11, 31). Por ejemplo, si dos atletas de similar porcentaje de grasa corporal pero distinta altura presentan un músculo bíceps de la misma circunferencia, el área transversal del músculo del brazo es casi la misma. Aunque los músculos más largos del atleta más alto (y, por tanto, más pesado) responden del mayor volumen muscular, la fuerza del bíceps de los dos atletas debería ser la misma. Con la misma fuerza pero más peso muscular, el atleta más alto tiene menos capacidad para elevar y acelerar su propio cuerpo, por ejemplo, cuando se practican ejercicios calisténicos (para el desarrollo de la agilidad y la fuerza) o gimnásticos. Por eso, la mayoría de los gimnastas de elite no son muy altos.

Tal y como se describe en el capítulo 1, el entrenamiento resistido aumenta tanto la fuerza como el área transversal del músculo implicado en la actividad deseada.

Configuración de las fibras musculares

Se ha computado que la contracción máxima de los músculos es capaz de generar de 23 a 145 psi (16-100 N/cm^2) de área transversal muscular (21). Este amplio margen puede responder parcialmente a la variación en la configuración y alineamiento de los sarcómeros en relación con el eje largo del músculo (figura 2.10) (21). Un **músculo penniforme** presenta fibras alineadas oblicuamente respecto al tendón, lo cual le da la apariencia de una pluma de ave. El **ángulo de distribución penniforme** se define como el ángulo formado por las fibras musculares y una línea imaginaria trazada entre el origen e inserción del músculo; así, 0° manifiesta la ausencia de distribución penniforme.

Muchos de los músculos del cuerpo humano son penniformes (20, 39), pero pocos presentan un ángulo de distribución penniforme mayor de 15°. En realidad, el ángulo de distribución penniforme no se mantiene constante, sino que aumenta cuando los músculos se acortan. Por tanto, cualquier factor que influya en el ángulo de distribución penniforme afectará la fuerza y velocidad de acortamiento siempre y cuando el área transversal se mantenga igual. Los músculos con mayor distribución penniforme presentan más sarcómeros en paralelo y menos sarcómeros en serie; por tanto, son más capaces de generar fuerza, pero su velocidad máxima de acortamiento es menor que la de los músculos no penniformes. En comparación, una menor distribución penniforme resulta ventajosa para producir grandes velocidades debido al mayor número de sarcómeros en serie, a expensas del número de sarcómeros en paralelo. No obstante, el grado de distribución penniforme influye en la capacidad de los músculos para generar fuerza excéntrica, isométrica o concéntrica a velocidad baja (40). Y lo más importante, aunque el ángulo de distribución penniforme tal vez varíe dependiendo de factores hereditarios, se puede modificar con el entrenamiento, lo que explica algunas de las diferencias en la fuerza y la velocidad apreciadas en personas que aparentemente tienen músculos del mismo tamaño.

Longitud del músculo

Cuando un músculo asume su longitud en reposo, los filamentos de actina y miosina están dispuestos uno junto a otro, de modo que solo hay disponible un número máximo de puntos potenciales para la formación de puentes cruzados (figura 2.11). Por tanto, el músculo puede generar su máxima fuerza con su longitud en reposo. Cuando el músculo se estira mucho más allá de su longitud en reposo, hay una proporción menor de filamentos de actina y miosina dispuestos uno junto a otro. Como hay menos puntos potenciales para la formación de puentes cruzados, el músculo no es capaz de generar tanta fuerza como con su longitud en reposo. Cuando el músculo se contrae muy por debajo de su longitud en reposo, los filamentos de actina se solapan y también se reduce el número de puntos para la formación de puentes cruzados, con lo cual se reduce la capacidad de generar fuerza.

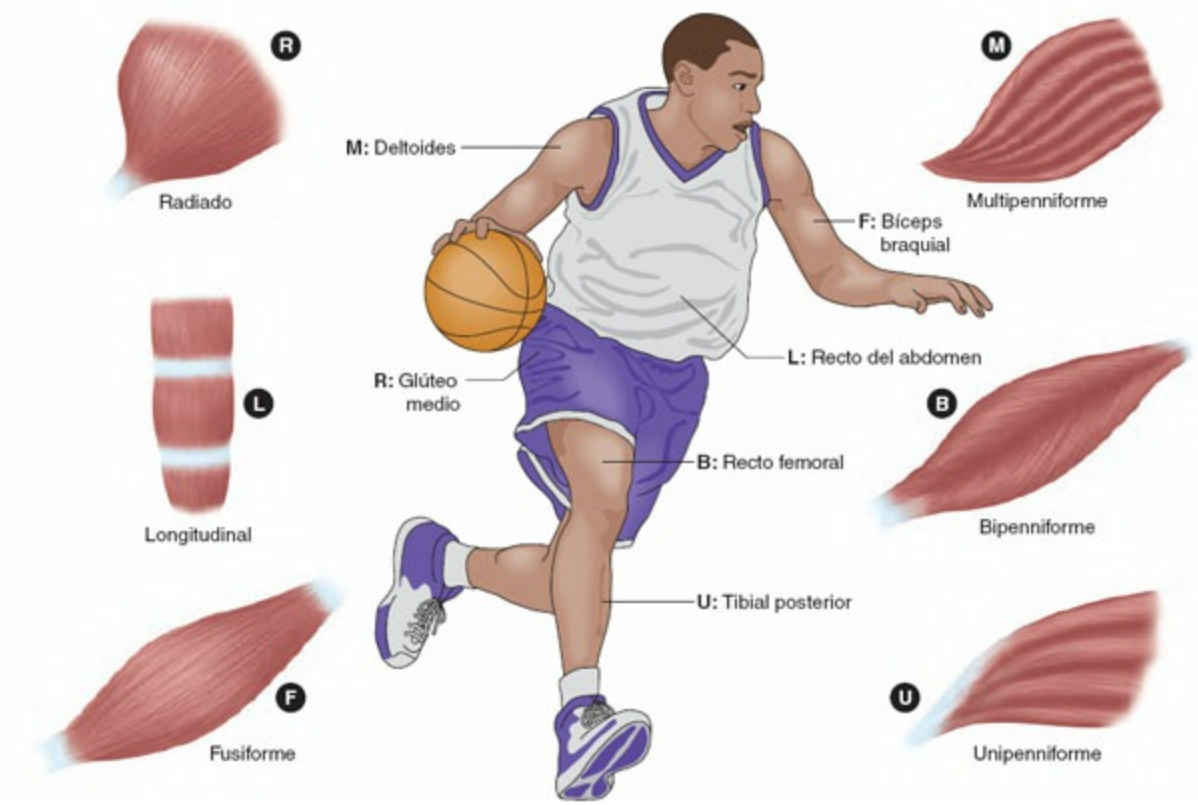


FIGURA 2.10 Configuración de las fibras musculares y ejemplos de cada una.

Ángulo articular

Dado que todos los movimientos corporales, incluso los que siguen una línea recta, ocurren por la rotación sobre una o varias articulaciones, la fuerza que los músculos producen se debe manifestar como torque (recordemos que un

torque de mayor valor manifiesta una mayor tendencia de la fuerza aplicada a hacer girar la extremidad o porción del cuerpo sobre una articulación); por consiguiente, respecto al ángulo articular, hablamos más de torque que de fuerza. La cantidad de torque aplicable sobre una articulación varía a lo largo de su arco de movilidad debido a la relación existente entre la fuerza y la longitud muscular, así como por la acción de palanca siempre cambiante lograda por la geometría dinámica de los músculos, tendones y estructuras articulares internas. Esto se aprecia en las figuras 2.2, 2.3 y 2.4. Factores adicionales que influyen son el tipo de ejercicio (isotónico, isométrico, etc.), la articulación en cuestión, los músculos usados en esa articulación y la velocidad de contracción (10).

Velocidad de contracción muscular

Los experimentos clásicos practicados por Hill (19) con músculo aislado de animales demostraron que la capacidad de fuerza del músculo declina a medida que aumenta la velocidad de contracción. La relación no es lineal; el declive de la fuerza es más acusado sobre el espectro menor de velocidades de movimiento (figura 2.12). La técnica de los movimientos del ser humano puede mejorar esta relación. Por ejemplo, cuando se inicia un salto vertical, los brazos se impulsan hacia arriba y ejercen una fuerza descendente sobre el cuerpo por los hombros, ralentizan el movimiento ascendente del cuerpo y fuerzan los músculos extensores de cadera y rodilla a contraerse más lentamente que de otro modo, lo que les permite generar fuerzas más elevadas durante más tiempo.

Velocidad angular articular

Hay tres tipos básicos de acciones musculares durante las cuales se generan fuerzas musculares que aproximan entre sí los extremos del músculo si no se impide con fuerzas externas. El término *acción muscular* es preferible al de *contracción*, porque el segundo significa «acortamiento», lo cual no describe con precisión dos de las tres acciones musculares.

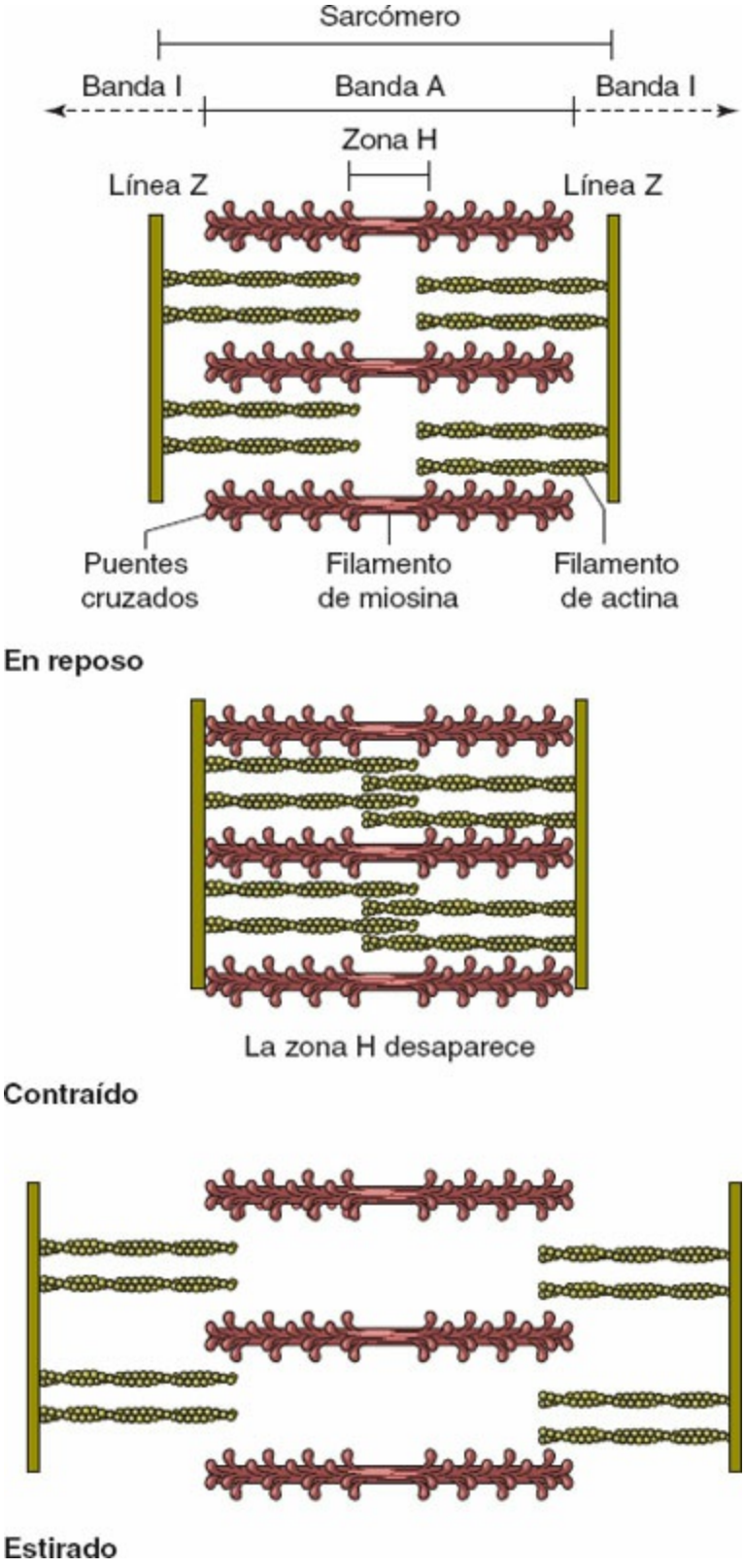


FIGURA 2.11 Esquema de la interacción entre los filamentos de actina y miosina cuando el músculo asume su longitud en reposo y cuando está contraído o estirado. La capacidad de fuerza del músculo es máxima cuando el músculo está en su longitud en reposo debido a la

mayor oportunidad de que se formen puentes cruzados de actina y miosina.

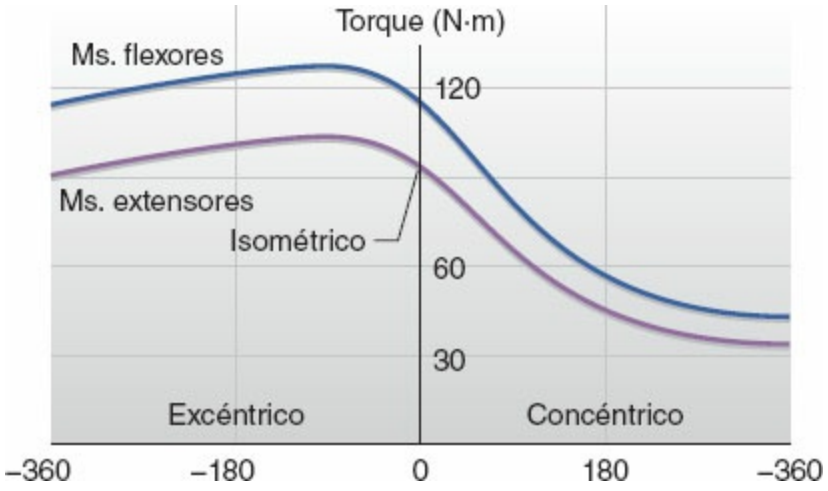


FIGURA 2.12 Curva de fuerza-velocidad para acciones concéntricas y excéntricas.

Fuente: Reproducido, con autorización, de Jorgensen, 1976 (23).

- En las **acciones musculares concéntricas**, el músculo se acorta porque la fuerza contráctil es mayor que la fuerza de resistencia. Las fuerzas generadas en el músculo y que actúan acortándolo son mayores que las fuerzas externas que actúan en sus tendones para estirarlo. Los movimientos de natación y ciclismo implican casi exclusivamente acciones musculares concéntricas.
- En las **acciones musculares excéntricas**, el músculo se elonga porque la fuerza contráctil es menor que la fuerza de resistencia. Las fuerzas generadas en el músculo y que actúan acortándolo son menores que las fuerzas externas que actúan en sus tendones para estirarlo (lo cual aumenta el riesgo de dolores y lesiones musculares). Esto ocurre durante la fase de descenso de cualquier ejercicio resistido. Durante el entrenamiento con ejercicios resistidos, la fuerza excéntrica ejercida por el músculo evita que el peso se acelere en su descenso por acción de la fuerza de la gravedad. Por tanto, el peso desciende de forma sostenida en vez de ganar velocidad y entrar en contacto con el suelo o el cuerpo del atleta.
- En las **acciones musculares isométricas**, la longitud del músculo no cambia, porque la fuerza contráctil es igual que la fuerza de resistencia. Las fuerzas generadas en el músculo y que actúan acortándolo son iguales que las fuerzas externas que actúan en sus tendones para estirarlo. Durante una flexión de abdominales con el tronco recto, los

músculos abdominales actúan isométricamente para mantener la rigidez del tronco, mientras que son los músculos flexores de cadera los que realizan el ejercicio en sí. Por el contrario, son los músculos abdominales los que actúan concéntrica y excéntricamente durante las fases de incorporación y descenso del tronco, respectivamente.

El torque muscular varía dependiendo de la velocidad angular articular según el tipo de acción de los músculos (figura 2.12). Las pruebas han demostrado que durante el ejercicio concéntrico isocinético (a velocidad constante) la capacidad de generar torque declina a medida que aumenta la velocidad angular. Por el contrario, durante el ejercicio excéntrico, a medida que aumenta la velocidad angular articular, la capacidad máxima para generar torque se incrementa hasta unos 90°/s (1,57 rad/s), tras lo cual declina gradualmente (4). Esto significa que la fuerza muscular máxima se alcanza durante una acción muscular excéntrica. Ejemplo de ello son los atletas que emplean ciertos movimientos con el fin de hacer «trampas» cuando no son capaces de levantar un peso usando la técnica ortodoxa. Por ejemplo, una persona que alcanza un «punto de retención», o máxima dificultad, en una flexión de bíceps al llegar al límite de la fuerza concéntrica de los músculos flexores del codo suele echar el torso hacia atrás, permitiendo que los músculos flexores del codo aumenten la fuerza ejercida al trabajar isométrica o excéntricamente y, por tanto, permitiendo que prosiga el movimiento de la barra de pesas.

Relación entre la masa corporal y la fuerza muscular

En actividades deportivas como esprines y saltos, resulta crítica la relación entre la fuerza de los músculos implicados en el movimiento y la masa de las partes del cuerpo que se aceleran. Por tanto, la relación entre masa corporal y fuerza muscular refleja directamente la capacidad de un atleta para acelerar su cuerpo. Si un atleta aumenta la masa corporal un 15% con el entrenamiento, pero solo incrementa la fuerza un 10%, entonces se reduce la relación entre masa corporal y fuerza muscular, y, por tanto, la capacidad de aceleración del atleta. Los velocistas o saltadores tal vez se beneficien experimentando con la masa muscular para determinar la máxima relación entre masa y fuerza, lo cual permitiría obtener el mejor rendimiento posible.

En deportes en los que existen categorías por el peso, la relación entre masa corporal y fuerza muscular es importantísima. Si todos los

competidores tienen prácticamente la misma masa corporal, el que sea más fuerte tendrá una ventaja clara. Es normal que la relación entre masa corporal y fuerza muscular de los atletas más grandes sea menor que la de los atletas más pequeños, porque, cuando el tamaño del cuerpo se incrementa, el volumen muscular (y, de manera concomitante, también el peso corporal) aumenta proporcionalmente más que el área transversal del músculo (y, conjuntamente, la fuerza) (9). El método empírico ayuda a los deportistas a determinar la categoría de peso en que su fuerza es máxima en relación con la de otros atletas en su categoría de peso. Una vez que el atleta encuentra la categoría de peso en la que es más competitivo, el objeto es llegar a ser lo más fuerte posible sin exceder el límite de peso de su categoría.

Tamaño corporal

Hace mucho que se ha observado que, si todo lo demás se mantiene inalterable, los atletas más pequeños son más fuertes gramo a gramo que los atletas más grandes (9). La razón es que la fuerza de contracción máxima de un músculo es bastante proporcional a su área transversal y guarda relación con el cuadrado (segunda potencia) de las dimensiones lineales del cuerpo, mientras que la masa de un músculo es proporcional a su volumen y guarda relación con el cubo (tercera potencia) de las dimensiones lineales del cuerpo. Por tanto, a medida que aumenta el tamaño del cuerpo, la masa corporal crece más rápidamente que la fuerza muscular. Dadas las proporciones constantes del cuerpo, el atleta más pequeño presenta una relación más elevada entre la fuerza y la masa que el atleta más alto (9).

Siempre ha habido interés en comparar el rendimiento de los atletas de distintas categorías de peso. El método más evidente para hacerlo es dividir el peso levantado por el peso corporal del atleta. Sin embargo, los valores están sesgados en contra de los atletas más grandes porque no tiene en cuenta la disminución esperable en la relación entre fuerza y masa al aumentar el tamaño corporal. Se han elaborado diversas fórmulas para comparar de manera más equitativa las cargas levantadas. En la **fórmula clásica**, la carga levantada se divide por el peso corporal elevado a dos tercios, con lo cual tiene en cuenta la relación entre el área transversal y el volumen. Desde entonces se han creado otras fórmulas porque la fórmula clásica parecía favorecer a los atletas de peso corporal medio en contra de los atletas de peso más ligero o más pesados (5). No obstante, la determinación mediante la fórmula clásica, según la cual el rendimiento de los atletas de peso medio

suele ser mejor, tal vez no esté sesgada. Por como la curva en forma de campana describe la distribución normal de las características antropométricas de la población, el peso corporal de la gran mayoría se concentra cerca de la media.

En actividades deportivas como esprines y saltos, resulta crítica la relación entre la fuerza de los músculos implicados en el movimiento y la masa de las partes del cuerpo que se aceleran. Por tanto, la relación entre masa corporal y fuerza muscular refleja directamente la capacidad de un atleta para acelerar su cuerpo.

Fuentes de resistencia a la contracción muscular

Las fuentes más habituales de resistencia para los ejercicios de entrenamiento de la fuerza son la fuerza de la gravedad, la inercia, el rozamiento, la viscosidad y la elasticidad. Esta sección proporciona información sobre la fuerza y la potencia requeridas para vencer estas formas de resistencia. Conocer los principios de los ejercicios que emplean diversas formas de resistencia nos permitirá saber su eficacia y aplicabilidad.

Fuerza de la gravedad

La fuerza descendente ejercida sobre un objeto por la atracción de la gravedad, es decir, el peso del objeto, equivale a la masa del objeto multiplicada por la aceleración local debido a la acción de la gravedad:

$$F_g = m \cdot a_g \qquad (2.5)$$

donde F_g es la fuerza de la gravedad (equivalente al peso del objeto), m es la masa del objeto y a_g es la aceleración local debida a la gravedad. La aceleración generada por la gravedad varía según la localización geográfica. Pesar una haltera con un muelle calibrado o una báscula electrónica nos dará su peso real. Una báscula romana solo determina la masa del objeto, por lo que su peso (F_g) se debe calcular con la ecuación 2.5 si no se dispone de un muelle o una báscula electrónica.

La terminología popular para referirse al peso y la masa a menudo es incorrecta. Por ejemplo, algunos discos para halteras y placas para máquinas de pesas se describen en libras. La libra es una unidad de fuerza, no de masa. En realidad, solo la masa del disco de una haltera se mantiene constante,

mientras que su peso varía según la aceleración local generada por la gravedad. La descripción en kilogramos de un disco de pesas hace referencia a su masa. No es correcto decir que un objeto pesa cierto número de kilogramos, dado que el peso se refiere a la fuerza, no a la masa. Por el contrario, se debería decir: «La masa de la haltera es de 85 kg». La masa que un atleta consigue levantar se ve significativamente influida por la localización terrestre debido a las variaciones en la aceleración causadas por la gravedad alrededor del globo terráqueo (tabla 2.1). Esa misma haltera de 85 kg nos parecería que es de unos 14 kg en la luna, sin mediar ningún cambio físico.

Aplicaciones al entrenamiento resistido

La fuerza gravitacional que soporta un objeto actúa siempre en sentido descendente. Por definición, como el brazo de palanca mediante el cual una fuerza genera torque es perpendicular a la línea de acción de la fuerza, el brazo de palanca de un peso siempre es horizontal. Por tanto, el torque generado por el peso de un objeto es el producto del peso y de la distancia horizontal del peso al punto de rotación (articulación). Aunque el peso no cambie, su distancia horizontal al eje de una articulación se modifica constantemente durante el ejercicio. Cuando el peso está más próximo horizontalmente a la articulación, entonces ejerce menos torque de resistencia; cuando está más lejos horizontalmente de una articulación, más torque de resistencia ejerce. Por ejemplo, en una flexión de brazos, la distancia horizontal del codo a la haltera es máxima cuando el antebrazo está horizontal. Por tanto, en esa posición el atleta debe generar el máximo torque muscular para sostener el peso. El brazo de palanca disminuye a medida que el antebrazo gira hacia arriba o hacia abajo alejándose de la horizontal, con lo cual decrece el torque de resistencia que genera el peso (figura 2.6). Cuando el peso se sitúa directamente por encima o por debajo del punto de rotación del codo, ya no ofrece torque de resistencia.

La técnica del ejercicio influye en el patrón del torque resistido y distribuye la tensión entre los grupos musculares. En la sentadilla posterior, por ejemplo, una mayor inclinación del tronco hacia delante aproxima el peso horizontalmente a las rodillas, con lo cual reduce el torque de resistencia en las rodillas que debe contrarrestar el músculo cuádriceps. Al mismo tiempo, el peso se aleja horizontalmente de las caderas, con lo cual aumenta el torque de resistencia en las caderas que deben contrarrestar los músculos

isquiotibiales. Este patrón de torque de resistencia suele estar más presente cuando la haltera se encuentra lo más baja posible sobre la región lumbar (sentadilla posterior con barra baja); el atleta debe inclinar bastante el tronco hacia delante para mantener el centro de masa del cuerpo, además de la barra, sobre los pies para evitar caerse. Como la barra está alejada horizontalmente de las caderas y cerca de las rodillas, la tensión se concentra en los músculos extensores de la cadera y, en menor medida, en los músculos extensores de la rodilla. Lo contrario a este patrón de torque de resistencia se produce en una sentadilla con barra alta, en donde la haltera se sitúa sobre la espalda y cerca del cuello. Debido a esta posición de la barra, la distribución aumenta el torque de resistencia en las rodillas y, simultáneamente, reduce el torque de resistencia en las caderas (al contrario de lo que ocurre en la sentadilla con barra baja).

La técnica del ejercicio influye en el patrón del torque de resistencia y distribuye la tensión entre los grupos musculares.

Máquinas de placas

Al igual que sucede con las pesas libres, la fuerza de la gravedad es una fuente de resistencia para las máquinas de placas. Sin embargo, por medio de poleas, levas, cables y engranajes, estas máquinas aumentan el control sobre la dirección y el patrón de resistencia. Tanto las pesas libres como las máquinas de placas presentan ventajas y desventajas. Estas son las ventajas de las máquinas de placas:

- *Seguridad*. La posibilidad de lesionarse por el golpeo, tropiezo o atrapamiento de una pesa se reduce. Se requiere menos habilidad para mantener el control sobre una máquina de pesas que sobre una pesa libre.
- *Diseño de la flexibilidad*. Las máquinas se pueden diseñar para ofrecer resistencia a movimientos que son difíciles de ejecutar con pesas libres (p. ej., jalones, aducción y abducción de cadera, flexiones de piernas). Hasta cierto punto, el patrón de resistencia se llega a incorporar a la ingeniería de la máquina.
- *Facilidad de empleo*. Muchas personas que temen carecer de coordinación o técnica suficientes para levantar pesas libres con seguridad se sienten confiadas cuando emplean máquinas de pesas.

Además, resulta más fácil y rápido seleccionar el peso introduciendo una clavija en una placa que añadir discos a una barra de pesas.

Las ventajas de las pesas libres son las siguientes:

- *Entrenamiento de todo el cuerpo*. Los ejercicios con pesas libres se practican a menudo en bipedestación y en posición erguida, con el peso sostenido por todo el cuerpo y gravando una porción mayor de la musculatura y del esqueleto que una máquina de placas. Este ejercicio en que el esqueleto soporta el peso del cuerpo y el de la pesa favorece una mayor mineralización del hueso y previene la osteoporosis en la vejez (13). Además, el movimiento de las pesas libres es el atleta quien lo frena y no la máquina, con lo cual los músculos trabajan para estabilizar el cuerpo además de sostener el peso. Los ejercicios «estructurales», como la cargada de fuerza y la arrancada, son especialmente útiles porque su estímulo de entrenamiento afecta a gran parte de la musculatura del cuerpo.
- *Simulación de actividades de la vida real*. El levantamiento y aceleración de objetos representa un componente importante del deporte y otras actividades físicamente exigentes. Las máquinas tienden a aislar la actividad de los grupos musculares; el levantamiento de pesas libres implica una coordinación más «natural» de varios grupos musculares.

La compañía estadounidense Nautilus Sports Medical Industries popularizó el concepto de *ajuste del torque de resistencia* en los distintos grados del arco de movilidad de las articulaciones mediante la creación de una máquina que empleaba una leva de radio variable; así cambiaba la longitud del brazo de palanca a través del cual actúan las placas de peso (figura 2.13). La razón fue generar más resistencia en ciertos puntos del arco articular donde los músculos podían ejercer más torque, y menos resistencia en los puntos en que los músculos generaban menos torque. No obstante, para que el sistema funcione según lo planeado, el atleta se tiene que mover a una velocidad angular lenta y constante, lo cual es difícil de conseguir de forma continuada. Además, las máquinas de levas con frecuencia no consiguen reproducir los patrones normales de producción de torque del ser humano (9).

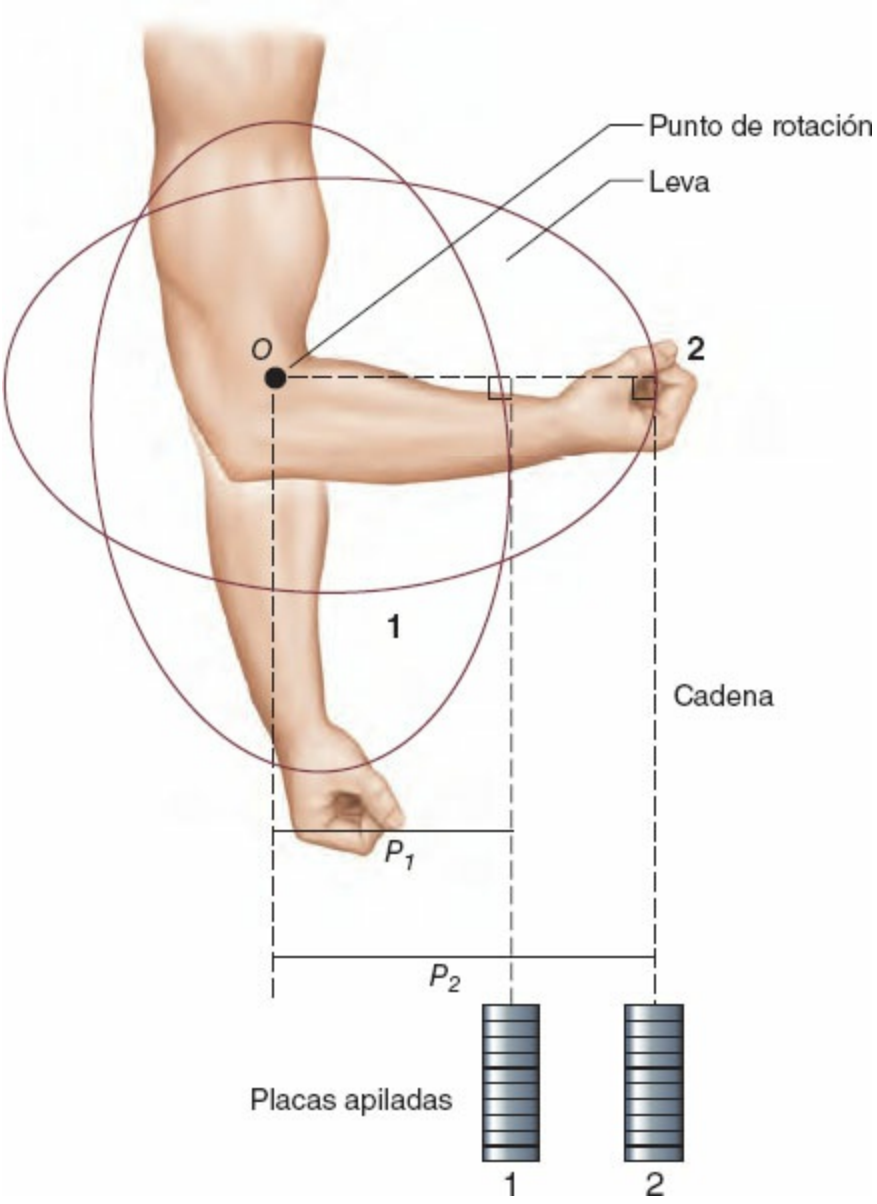


FIGURA 2.13 En las máquinas de placas basadas en levas, el brazo de palanca (*P*) de la máquina de pesas (distancia horizontal desde la cadena hasta el punto de rotación de la leva) varía durante el movimiento del ejercicio. Cuando la leva gira en la dirección mostrada, desde la posición 1 hasta la 2, aumenta el brazo de palanca de las placas y, por tanto, el torque de resistencia.

Inercia

Además de la fuerza gravitacional, una haltera o una máquina de placas, cuando se someten a aceleración, ejercen **fuerza de inercia** en los atletas. Aunque la fuerza de la gravedad solo actúa en sentido descendente, la fuerza de inercia puede actuar en cualquier sentido. La fuerza ascendente que un

atleta genera equivale al peso levantado más cualquier fuerza de inercia, que es la masa multiplicada por la aceleración ascendente de la barra. La aceleración horizontal de la barra se produce cuando el atleta ejerce una fuerza neta sobre la barra dirigida hacia delante, hacia atrás, a la izquierda o la derecha. Todos los ejercicios implican cierta aceleración inicial para que la barra pase de cero a una velocidad ascendente, así como cierta desaceleración casi en el punto más alto del ejercicio para que la velocidad de la barra vuelva a cero y no continúe su trayectoria hasta salir despedida de las manos del halterófilo. Con este patrón de aceleración, los músculos agonistas afrontan una resistencia excesiva del peso de la barra al inicio del arco de movilidad, aunque inferior al peso de la haltera hacia el final del arco de movilidad (27). El atleta desacelera el movimiento de la haltera: (*a*) reduciendo la fuerza ascendente ejercida sobre la barra hasta que es inferior a su peso para que, de este modo, sea parte o todo el peso de la barra el que la desacelere, o (*b*) empujando hacia abajo la barra mediante los músculos antagonistas. En cualquier caso, la desaceleración tiene el efecto de ofrecer menos resistencia a los músculos agonistas más adelante en el arco de movilidad.

Comparado con un ejercicio ejecutado con lentitud y mínima aceleración de la pesa, un ejercicio que requiera mayor aceleración (un ejercicio «explosivo») ofrece mayor resistencia a los músculos implicados en el inicio del arco de movilidad y menos resistencia a los músculos activos hacia el final del arco de movilidad. Sin embargo, debido a la suma de inercia, es posible manipular pesos más grandes en los ejercicios de aceleración que en los ejercicios de lenta ejecución, alcanzando así una resistencia casi máxima para todos los músculos ejercitados en el ejercicio. Por ejemplo, durante una cargada de fuerza con un gran peso, los poderosos músculos de las piernas, caderas y espalda aceleran el movimiento vertical de la barra hasta adquirir una velocidad suficientemente alta, de modo que, aunque los músculos más débiles del hemicuerpo superior no puedan ejercer una fuerza vertical equivalente al peso de la barra, la haltera sigue ascendiendo hasta que la fuerza de la gravedad desacelera su velocidad, que llega a cero en la posición más elevada de la haltera.

Aunque la aceleración cambie la naturaleza de un ejercicio y vuelva menos predecibles los patrones de resistencia, la aceleración en el entrenamiento resistido no es necesariamente indeseable. Como la aceleración es característica de los movimientos naturales del deporte y la vida diaria, los ejercicios resistidos que implican aceleración probablemente contribuyan

también al entrenamiento neuromuscular. Los ejercicios de halterofilia olímpica como la arrancada y el ejercicio en dos tiempos son eficaces para mejorar la producción de grandes aceleraciones contra una gran resistencia (25).

La aceleración y la desaceleración son características de prácticamente todos los movimientos naturales. Por ejemplo, los esprines exigen que los brazos y piernas del atleta se sometan a ciclos repetidos de aceleración y desaceleración. Los lanzamientos de béisbol, disco, peso y jabalina comprenden secuencias de movimientos corporales que aceleran los objetos hasta alcanzar una gran velocidad en el momento de su liberación. Como la aceleración es un patrón de movimiento particular, el entrenamiento con movimientos de aceleración puede aportar especificidad al entrenamiento. Por eso, los ejercicios explosivos con barra de pesas, como la cargada de fuerza y la arrancada desde el suelo, se usan en el entrenamiento de muchos deportes distintos en los que los músculos de piernas y caderas proporcionan fuerza para acelerar el cuerpo.

La **técnica de segmentación**, en la que el atleta practica el movimiento propio del deporte con menos y más resistencia de lo normal, es otra forma de entrenamiento de la aceleración. Según la relación entre fuerza y velocidad del músculo, un lanzador de peso que entrene con un peso muy superior desarrollará fuerzas mayores durante el movimiento de aceleración que cuando use el peso normal, dado que la inercia del implemento más pesado obliga a los músculos a contraerse a velocidad relativamente baja. Cuando se usa un peso relativamente ligero, la menor inercia del peso permite al lanzador acelerar el peso más rápidamente y alcanzar una velocidad superior de liberación, con lo cual se entrena el sistema neuromuscular para que actúe dentro de los valores deseados de aceleración y velocidad. Aunque el principio del incremento o reducción de la carga durante un movimiento como el descrito cuente con base teórica para aumentar la capacidad de aceleración con los métodos antes mencionados, también hay que tener en cuenta la influencia que tienen estos cambios en la carga durante actividades muy específicas u orientadas a mejorar la técnica, como lanzamientos o esprines. Por ejemplo, el cambio de la carga de un implemento puede tener consecuencias negativas sobre la técnica, dado que el cuerpo necesita tiempo para ajustar el patrón motor de ese movimiento concreto con una carga nueva.

Rozamiento

El **rozamiento** es la fuerza de resistencia que se presenta cuando se intenta mover un objeto que está en contacto con otro. Los aparatos de ejercicio que recurren a la fricción como principal fuente de resistencia son los cicloergómetros frenados con cinta o pastillas, así como los aparatos para flexiones de muñeca. Para tales aparatos:

$$F_R = k \cdot F_N \tag{2.7}$$

donde F_R es la fuerza de resistencia; k es el coeficiente de rozamiento de dos sustancias particulares en contacto, y F_N es la fuerza normal que presiona un objeto contra el otro.

Los coeficientes de rozamiento para iniciar y mantener el movimiento son distintos. Si todo lo demás se mantiene igual, se necesita más fuerza para iniciar el movimiento entre dos superficies en contacto que para mantener un movimiento iniciado previamente. Por tanto, un aparato para hacer ejercicio con resistencia por fricción requiere una fuerza relativamente alta para iniciar el movimiento y una fuerza relativamente constante después de iniciado, sin importar cuál sea la velocidad del movimiento. La resistencia ofrecida por estos aparatos se ajusta en ocasiones mediante un mecanismo que altera la fuerza normal que mantiene el rozamiento de las superficies en contacto.

Un trineo lastrado usado en el entrenamiento de fútbol americano o de atletismo es un ejemplo de aparato cuya resistencia depende del rozamiento y la inercia. La resistencia generada por la inercia del trineo es directamente proporcional a la masa del trineo y su aceleración. La resistencia generada por el rozamiento entre los que empujan el trineo y el suelo es proporcional al coeficiente de fricción entre las superficies en contacto y la fuerza neta que presiona el trineo contra el suelo, la cual equivale a la fuerza gravitacional menos cualquier fuerza ascendente ejercida por la persona que empuja el trineo. La masa se puede añadir al trineo para aumentar la fuerza gravitacional. El coeficiente de rozamiento varía según la superficie sobre la que se apoye el trineo (p. ej., arena, suelo, hierba seca, hierba mojada). Por tanto, estos aparatos no ofrecen una resistencia constante para el entrenamiento al aire libre, pese a lo cual son útiles porque ofrecen resistencia horizontal, que las pesas no pueden proporcionar directamente. Se necesita más fuerza para que el trineo eche a andar que para mantenerlo en

movimiento, porque el coeficiente de rozamiento estático siempre es mayor que el coeficiente de rozamiento dinámico. Una vez que el trineo se mueve, el coeficiente de rozamiento dinámico se mantiene relativamente constante. Por tanto, se debe asimilar que la resistencia al rozamiento no cambia a medida que aumenta la velocidad. No obstante, de acuerdo con la ecuación 2.3, la producción de potencia aumenta con la velocidad. Además, durante la transición de una velocidad menor a otra mayor hay resistencia añadida debido a la aceleración, cosa que también expresa la ecuación 2.1.

Viscosidad

La fuerza de resistencia que encuentra un objeto que se desplaza por un líquido o gas, o por un líquido en movimiento a través o alrededor de un objeto, o a través de un orificio, recibe el nombre de **viscosidad**. La viscosidad es un factor significativo en actividades deportivas como la natación, el remo, el golf, los esprines, el lanzamiento de disco y los lanzamientos en el béisbol. (Excepto por la natación y el remo, donde el líquido es agua, todos implican la resistencia del aire). El fenómeno se ha vuelto importante en el entrenamiento resistido con la llegada de máquinas hidráulicas y neumáticas, y con el incremento de la popularidad de las tablas de ejercicios acuáticos en piscina, sobre todo entre personas mayores y mujeres embarazadas. Las dos fuentes de viscosidad son la **resistencia por la superficie**, que es producto de la fricción de un líquido que corre por la superficie de un objeto, y la **resistencia por la forma**, que es producto del modo en que un líquido ejerce presión contra la porción anterior o posterior de un objeto que pasa por él. El área transversal (frontal) tiene un mayor efecto sobre la resistencia por la forma.

Las máquinas con resistencia por viscosidad emplean con frecuencia cilindros en los que un pistón fuerza el paso de fluido por un orificio mientras se practica el movimiento del ejercicio. La fuerza de resistencia es mayor cuando el pistón se impulsa más rápido, cuando el orificio es menor o cuando el fluido es más viscoso. Con todo lo demás igual, la resistencia es generalmente proporcional a la velocidad del movimiento del pistón:

$$F_R = k \cdot v \qquad (2.7)$$

donde F_R es la fuerza de resistencia; k es una constante que refleja las características físicas del cilindro y el pistón, la viscosidad del fluido y el

número, tamaño y forma de los orificios, y *v* es la velocidad del pistón respecto al cilindro.

Como los cilindros ofrecen una resistencia que aumenta con la velocidad, permiten una rápida aceleración inicial en el movimiento del ejercicio y poca aceleración una vez se alcanzan velocidades superiores. La velocidad de movimiento se mantiene, por tanto, dentro de un límite intermedio. Aunque estas máquinas limiten hasta cierta medida los cambios en la velocidad, no son isocinéticas (velocidad constante) como a veces se afirma. Algunas máquinas cuentan con mandos de control que permiten modificar el tamaño de los orificios. Un orificio más grande permite al usuario alcanzar una mayor velocidad de movimiento antes de que la fuerza de resistencia del fluido recorte la capacidad de aceleración.

Las máquinas con resistencia por viscosidad no ofrecen por lo general una fase excéntrica de ejercicio, pero tal vez sí en el caso de que incorporen una bomba interna. Con pesas libres, un grupo muscular actúa concéntricamente mientras levanta el peso y excéntricamente mientras desciende. En el caso de máquinas con resistencia por viscosidad y sin resistencia excéntrica, un grupo muscular actúa concéntricamente durante la ejecución del movimiento primario del ejercicio, y el grupo muscular antagonista actúa concéntricamente durante el retorno a la posición inicial. Es decir, mientras que las pesas libres y las máquinas de pesas implican acciones concéntricas y excéntricas alternativas del mismo músculo con poco o ningún descanso intermedio, las máquinas con resistencia por viscosidad implican por lo general acciones concéntricas alternativas de grupos musculares antagonistas; cada grupo muscular descansa mientras trabaja su antagonista. La falta de acción muscular excéntrica al usar máquinas con resistencia por viscosidad significa que este ejercicio probablemente no esté ofreciendo una especificidad óptima de entrenamiento respecto a los numerosos movimientos deportivos que requieren acciones musculares excéntricas (p. ej., correr, saltar y lanzar).

Elasticidad

Cierto número de máquinas de ejercicio, sobre todo las diseñadas para su uso en los domicilios, cuentan con componentes elásticos como muelles, bandas, arcos o pernos que actúan como fuentes de resistencia. La resistencia que ofrece un componente elástico estándar es proporcional a la distancia que se

estira:

$$F_R = k \cdot x \quad (2.8)$$

donde F_R es la fuerza de resistencia; k es una constante que refleja las características físicas del componente elástico, y x es la distancia a que se estira el componente elástico respecto a su longitud en reposo.

La característica más evidente de la resistencia elástica es que, cuanto más se estira el componente elástico, mayor es la resistencia. El problema de las máquinas que usan resistencia elástica es que todos los movimientos del ejercicio comienzan con poca resistencia y terminan con mucha. Esto es prácticamente lo contrario a los patrones de generación de fuerza de todos los grupos musculares del cuerpo humano, que muestran una disminución sustancial de la generación de fuerza hacia el final del arco de movilidad articular. Otro problema de las máquinas de resistencia elástica es que el ajuste de la resistencia suele estar limitado por el número de componentes elásticos disponible para ofrecer resistencia al movimiento. Un ejercicio resistido eficaz debe incorporar suficiente variación en la fuerza de resistencia como para que el número de repeticiones que el atleta puede realizar se mantenga dentro de un margen deseable.

Hay productos que oponen resistencia a los saltos verticales con bandas elásticas para desarrollar la potencia de salto. Sin embargo, las bandas elásticas ofrecen poca resistencia al inicio del salto, cuando los grandes músculos glúteos y cuádriceps son capaces de ejercer mucha fuerza. Las bandas ofrecen la máxima resistencia mientras el saltador está en el aire, lo cual sirve sobre todo para que el saltador vuelva al suelo, en vez de ofrecer resistencia a los músculos, y para aumentar la velocidad a la que el saltador golpea el suelo al aterrizar, lo cual quizás aumente el riesgo de lesiones.

Biomecánica articular: Problemas en el entrenamiento resistido

Al igual que con cualquier actividad física, existe cierto grado de riesgo con el entrenamiento resistido. Sin embargo, los riesgos asociados son por lo general menores que con muchas otras actividades deportivas y de acondicionamiento físico (36, 37). Las tasas de lesiones son máximas en los deportes de equipo; de grado intermedio en el atletismo y el aeróbic, y

mínimas en el ciclismo, el senderismo y el entrenamiento resistido, este último con una tasa de 4 lesiones por cada 1.000 horas de práctica. Un estudio con jugadores universitarios de fútbol americano mostró solo una incidencia de 0,35 lesiones relacionadas con el entrenamiento resistido por cada 100 jugadores por temporada. Las lesiones causadas por el entrenamiento resistido supusieron solo un 0,74% del tiempo perdido por los jugadores en plena temporada por culpa de las lesiones (44). A pesar del riesgo relativamente bajo del entrenamiento resistido, es deseable reducir al mínimo la posibilidad de lesiones mediante una gestión prudente de los riesgos. Los siguientes son varios factores que hay que tener en cuenta para evitar las lesiones derivadas del entrenamiento resistido, con especial atención a la espalda, los hombros y las rodillas.

El riesgo de lesiones derivadas del entrenamiento resistido es bajo comparado con el de otros deportes y actividades de acondicionamiento físico.

Espalda

En contraste con los cuadrúpedos, cuya columna vertebral pende igual que los cables de un puente colgante, los seres humanos suelen asumir una postura erguida, con los huesos de la columna superpuestos uno encima del siguiente y separados por discos amortiguadores. La ventaja que adquirimos con la postura erguida y la libertad de las manos conlleva la desventaja de que los discos intervertebrales soporten fuerzas de compresión incluso cuando estamos simplemente de pie, sentados, caminando o corriendo, siendo la fuerza de compresión aun mayor cuando levantamos y transportamos pesos (14). Cuando estamos de pie, cualquier fuerza que ejerzamos con el hemicuerpo superior se transmite por la espalda hasta las piernas y el suelo. Además, los músculos de la espalda actúan con una enorme desventaja mecánica y deben generar fuerzas mucho mayores que el peso del objeto que se levanta. Por eso, la espalda es especialmente vulnerable a las lesiones. Sin embargo, hay que reparar en que las cargas vertebrales internas son muy variables según las distintas posturas durante los levantamientos (24) y en que las sentadillas profundas con carga no tienen por qué asociarse necesariamente con lesiones de espalda (18).

Lesiones de espalda

Las lesiones de espalda pueden ser muy debilitantes, persistentes y difíciles

de curar. Por eso, hay que hacer todos los esfuerzos por evitarlas durante el entrenamiento resistido. La región lumbar es especialmente vulnerable. Se ha observado que el 85-90% de todas las hernias de los discos intervertebrales se localizan en el disco situado entre las dos vértebras lumbares inferiores (L4 y L5) o entre la vértebra lumbar inferior y la vértebra sacra superior (L5 y S1) (1, 3). Esto no es sorprendente si tenemos en cuenta las tremendas fuerzas compresivas que soportan los discos durante los levantamientos de halterofilia. Cuando se sostiene un peso con las manos o sobre los hombros y el tronco se inclina hacia delante, se genera mucho torque en los discos intervertebrales inferiores debido a la enorme distancia horizontal entre la región lumbar y el peso. Los músculos de la espalda actúan con una ventaja mecánica extremadamente baja debido a que la distancia perpendicular desde la línea de acción de los músculos erectores de la columna hasta los discos intervertebrales es mucho más corta (unos 5 cm) que la distancia horizontal desde el peso hasta los discos. Como resultado, los músculos deben ejercer fuerzas que frecuentemente superan diez veces el peso levantado (3). Estas fuerzas actúan comprimiendo los discos intervertebrales entre los cuerpos de las vértebras adyacentes y pueden provocar lesiones.

Se ha comprobado que la postura neutra de la espalda en los levantamientos es mejor que cuando se encorva (lo contrario de arqueada) para reducir al mínimo las fuerzas compresivas sobre L5/S1 y el riesgo de una distensión de ligamentos (2). Por lo tanto, la postura **lordótica** normal de la columna lumbar es mejor que una espalda encorvada para evitar lesiones en las vértebras, discos, articulaciones cigapofisarias (articulaciones sinoviales entre las carillas articulares de dos vértebras contiguas), ligamentos y músculos de la espalda. Además, los músculos lumbares son capaces de ejercer fuerzas considerablemente superiores cuando la espalda está arqueada en vez de encorvada (7).

La **columna vertebral** adopta naturalmente la forma de una S, y es ligeramente curva (**cifótica**) en la zona torácica o dorsal y lordótica en la zona lumbar. La forma de cuña de las vértebras confiere a la columna su curvatura natural. Sin embargo, los discos intervertebrales son planos cuando la columna asume esa forma de S. Cuando se encorva la región lumbar, los bordes **ventrales** (en sentido anterior) de los cuerpos de las vértebras comprimen la porción anterior de los discos intervertebrales. Por el contrario, el arqueamiento extremo de la espalda causa compresión de la porción **dorsal** de los discos (en sentido posterior). Esta compresión irregular de los discos

intervertebrales probablemente aumente el riesgo de rotura discal (3). Por tanto, los ejercicios del entrenamiento resistido se practican por lo general con la región lumbar en una postura ligeramente arqueada para reducir el riesgo de lesión en los discos.

Presión intraabdominal y cinturones de halterofilia

Cuando el diafragma y los músculos profundos del torso se contraen, aumenta la presión en la cavidad abdominal. Como el abdomen se compone sobre todo de líquido y normalmente contiene muy poco gas, es prácticamente incompresible (3). Los líquidos y tejidos abdominales bajo presión cuando tensan la musculatura circundante (músculos abdominales profundos y diafragma) se han descrito como una «bola líquida» (figura 2.14) que ayuda a sostener erguida la columna vertebral durante el entrenamiento resistido (3). Esta acción de soporte tal vez reduzca significativamente las fuerzas que deben ejercer los músculos erectores de la columna para realizar un ejercicio y las fuerzas compresivas asociadas sobre los discos (3, 30).

Es importante señalar que la maniobra de Valsalva no tiene necesariamente que generar presión intraabdominal. En la **maniobra de Valsalva**, la hendidura glótica está cerrada, con lo cual se evita que escape aire de los pulmones, y los músculos del abdomen y la caja torácica se contraen creando compartimentos rígidos, de líquido en la porción inferior del torso y de aire en la porción superior. Una ventaja de la maniobra de Valsalva es que aumenta la rigidez de todo el torso, lo cual facilita el que soporte grandes cargas (15).

Por ejemplo, cuando se levantan grandes cargas con sentadillas posteriores, muchos atletas recurren a la maniobra de Valsalva, sobre todo cuando el tronco está más inclinado hacia delante, cerca de la transición entre la fase excéntrica y la concéntrica del movimiento. Sin embargo, la presión torácica asociada con la maniobra de Valsalva puede tener un efecto secundario indeseable: comprimir el corazón y dificultar el retorno de la sangre a este órgano. Además, la maniobra de Valsalva puede aumentar, de manera transitoria, la tensión arterial a niveles ligeramente elevados (15). Es posible contraer el diafragma y los músculos abdominales *sin* que la hendidura glótica esté cerrada, con lo cual se forma esa bola líquida en el abdomen sin presurizar la cavidad torácica. Se considera la forma más segura de las dos opciones para sostener la región lumbar sin aumentar la presión torácica, y es la técnica que se debe usar en la mayoría de los ejercicios del entrenamiento

resistido. Es posible aumentar la presión intraabdominal sin aumentar la presión torácica manteniendo abiertas las vías respiratorias de manera consciente. Los atletas, en especial los halterófilos olímpicos y los *powerlifters*, tal vez opten por la maniobra de Valsalva si conocen y aceptan los riesgos implicados y cuentan con experiencia para no aumentar la presión hasta el punto de perder el conocimiento.

Los cinturones de halterofilia han demostrado aumentar la presión intraabdominal durante el entrenamiento resistido y, por tanto, probablemente sean eficaces para mejorar la seguridad cuando se utilizan de manera correcta (17, 28). Se ha advertido, sin embargo, que, si un atleta practica todos los ejercicios usando el cinturón, los músculos abdominales que generan presión intraabdominal tal vez no se entrenen con un estímulo suficiente como para desarrollarse de forma óptima (17). Es especialmente arriesgado acostumbrarse a llevar el cinturón y practicar de repente un ejercicio sin él, dado que la musculatura abdominal tal vez no sea capaz de generar suficiente presión intraabdominal como para reducir significativamente las fuerzas de los músculos erectores de la columna. Las fuerzas compresivas excesivas sobre los discos podrían aumentar la posibilidad de sufrir lesiones de espalda. He aquí las recomendaciones conservadoras:

- No se necesita un cinturón de halterofilia cuando los ejercicios no competen directamente a la región lumbar.
- Con ejercicios que ejerzan presión directamente sobre la espalda, se evitará llevar el cinturón durante las series con menos peso, aunque sí en las series con peso casi máximo y máximo. Las series sin cinturón permiten a los músculos abdominales profundos experimentar el estímulo del entrenamiento sin imponer fuerzas excesivas de compresión sobre los discos intervertebrales.
- Tal vez haya personas que opten razonablemente por no llevar nunca un cinturón de halterofilia si de forma gradual y sistemática aumentan la fuerza de los músculos de la espalda y la de los músculos que generan presión intraabdominal, y si aplican técnicas seguras durante los ejercicios del entrenamiento resistido. Muchos halterófilos olímpicos de categoría mundial jamás llevan cinturón.

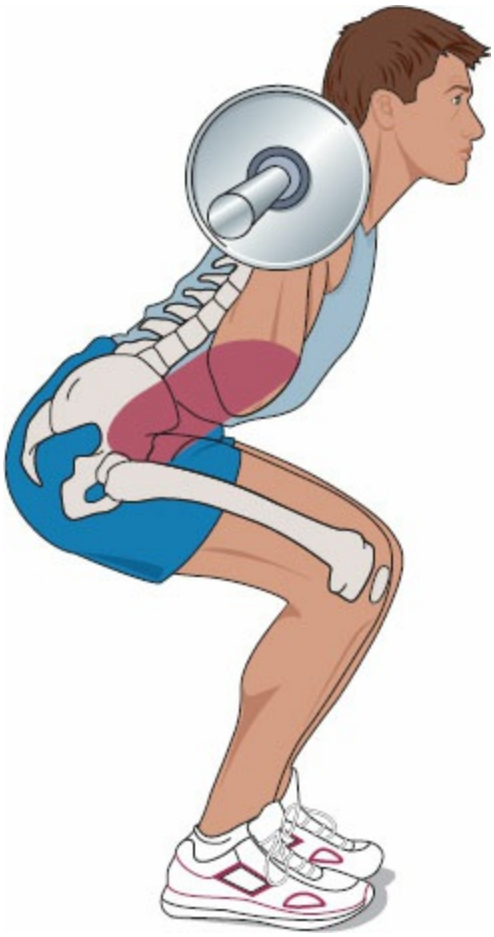


FIGURA 2.14 La «bola líquida» se produce por la contracción del diafragma y los músculos profundos del abdomen.

Hombros

Los hombros son particularmente propensos a las lesiones durante el entrenamiento resistido debido tanto a su estructura como a las fuerzas a las que se ven sometidos durante las sesiones de entrenamiento. Al igual que las caderas, los hombros son capaces de girar en cualquier dirección. La cadera es una articulación esferoidea estable, mientras que la cavidad glenoidea no es una esfera de verdad y es mucho menos estable. La articulación escapulohumeral presenta un grado de movilidad máximo en comparación con el resto de articulaciones del cuerpo humano; por eso, la excesiva movilidad de la articulación contribuye a su vulnerabilidad, al igual que la proximidad de los huesos, músculos, tendones, ligamentos y bolsas del hombro.

La estabilidad del hombro depende en gran medida del rodete glenoideo,

de la membrana sinovial de la articulación y de las cápsulas, ligamentos, músculos, tendones y bolsas. Los músculos del manguito de los rotadores (supraespinoso, infraespinoso, subescapular y redondo menor), así como los músculos pectorales, son especialmente participativos a la hora de mantener en su sitio la cabeza del húmero. Con ese enorme arco articular del hombro, sus distintas estructuras pueden terminar comprimiéndose unas a otras, y provocar tendinitis, inflamación y degeneración del tejido contiguo.

Las grandes fuerzas generadas durante el entrenamiento resistido en ocasiones desgarran ligamentos, músculos y tendones. Los atletas tendrán especial cuidado cuando practiquen distintos ejercicios, como el *press* de hombros y el *press* de banca, debido a las tremendas tensiones que soportan los hombros. En estos ejercicios es especialmente importante empezar por un calentamiento con pesas relativamente ligeras, así como con un programa en que se ejercite el hombro de forma equilibrada y aprovechando todos sus movimientos principales.

Rodillas

Las rodillas son propensas a las lesiones por su situación entre dos palancas largas (la pierna y el muslo). La flexión y extensión de la rodilla ocurre casi exclusivamente en el plano sagital. La rotación en el plano frontal y en el plano transverso es impedida sobre todo por la presencia de estructuras estabilizadoras de naturaleza ligamentaria y cartilaginosa. El torque en la rodilla en el plano frontal ocurre, por ejemplo, cuando un jugador de fútbol americano recibe un golpe lateral a la altura media de la pierna mientras el pie está plantado firmemente en el suelo. Por suerte, los casos de torque resistido en el entrenamiento ocurren casi exclusivamente en el plano normal de rotación de la rodilla.

De los diversos componentes de la rodilla, la rótula y el tejido circundante son los más susceptibles a las fuerzas habituales en el entrenamiento resistido. La principal función de la rótula es mantener el tendón del cuádriceps lejos del eje de rotación de la rodilla, con lo cual se incrementa el brazo de palanca del grupo muscular del cuádriceps, así como su ventaja mecánica. Si se introduce una carga, una recuperación o un volumen inadecuados, las elevadas fuerzas repetitivas que soporta el tendón rotuliano durante el entrenamiento resistido (p. ej., una actividad de elevada fuerza como el atletismo) pueden causar tendinitis, que se caracteriza por edema y

sensibilidad dolorosa a la palpación. No hay un riesgo inherente de tendinitis en la práctica de estos ejercicios; por su parte, la tendinitis es simplemente el producto de un exceso de volumen e intensidad sin una progresión apropiada.

No es inhabitual que se usen vendas de rodilla durante el entrenamiento o la competición con el fin de potenciar el rendimiento o prevenir lesiones. Las vendas pueden ser desde finas, elásticas y con cierre velcro —como las que se venden en farmacias—, hasta rígidas y especializadas, que se venden en las tiendas de suministros de halterofilia. El uso de vendas de rodilla, sobre todo las más resistentes, es más habitual entre los *powerlifters*. Se han realizado muy pocos estudios sobre la eficacia de estas vendas, pese a lo cual se han documentado efectos secundarios nocivos, como daños cutáneos y condromalacia rotuliana, desgaste y aspereza de la superficie posterior de la rótula (26). Mediante su efecto únicamente amortiguador, las vendas anchas y gruesas en las rodillas añadieron una media de 110 N a la fuerza de levantamiento de las sentadillas. Es incorrecta la noción según la cual las vendas solo estabilizan la rodilla, aliviando el miedo del atleta a las lesiones o proporcionando información cinestésica (26). En realidad, las vendas aportan ayuda directa durante la extensión de la rodilla. Sobre la base de la falta de pruebas de que las vendas de rodilla prevengan lesiones, los atletas deben reducir su uso al mínimo. Si se emplean, se limitará su utilización a las series con cargas máximas.

Codos y muñecas

La principal preocupación con las lesiones de codo y muñeca se asocia con los levantamientos de peso por encima de la cabeza (8). Sin embargo, el riesgo es bastante menor si se compara con el origen habitual de las lesiones de estas articulaciones, como los deportes que implican movimientos de las extremidades superiores por encima de la cabeza, los deportes de lanzamiento y el saque en el tenis (8). Otros ejemplos de posibles lesiones son la luxación de codo, de la que en ocasiones se registran casos en gimnasia (29), así como las lesiones por uso excesivo, como la apofisitis por tracción, documentada a veces en los saltos de trampolín, la lucha olímpica y el hockey (29). Unas de las principales preocupaciones son los daños en las láminas epifisarias de crecimiento o las lesiones por uso excesivo en la cara posterior del codo o en la porción distal del radio de atletas jóvenes (29). La prevalencia de lesiones de codo y muñeca en la halterofilia es muy esporádica y se cita a menudo en

la literatura al hablar de casos de estudio. Mientras que en un estudio se registró el desgarro del tendón del tríceps en un halterófilo competitivo de mediana edad (35), en otro se detectó una rotura bilateral distal del tendón del bíceps en un preparador físico recreativo especialista en pesas (38). Un estudio que examinó a 245 *powerlifters* competitivos documentó una incidencia muy baja de lesiones de muñeca y codo (41). Solo se han presentado datos muy limitados que sugieren una posible fractura de la epífisis distal del radio de halterófilos adolescentes (22). Según un reciente estudio en el que se encuestó a 500 expertos en el campo de la medicina del deporte, la mayoría de las personas seleccionadas señalaron que no era necesario evitar el entrenamiento resistido antes del cierre de las epífisis (32).

Conclusión

Esperamos que los lectores apliquen los principios biomecánicos expuestos en este capítulo a la selección de material deportivo para ejercicios resistidos y al diseño de programas de ejercicio. Conocer el modo en que los distintos tipos de ejercicio aportan patrones específicos de resistencia al cuerpo ayuda a desarrollar programas seguros y eficaces adaptados a las necesidades específicas de los atletas que practican diversos deportes y de otros que emprenden un entrenamiento resistido para mejorar su rendimiento físico, su salud, la sensación de bienestar y la confianza en sí mismos.

---

* El *powerlifting* o levantamiento de potencia (pesas potencia o, simplemente, potencia) es un deporte de fuerza que consiste en tres eventos: la sentadilla, el *press* de banca y el peso muerto (N. del E.).

TÉRMINOS CLAVE

acción muscular
- concéntrica
- excéntrica
- isométrica

aceleración
agonista
ángulo de distribución penniforme
antagonista
articulación cartilaginosa

biomecánica
brazo de palanca
cifótica (columna vertebral)
codificación del índice
columna vertebral
desplazamiento angular
dorsal (zona torácica)
fórmula clásica (peso levantado)
fuerza
  de inercia
  de resistencia
  muscular
fulcro
inserción
  carnosa
  fibrosa
lordótica (columna vertebral)
maniobra de Valsalva
músculo penniforme
origen (muscular)
palanca
  de primer orden
  de segundo orden
  de tercer orden
peso
plano
  frontal
  sagital
  transverso
postura anatómica
potencia de rotación
reclutamiento
resistencia
  por la forma
  por la superficie
rozamiento
sinérgico (músculo)

técnica de segmentación
tendón
torque
trabajo de rotación
velocidad angular
ventaja mecánica
viscosidad

PREGUNTAS DE REPASO

(respuestas en la página 657)

1. ¿Cuál de las siguientes es la definición de potencia?
   a. (Masa) · (aceleración).
   b. (Fuerza) · (distancia).
   c. (Fuerza) · (velocidad).
   d. (Torque) · (tiempo).

2. Para comparar el rendimiento de halterófilos olímpicos de distintas categorías por el peso, ¿por qué elemento del atleta divide la carga levantada la fórmula clásica?
   a. El peso corporal.
   b. El peso corporal al cuadrado.
   c. El peso corporal de tejido magro.
   d. El peso corporal elevado a dos tercios.

3. Durante un ejercicio con pesas libres, ¿con cuál de las siguientes opciones varía la fuerza muscular?
   I. Distancia perpendicular desde el peso hasta la articulación
   II. El ángulo articular
   III. La aceleración del movimiento
   IV. La velocidad del movimiento al cuadrado
   a. Solo I y III.
   b. Solo II y IV.
   c. Solo I, II y III.
   d. Solo II, III y IV.

4. ¿En cuál de los siguientes planos anatómicos se produce el movimiento de la rodilla, la cadera y el hombro durante un salto vertical?

a. Sagital.
b. Perpendicular.
c. Frontal.
d. Transverso.

5. Un atleta está practicando un ejercicio de flexión y extensión isocinética concéntrica del codo. ¿Cuál de los siguientes tipos de palanca se observa en el codo durante este ejercicio?

I. De primero orden.
II. De segundo orden.
III. De tercer orden.

a. Solo I.
b. Solo II.
c. Solo I y III.
d. Solo II y III.

CAPÍTULO 3

Bioenergética del ejercicio y del entrenamiento

Trent J. Herda y Joel T. Cramer

A la conclusión del capítulo, el lector:

- Explicará los sistemas básicos de energía disponibles para suministrar ATP durante el ejercicio.
- Entenderá procesos como la acumulación de lactato, la acidosis metabólica y las manifestaciones celulares del cansancio.
- Identificará patrones de depleción y repleción de sustratos con diversas intensidades de ejercicio.
- Describirá los factores bioenergéticos que limitan el rendimiento.
- Desarrollará programas de entrenamiento que pongan en evidencia la especificidad metabólica del entrenamiento.
- Evaluará las exigencias metabólicas y la recuperación del entrenamiento interválico, del entrenamiento con intervalos de gran intensidad y de un entrenamiento de combinación para mejorar la relación entre trabajo y descanso.

La **especificidad metabólica** del ejercicio y del entrenamiento se basa en la comprensión del proceso de transferencia de energía en los sistemas biológicos. Los programas de entrenamiento eficaces y provechosos se diseñan cuando se sabe cómo se produce energía para los tipos específicos de ejercicio y cómo la transferencia de energía se modifica mediante regímenes específicos de entrenamiento. Después de definir la terminología esencial de la bioenergética y explicar el papel del trifosfato de adenosina (ATP), este capítulo se adentra en los tres sistemas básicos de energía que reponen el ATP en el músculo esquelético del ser humano. Luego se describe la depleción y repleción de los sustratos, sobre todo su relación con el cansancio

y la recuperación, los factores bioenergéticos que limitan el rendimiento y las contribuciones de los sistemas aeróbico y anaeróbico a la captación de oxígeno. Por último, se explica la especificidad metabólica del entrenamiento.

Terminología esencial

La **bioenergética** o flujo de **energía** por un sistema biológico concierne sobre todo a la conversión de macronutrientes —hidratos de carbono, proteínas y grasas, que contienen energía química— en formas de energía biológicamente utilizables. Es la destrucción de los enlaces químicos de estos macronutrientes la que proporciona la energía necesaria para el trabajo biológico.

La degradación de grandes moléculas en otras más pequeñas, asociada con la liberación de energía, se denomina **catabolismo**. La síntesis de moléculas más grandes a partir de otras más pequeñas se produce usando la energía liberada en las reacciones catabólicas; este proceso de síntesis se denomina **anabolismo**. La descomposición de proteínas en aminoácidos es un ejemplo de catabolismo, mientras que la formación de proteínas a partir de aminoácidos es un proceso anabólico. Las **reacciones exergónicas** son reacciones liberadoras de energía y, por lo general, catabólicas. Las **reacciones endergónicas** requieren energía y abarcan los procesos anabólicos y la contracción muscular. **Metabolismo** es la totalidad de reacciones catabólicas o exergónicas y anabólicas o endergónicas de un sistema biológico. La energía derivada de las reacciones catabólicas o exergónicas sirve para activar las reacciones anabólicas o endergónicas por una molécula intermedia, el **trifosfato de adenosina (ATP)**. El trifosfato de adenosina (o adenosina trifosfato o adenosintrifosfato) permite la transferencia de energía de reacciones exergónicas a endergónicas. Sin un aporte adecuado de ATP, la actividad y crecimiento de los músculos no sería posible. Por tanto, está claro que, al diseñar programas de entrenamiento, los especialistas en la fuerza y el acondicionamiento físico tienen que contar con conocimientos básicos sobre el modo en que el ejercicio influye en la hidrólisis y resíntesis de ATP.

El trifosfato de adenosina se compone de adenosina y tres grupos fosfato (figura 3.1). La adenosina es la combinación de adenina (una base nitrogenada) y ribosa (un monosacárido de cinco moléculas de carbono). La

degradación de una molécula de ATP para obtener energía se llama **hidrólisis**, porque necesita una molécula de agua. La hidrólisis de ATP se cataliza por la presencia de la enzima **adenosintrifosfatasa (ATPasa)**. Específicamente, la miosina ATPasa es la enzima que cataliza la hidrólisis de ATP para el reciclado de puentes cruzados. Otras enzimas específicas hidrolizan ATP en otros puntos, como la **bomba de calcio (Ca^{++}-ATPasa)** que bombea calcio dentro del retículo sarcoplasmático, y la **bomba de sodio-potasio (Na^{+}/K^{+}-ATPasa)** para mantener el gradiente de concentración a través del sarcolema después de la despolarización (59). La ecuación siguiente describe los reactivos (izquierda), enzima (en medio) y productos (derecha) de la hidrólisis de ATP:

$$ATP + H_2O \xleftrightarrow{ATPasa} ADP + P_i + H^{+} + \text{Energía} \quad (3.1)$$

donde *ADP* representa el **difosfato de adenosina** (solo dos grupos fosfato, figura 3.1), P_i es una molécula de **fosfato inorgánico** y H^{+} es un ion de hidrógeno (protón). La continuación de la hidrólisis de ADP segmenta el segundo grupo fosfato y se obtiene **monofosfato de adenosina (AMP)**. La energía liberada primariamente por la hidrólisis de ATP y secundariamente por el ADP permite el trabajo biológico.

El trifosfato de adenosina se considera una molécula de alta energía porque almacena grandes cantidades de energía en los enlaces químicos de los dos grupos fosfato terminales. Como los miocitos solo almacenan ATP en cantidades limitadas y la actividad requiere un aporte continuo de ATP con que suministrar la energía necesaria para las acciones musculares, los procesos de producción de ATP deben ocurrir en las células.

Sistemas biológicos de energía

Existen tres sistemas básicos de energía en los miocitos de los mamíferos para la reposición de ATP (85, 122):

- Sistema del fosfágeno.
- Glucólisis.
- Sistema oxidativo.

En la exposición de la bioenergética asociada con el ejercicio se suelen

usar los términos *metabolismo aeróbico* y *anaeróbico*. Los procesos **anaeróbicos** no requieren la presencia de oxígeno, mientras que los mecanismos **aeróbicos** sí dependen del oxígeno. Los **sistemas glucolítico** y **del fosfágeno** son mecanismos anaeróbicos presentes en el sarcoplasma de los miocitos. El **ciclo de Krebs** —el transporte de electrones— y el resto del **sistema oxidativo** son mecanismos aeróbicos presentes en las **mitocondrias** de los miocitos, y requieren oxígeno como aceptor terminal de electrones.

De los tres principales macronutrientes —hidratos de carbono, proteínas y grasas— solo se metabolizan los hidratos de carbono para obtener energía sin la implicación directa de oxígeno (21). Por tanto, los hidratos de carbono son críticos durante el metabolismo anaeróbico. Los tres sistemas de energía se muestran activos en todo momento; sin embargo, la magnitud de su contribución al trabajo general depende, en primer lugar, de la intensidad de la actividad y, en segundo lugar, de su duración (45, 85).

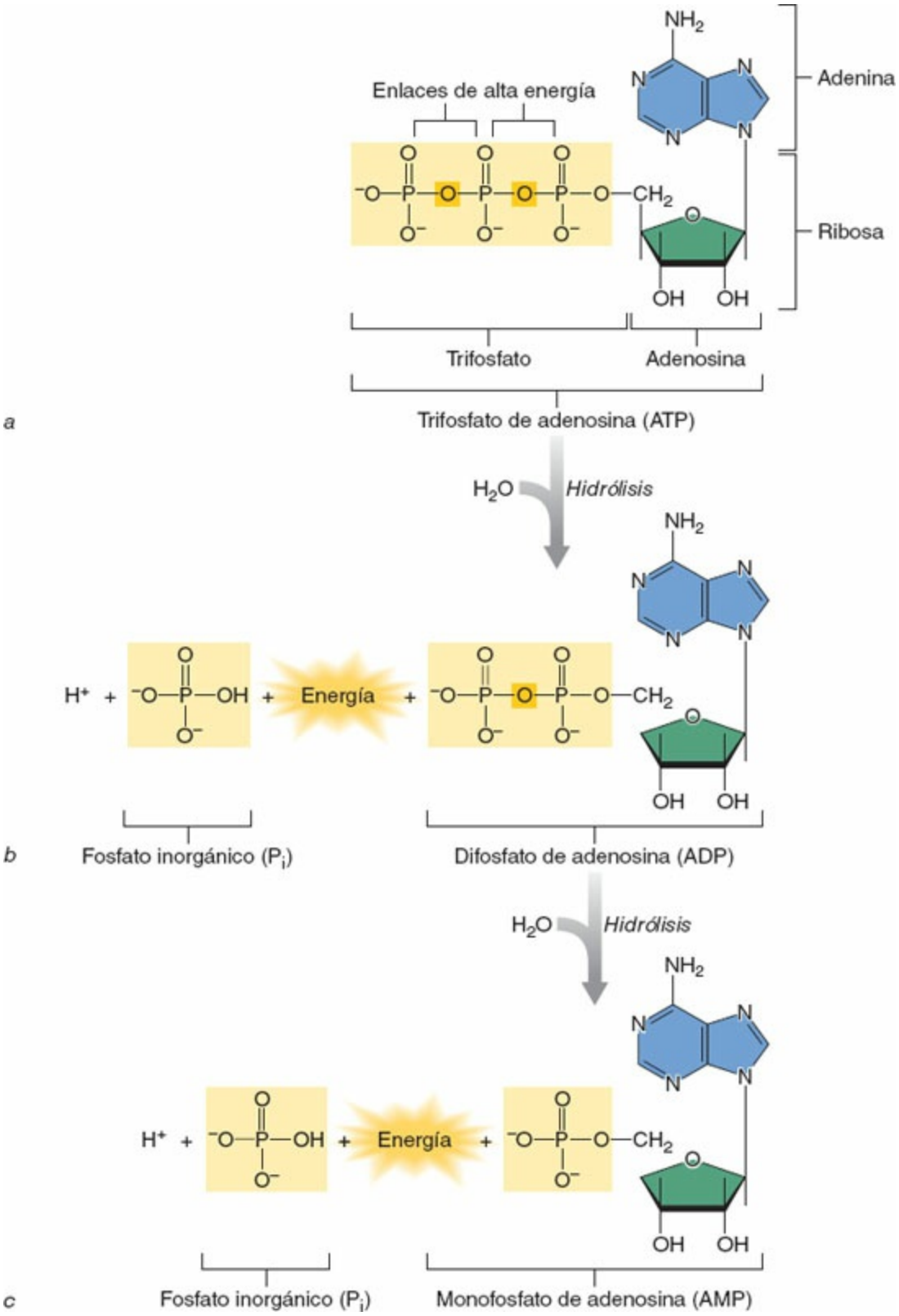


FIGURA 3.1 (*a*) Estructura química de una molécula de ATP en la que se aprecian la adenosina (adenina + ribosa), el grupo trifosfato y las localizaciones de los enlaces químicos de alta energía. (*b*) La hidrólisis de ATP rompe el enlace terminal del fosfato, libera energía y

se obtiene ADP, un fosfato inorgánico (P_i) y un ion de hidrógeno (H^+). (*c*) La hidrólisis de ADP rompe el enlace terminal del fosfato, libera energía y se obtiene AMP, P_i y H^+.

La energía almacenada en los enlaces químicos de trifosfato de adenosina (ATP) se emplea para la actividad muscular. La reposición de ATP en el músculo esquelético depende de tres sistemas básicos de energía: (*a*) el sistema del fosfágeno, (*b*) el sistema glucolítico y (*c*) el sistema oxidativo.

Sistema del fosfágeno

El sistema del fosfágeno proporciona ATP principalmente para actividades de gran intensidad y corta duración (p. ej., esprines y entrenamiento resistido), y es muy activo al comienzo de todo tipo de ejercicio con independencia de su intensidad (62, 70, 153). Este sistema de energía depende de la hidrólisis de ATP (ecuación 3.1) y de la degradación de otra molécula de fosfato de alta energía llamada **fosfocreatina (CP)**. La **creatincinasa** es la enzima que cataliza la síntesis de ATP a partir de CP y ADP en la siguiente reacción:

$$\text{ADP} + \text{Fosfocreatina (CP)} \xleftrightarrow{\text{Creatincinasa}} \text{ATP} + \text{Creatina} \quad (3.2)$$

La fosfocreatina (o creatina fosfato) suministra un grupo fosfato que se combina con ADP para reponer ATP. La reacción de la creatincinasa proporciona una tasa elevada de energía; sin embargo, como la CP se almacena en cantidades relativamente pequeñas, el sistema del fosfágeno no puede ser el suministrador primario de energía durante actividades ininterrumpidas de larga duración (30).

Reservas de ATP

El cuerpo humano mantiene almacenados aproximadamente 80-100 g de ATP en todo momento, lo cual no es una reserva significativa de energía para el ejercicio (107). Además, tampoco las reservas de ATP se pueden agotar por completo, dada la necesidad de mantener las funciones celulares básicas. De hecho, las concentraciones de ATP llegan a disminuir un 50-60% (34, 71, 100, 143) respecto a los niveles previos al ejercicio durante una prueba experimental de inducción de fatiga muscular. Por tanto, el sistema del fosfágeno recurre a la reacción de la creatincinasa (ecuación 3.2) para mantener la concentración de ATP. En condiciones normales, las concentraciones de CP en el músculo esquelético son de cuatro a seis veces

mayores que las concentraciones de ATP (107). En consecuencia, el sistema del fosfágeno, mediante la reacción de CP y creatincinasa, actúa como una reserva de energía para reponer con rapidez ATP. Además, las fibras musculares tipo II (de contracción rápida) contienen mayores concentraciones de CP que las fibras tipo I (de contracción lenta) (95, 132); así, las personas con porcentajes superiores de fibras tipo II tal vez repongan el ATP más rápido por medio del sistema del fosfágeno durante un ejercicio explosivo anaeróbico.

Otra reacción importante de una sola enzima que repone rápidamente el ATP es la **reacción de la adenilatocinasa** (también llamada **miocinasa**)

$$2ADP \xleftrightarrow{\text{Adenilatocinasa}} ATP + AMP \qquad (3.3)$$

Esta reacción es especialmente importante porque el AMP, un producto de la reacción de la adenilatocinasa (miocinasa), es un poderoso estimulante de la **glucólisis** (22, 28).

Control del sistema del fosfágeno

Las reacciones del sistema del fosfágeno (a menudo representadas por las ecuaciones 3.1, 3.2 y 3.3) están en gran medida controladas por la **ley o efecto de acción de masas** (107). La ley de acción de masas establece que las concentraciones de reactivos o productos (o ambos) en solución dictan la dirección de las reacciones. En el caso de reacciones mediadas por enzimas, como las reacciones del sistema del fosfágeno, las concentraciones de los reactivos influyen mucho en la tasa de formación de productos. Esto se manifiesta en las ecuaciones 3.1, 3.2 y 3.3 con la flecha de doble dirección entre reactivos y productos. Por ejemplo, a medida que se hidroliza ATP para producir la energía necesaria para el ejercicio (ecuación 3.1), hay un incremento transitorio de las concentraciones de ADP (así como de P_i) en el sarcolema. Esto incrementa la tasa de reacciones de la creatincinasa y la adenilatocinasa (ecuaciones 3.2 y 3.3) para reponer ATP. El proceso continuará hasta que: (*a*) cese el ejercicio o (*b*) la intensidad sea lo bastante baja como para no agotar las reservas de CP y permitir a la glucólisis del sistema oxidativo convertirse en suministrador primario de ATP y refosforilar la creatina libre (ecuación 3.2) (37). En este punto, la concentración sarcoplasmática de ATP se mantendrá constante o aumentará, lo cual ralentizará o invertirá las direcciones de las reacciones de la creatincinasa y la

adenilatocinasa. Como resultado, las ecuaciones 3.1, 3.2 y 3.3 a menudo se llaman **reacciones en cuasi-equilibrio** que siguen la dirección dictada por las concentraciones de los reactivos según la ley de acción de masas.

Glucólisis

La glucólisis es la descomposición de hidratos de carbono —sea glucógeno almacenado en el músculo o glucosa en la sangre circulante— para resintetizar ATP (22, 143). El proceso de glucólisis implica múltiples reacciones catalizadas enzimáticamente (figura 3.2). Como resultado, el ritmo de resíntesis de ATP durante la glucólisis no es tan rápido como con el sistema del fosfágeno, que requiere un solo paso; sin embargo, la capacidad de producir ATP es mucho mayor debido a un mayor aporte de glucógeno y glucosa, comparado con el CP. Al igual que con el sistema del fosfágeno, la glucólisis ocurre en el sarcoplasma.

Como se muestra en la figura 3.2, el **piruvato**, el resultado final de la glucólisis, tal vez siga una de dos posibles direcciones:

1. El piruvato se convierte en **lactato** en el sarcoplasma.
2. El piruvato se traslada a las mitocondrias.

Cuando el piruvato se convierte en lactato, la resíntesis de ATP ocurre a un ritmo más rápido mediante una acelerada regeneración de NAD^+, pero es de duración limitada debido a la posterior producción de H^+ y a la disminución resultante de pH del citosol. Este proceso a veces se llama **glucólisis anaeróbica** (o **glucólisis rápida**). Sin embargo, cuando el piruvato se traslada a las mitocondrias para el ciclo de Krebs, el ritmo de resíntesis de ATP se enlentece debido a las numerosas reacciones, aunque su duración será más larga si la intensidad del ejercicio es lo bastante baja.

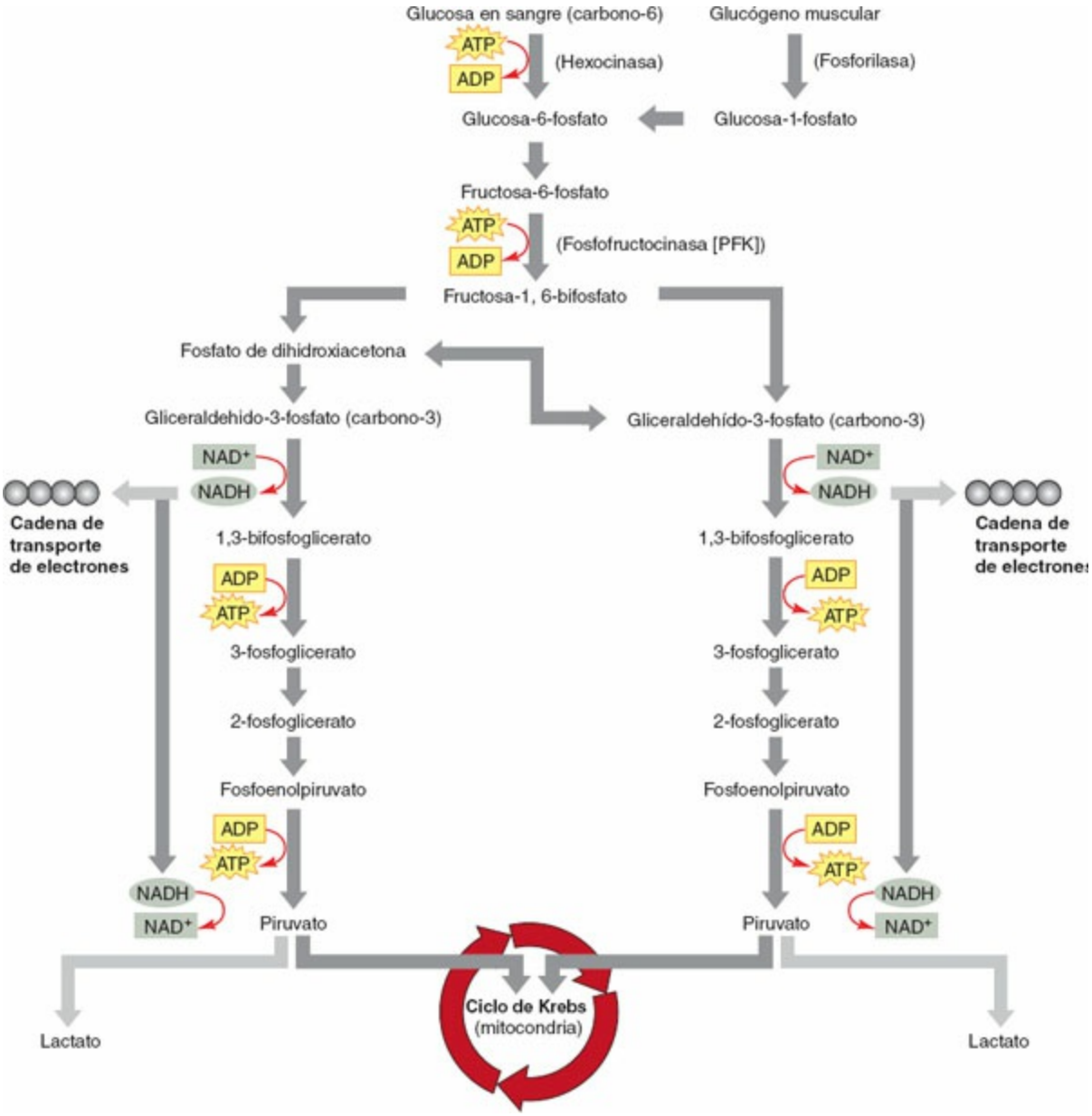


FIGURA 3.2 Glucólisis. ADP = difosfato de adenosina; ATP = trifosfato de adenosina; NAD+, NADH = nicotinamida adenina dinucleótido.

Este proceso a menudo recibe el nombre de **glucólisis aeróbica** (o **glucólisis lenta**). Con intensidades de ejercicio mayores, los niveles de piruvato y NADH aumentan por encima de lo que puede hacerse cargo el piruvato deshidrogenasa y, por tanto, se convierten en lactato y NAD^+. Por desgracia, como la glucólisis en sí no depende del oxígeno, es probable que los términos *glucólisis anaeróbica* y *aeróbica* (o *rápida* y *lenta*, respectivamente) no sean prácticos para describir los procesos. No obstante, el destino final del piruvato está en último término controlado por las

exigencias de energía de la célula. Si la demanda de energía es alta y se tiene que transferir con rapidez, como durante el entrenamiento resistido, el piruvato se convierte sobre todo en lactato para seguir manteniendo la glucólisis anaeróbica. Si la demanda de energía no es tan alta y hay oxígeno en suficiente cantidad en las células, el piruvato se puede seguir oxidando en las mitocondrias.

Glucólisis y la formación de lactato

La formación de lactato a partir de piruvato se cataliza con la enzima lactato deshidrogenasa. A veces se afirma equivocadamente que el resultado final de esta reacción es la formación de **ácido láctico**. Sin embargo, debido al pH fisiológico (es decir, próximo a 7) y a los primeros pasos de la glucólisis que consumen protones (123), el lactato —en vez del ácido láctico— es el producto de la reacción de la lactato deshidrogenasa. Aunque el cansancio muscular experimentado durante el ejercicio guarde a menudo correlación con las elevadas concentraciones de lactato en el tejido, el lactato no es la causa del cansancio (22, 27, 123). La acumulación de protones (H^+) durante el cansancio reduce el pH intracelular, inhibe las reacciones glucolíticas e interfiere directamente con la fase de acoplamiento entre excitación y contracción, posiblemente inhibiendo la formación de enlaces entre calcio y troponina (57, 113) o interfiriendo con el reciclado de puentes cruzados (51, 57, 78, 113, 144). Por lo demás, la reducción del pH inhibe el índice de recambio enzimático de los sistemas de energía celular (9, 78). En general, este proceso de disminución del pH inducido por el ejercicio recibe el nombre de **acidosis metabólica** (123) y tal vez sea responsable en gran parte de la fatiga periférica que sobreviene durante el ejercicio (42, 154). Más recientemente se ha cuestionado el papel de la acidosis metabólica en la fatiga periférica (128); se ha documentado que otros factores desempeñan un papel prominente en la fatiga periférica, como el aumento de la concentración de K^+ intersticial y P_i que altera la liberación de Ca^{++} (118, 137). No obstante, los datos sugieren que otros mecanismos, como la hidrólisis de ATP (ecuación 3.1), son responsables de la mayor parte de la acumulación de H^+ y que el lactato en sí en realidad reduce la acidosis metabólica en vez de acelerarla (27, 123). Consúltese el recuadro «¡El ácido láctico no es el causante de la acidosis metabólica!». De hecho, el lactato se usa a menudo como **sustrato de energía**, sobre todo en las fibras musculares tipo I y en las

fibras del músculo cardíaco (10, 106, 160). También se emplea en la **gluconeogénesis** —la formación de glucosa a partir de fuentes ajenas a los hidratos de carbono— durante un ejercicio prolongado y su recuperación (19, 106).

Normalmente, la concentración de lactato en los músculos y en la sangre es baja. Los valores normales de concentración de lactato en sangre son de 0,5 a 2,2 mmol/L en reposo (67) y de 0,5 a 2,2 mmol por kilogramo de **tejido muscular fresco** (músculo que no se ha desecado) (67). La producción de lactato aumenta con la intensidad del ejercicio (67, 127) y parece depender del tipo de fibras musculares. Los investigadores han documentado que el índice máximo de producción de lactato en el caso de las fibras musculares tipo II es 0,5 mmol/g/s (46, 105), mientras que para las fibras musculares tipo 1 es 0,25 mmol/g/s (111). La elevada tasa de producción de lactato en las fibras musculares tipo II quizá refleje una mayor concentración o actividad de enzimas glucolíticas que en las fibras musculares tipo I (10, 120). Aunque no conocemos la máxima concentración posible de lactato, la fatiga es muy intensa con concentraciones en sangre de entre 20 y 25 mmol/L (105); sin embargo, en un estudio se obtuvieron concentraciones de lactato en sangre superiores a 30 mmol/L después de múltiples tandas de ejercicio dinámico (79). Junto con la intensidad del ejercicio y el tipo de fibras musculares, la duración del ejercicio (67), el estado de entrenamiento (66) y los niveles iniciales de glucógeno (67) también influyen en la acumulación de lactato.

Las concentraciones de lactato en sangre reflejan el equilibrio neto entre la producción y eliminación de lactato como resultado del mecanismo compensatorio del bicarbonato (HCO_3^-). El HCO_3^- minimiza la tendencia del H^+ a alterar el pH mediante la aceptación del protón (H_2CO_3). El mecanismo compensatorio y el aclaramiento del lactato presente en la sangre reflejan una vuelta al rango homeostático. El aclaramiento del lactato puede ser por oxidación en las fibras musculares donde se produce, o se puede transportar en la sangre a otras fibras musculares para ser allí oxidado (106). El lactato también viaja por la sangre hasta el hígado, donde se convierte en glucosa. Este proceso recibe el nombre de **ciclo de Cori** y se describe en la figura 3.3.

Gollnick (67) y otros (8, 72, 116) han documentado que las concentraciones de lactato en sangre recuperan normalmente los valores previos al ejercicio durante la hora siguiente a la actividad, dependiendo de la duración e intensidad del ejercicio, del nivel de entrenamiento y del tipo de recuperación (es decir, pasiva frente a activa). Se ha demostrado que una

actividad ligera durante el período posterior al ejercicio eleva las tasas de aclaramiento del lactato (55, 67, 72, 79, 116). Por ejemplo, la recuperación activa tras nadar a máxima velocidad 200 yardas (182,8 m) logró un extraordinario aclaramiento de lactato en comparación con la recuperación pasiva de nadadores de competición (72). Los atletas entrenados aeróbica (67) y anaeróbicamente (62) presentan tasas de aclaramiento del lactato más rápidas que las personas sin entrenar. Los picos de concentración de lactato en sangre se producen aproximadamente cinco minutos después del cese del ejercicio (67), un retraso que con frecuencia se atribuye al tiempo necesario para compensar y transportar el lactato del tejido a la sangre (93).

La acumulación de lactato en la sangre es mayor después de un ejercicio intermitente de alta intensidad (p. ej., entrenamiento resistido y esprines) que después de un ejercicio continuo de menor intensidad (79, 101, 150). Sin embargo, las personas entrenadas experimentan concentraciones más bajas de lactato en sangre que las personas sin entrenar cuando se ejercitan con una carga de trabajo absoluta (e igual resistencia) (66, 89, 141). Esto revela que el entrenamiento resistido causa en la respuesta del lactato alteraciones similares a las del entrenamiento aeróbico de fondo (67, 89, 141). Estas alteraciones comprenden una menor concentración de lactato en sangre con una carga de trabajo dada en personas entrenadas, así como concentraciones más elevadas de lactato en sangre durante un ejercicio máximo en personas entrenadas (67, 89, 141).

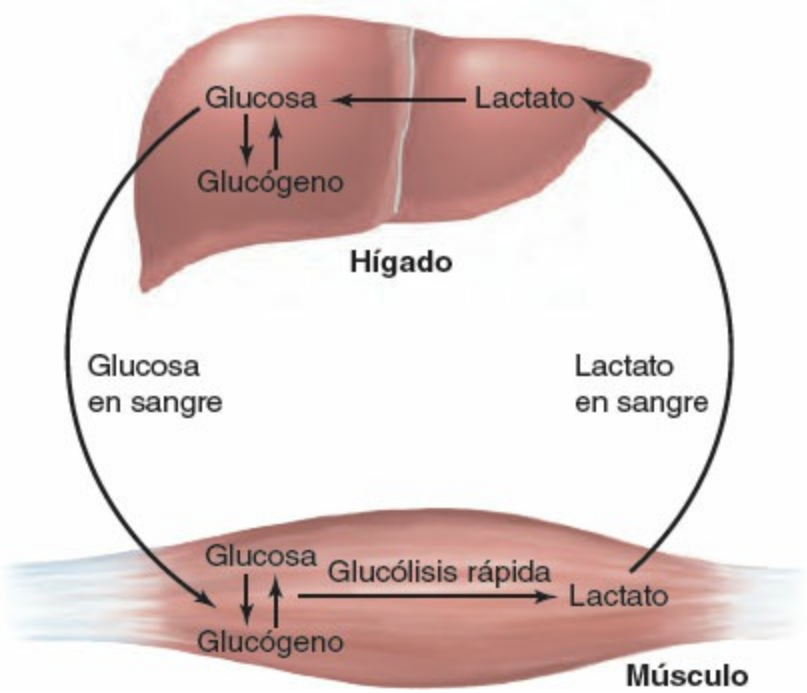


FIGURA 3.3 Ciclo de Cori.

¡El ácido láctico no causa acidosis metabólica!

El término *acidosis láctica* es confuso, ya que muchas personas tienen la idea imprecisa de que el ácido láctico causa las sensaciones de ardor asociadas con el cansancio muscular durante el ejercicio de alta intensidad. Dicha creencia se basa en la idea de que hay una disociación inmediata de ácido láctico en lactato y H^+ producida por la glucólisis en el músculo esquelético (1, 60, 123). Sin embargo, la reacción de la fosfoglicerato cinasa en la glucólisis implica la transferencia de un fosfato que abandona un grupo carboxilato (COO^-) (103). Por tanto, como se aprecia en la figura 3.4, no existe ningún protón (H^+) que se disocie del lactato (60, 123).

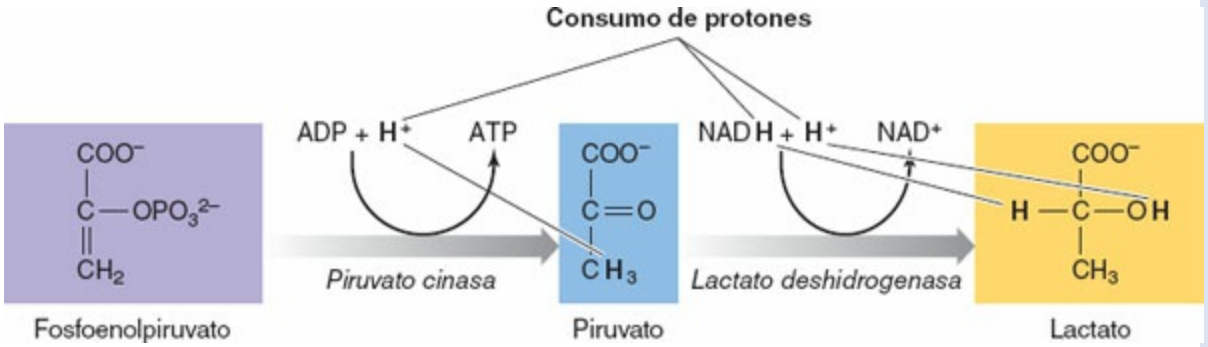


FIGURA 3.4 Reacción de la fosfoglicerato cinasa en la glucólisis, que muestra que no existe un protón (H^+) que se disocie del lactato.

Por otra parte, la reacción de la lactato deshidrogenasa en sí consume protones, lo cual alcaliza la célula (60, 123), justo lo contrario de la acidosis. De hecho, Busa y Nuccitelli (27) afirmaron: «La hidrólisis de ATP, y no la acumulación de lactato, es la fuente dominante de la carga ácida intracelular». El mensaje de Robergs (123) es que la hidrólisis de ATP fuera de las mitocondrias es la principal responsable de la acumulación de protones (H^+) durante la acidosis metabólica inducida por el ejercicio, y no la conversión de piruvato en lactato, como comúnmente se cree. Por consiguiente, como el término *acidosis láctica* es un concepto engañoso, se recomienda utilizar el término *acidosis* metabólica para describir el pH reducido en el músculo esquelético durante el ejercicio fatigante de gran intensidad.

La reacción neta de la glucólisis cuando el piruvato se convierte en lactato se resume como sigue:

$$\text{Glucosa} + 2P_i + 2ADP \rightarrow 2\text{Lactato} + 2ATP + H_2O \quad (3.4)$$

Glucólisis conducente al ciclo de Krebs

Si el oxígeno está presente en cantidades suficientes dentro de las mitocondrias (orgánulos celulares especializados donde se producen las reacciones del metabolismo aeróbico), el producto final de la glucólisis, el piruvato, no se convierte en lactato, sino que se transporta a las mitocondrias. También se transportan dos moléculas de **nicotinamida adenina dinucleótido reducida (NADH)**, que se produce durante las reacciones glucolíticas (*reducida* alude al hidrógeno añadido). Cuando el piruvato entra en las mitocondrias, se convierte en acetil coenzima A (acetil-CoA) por el complejo multienzimático piruvato deshidrogenasa, que causa la pérdida de un carbono, como CO_2. El acetil-CoA puede entonces entrar en el ciclo de Krebs para continuar con la resíntesis de ATP. Las moléculas de NADH entran en el sistema de transporte de electrones, donde también sirven para resintetizar ATP.

La reacción neta de la glucólisis cuando el piruvato se traslada a las mitocondrias se resume como sigue:

$$\text{Glucosa} + 2P_i + 2ADP + 2NAD^+ \rightarrow 2\text{Piruvato} + 2ATP + 2NADH + 2H_2O \quad (3.5)$$

Obtención de energía con la glucólisis

Hay dos mecanismos primarios para resintetizar ATP durante el metabolismo:

1. Fosforilación al nivel del sustrato.
2. Fosforilación oxidativa.

Fosforilación es el proceso de añadir un fosfato inorgánico (P_i) a otra molécula. Por ejemplo, ADP + P_i → ATP es la fosforilación de ADP en ATP. La **fosforilación oxidativa** alude a la resíntesis de ATP en la **cadena de transporte de electrones (CTE)**. Por el contrario, la **fosforilación al nivel del sustrato** se refiere a la resíntesis directa de ATP a partir de ADP durante una sola reacción en las vías metabólicas. A modo de ejemplo, en la glucólisis hay dos pasos que causan la fosforilación al nivel del sustrato de ADP en ATP (42):

$$\text{1,3-bifosfoglicerato} + \text{ADP} + P_i \xrightarrow{\text{Fosfoglicerato cinasa}} \text{3-fosfoglicerato} + \text{ATP} \quad (3.6)$$

$$\text{Fosfoenolpiruvato} + \text{ADP} + P_i \xrightarrow{\text{Piruvato cinasa}} \text{Piruvato} + \text{ATP} \quad (3.7)$$

El número total de moléculas de ATP que se resintetizan como resultado de la fosforilación al nivel del sustrato son cuatro (figura 3.2). No obstante, la reacción que convierte la fructosa-6-fosfato en fructosa-1,6-bifosfato (catalizada por la enzima **fosfofructocinasa [PKF]**) en la glucólisis requiere la hidrólisis de una molécula de ATP. Además, hay dos posibles fuentes de glucosa: la glucosa sanguínea (glucemia) y el glucógeno muscular. Cuando la glucosa sanguínea accede a las células, se fosforila para permanecer en ellas y mantener el gradiente de concentración de glucosa (67). La fosforilación de una molécula de glucosa sanguínea, catalizada por la hexocinasa, también precisa de la hidrólisis de una molécula de ATP. Por el contrario, cuando se degrada el glucógeno muscular (**glucogenólisis**) en glucosa con la ayuda de la enzima glucógeno fosforilasa, ya está fosforilada y no precisa la hidrólisis de ATP. Por tanto, cuando la glucosa comienza con una molécula de glucosa sanguínea, se emplean dos moléculas de ATP y se resintetizan cuatro, y así se obtiene una resíntesis neta de dos moléculas de ATP. Cuando la glucólisis recurre a glucógeno muscular, solo se usa una molécula de ATP y se resintetizan cuatro, con lo que hay una resíntesis neta de tres moléculas de ATP.

Control de la glucólisis

En general, hay una estimulación del índice de glucólisis, que aumenta durante acciones intensas de los músculos mediante elevadas concentraciones de ADP, P_i y amoniaco, así como mediante una ligera disminución de pH y AMP (22, 61, 140), todo lo cual son signos de un aumento de la hidrólisis de ATP y de la necesidad de energía. Por el contrario, la glucólisis se inhibe con una presencia considerablemente menor de pH, ATP, CP, citrato y ácidos grasos libres (22), que suelen estar presentes en reposo. (Repárese en que una ligera disminución del pH aumenta la glucólisis, aunque si el pH sigue disminuyendo en grado significativo, inhibe el índice de glucólisis). Sin embargo, hay dos factores más específicos que contribuyen a la regulación de la glucólisis (107), como las concentraciones e índices de recambio de tres enzimas glucolíticas importantes: hexocinasa, PFK y piruvato cinasa. Las tres son enzimas reguladoras de la glucólisis, porque cuentan con importantes puntos de *unión alostérica* (término que significa 'otra ubicación'). La regulación alostérica ocurre cuando el producto final de una reacción o serie de reacciones facilitan la regulación del índice de recambio de enzimas clave en las vías metabólicas. Por consiguiente, este proceso también recibe el nombre de *regulación del producto final* (85) o *regulación por retroalimentación* (61). La **inhibición alostérica** ocurre cuando un producto final se une a la enzima reguladora, reduce su índice de recambio y ralentiza la formación de productos finales. En contraste, se produce una **activación alostérica** cuando un «activador» se une a la enzima y eleva su índice de recambio.

La hexocinasa, que cataliza la fosforilación de glucosa en glucosa-6-fosfato, se somete a inhibición alostérica por la concentración de glucosa-6-fosfato en el sarcoplasma (61). Por tanto, cuanto mayor sea la concentración de glucosa-6-fosfato, más hexocinasa resulta inhibida. Además, la fosforilación de glucosa se confina en la célula de modo que no pueda salir. De forma parecida, la reacción de la PFK (fructosa-6-fosfato → fructosa-1,6-bifosfato) obliga a la célula a metabolizar glucosa en vez de almacenarla en forma de glucógeno. La fosfofructocinasa es el regulador más importante de la glucólisis porque es una **reacción catalizada por PFK.** El trifosfato de adenosina es un inhibidor alostérico de PFK; por tanto, a medida que se elevan las concentraciones intracelulares de ATP, la actividad de la PFK disminuye y se reduce la conversión de fructosa-6-fosfato en fructosa-1,6-

bifosfato; por consiguiente, disminuye la actividad de la vía glucolítica. Sin embargo, el AMP es un activador alostérico de la PFK y un poderoso estimulador de la glucólisis. Por lo demás, el amoniaco producido durante el ejercicio de alta intensidad como resultado de la desaminación de AMP o aminoácidos (remoción del grupo amino de la molécula de aminoácido) también estimula la PFK. La piruvato cinasa cataliza la conversión de fosfoenolpiruvato en piruvato y es la enzima reguladora final. La piruvato cinasa se somete a inhibición alostérica por ATP y acetil-CoA (esta última es un intermediario del ciclo de Krebs) y se activa con elevadas concentraciones de AMP y fructosa-1,6-bifosfato (61).

Umbral de lactato e inicio de la acumulación de lactato en la sangre

Hallazgos recientes sugieren que hay puntos específicos de inflexión en la curva de acumulación de lactato (figura 3.5) a medida que se incrementa la intensidad del ejercicio (39, 98). La intensidad del ejercicio o la intensidad relativa a la que el lactato en sangre inicia un brusco incremento por encima de la concentración basal se ha dado en llamar **umbral de lactato (UL)** (161). El *umbral de lactato* representa un aumento significativo de la dependencia en los mecanismos anaeróbicos para la producción de energía con la que cubrir la demanda. El UL mantiene una buena correspondencia con el umbral ventilatorio (punto de inflexión en la relación entre la ventilación y el O_2), por lo que a menudo se utiliza como indicador del umbral anaeróbico.

El UL suele comenzar al llegar al 50-60% del **consumo máximo de oxígeno** en personas no entrenadas y al 70-80% en atletas con entrenamiento aeróbico (29, 52). Se ha documentado un segundo aumento en el índice de acumulación de lactato con intensidades relativas de ejercicio más elevadas. Este segundo punto de inflexión recibe el nombre de **comienzo de la acumulación de lactato en sangre (OBLA)** y ocurre cuando la concentración de lactato sanguíneo alcanza 4 mmol/L (83, 136, 142). Las inflexiones en la curva de acumulación de lactato tal vez se correspondan con puntos en que se reclutan unidades motoras intermedias y grandes cuando se incrementa la intensidad del ejercicio (92). Las células musculares asociadas con unidades motoras grandes suelen ser fibras tipo II, particularmente aptas para el metabolismo anaeróbico y la producción de lactato.

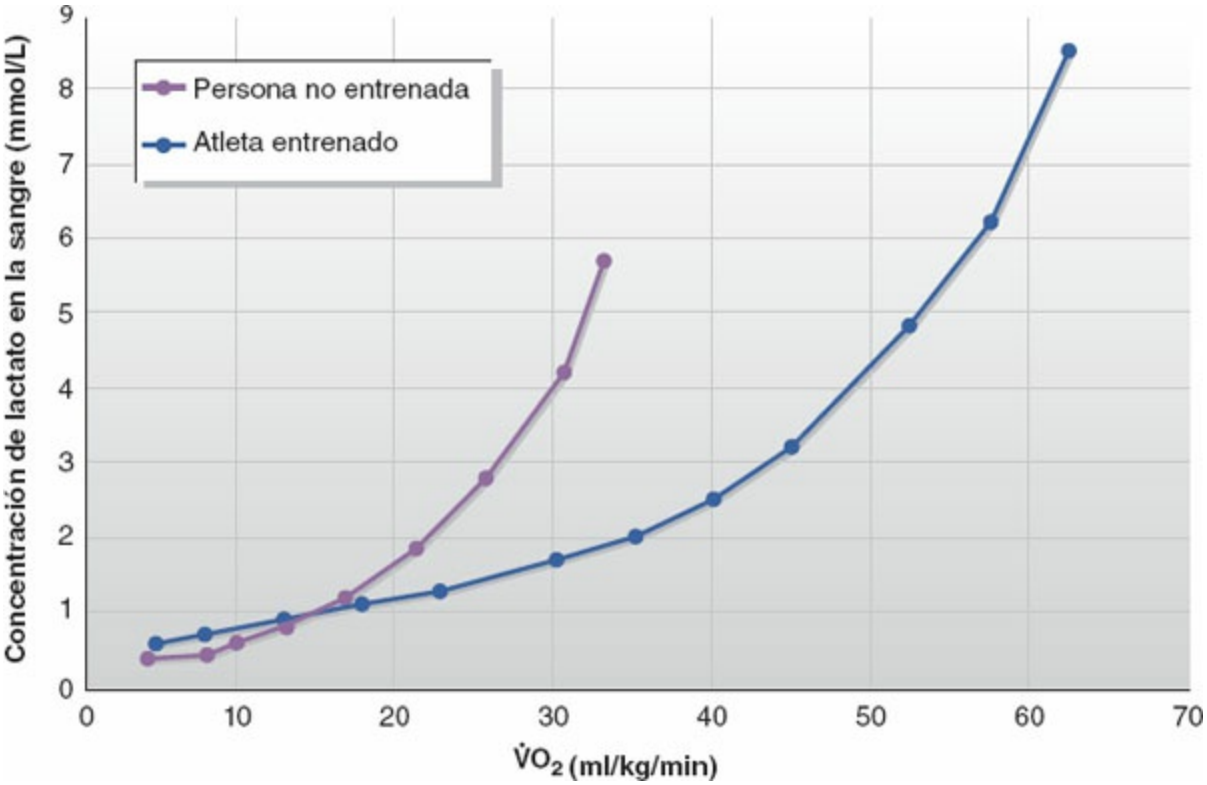


FIGURA 3.5 Umbral de lactato (UL) y comienzo de la acumulación de lactato en la sangre (OBLA).

Algunos estudios sugieren que el entrenamiento a intensidades próximas o por encima del UL o el OBLA desplaza sus curvas a la derecha (es decir, la acumulación de lactato ocurre más tarde y con mayores intensidades de ejercicio) (39, 43). Este desplazamiento probablemente ocurra debido a cambios en la liberación de hormonas, en particular la liberación reducida de catecolaminas con ejercicio de alta intensidad, y el incremento del contenido mitocondrial, el cual permite una mayor producción de ATP con mecanismos aeróbicos. El desplazamiento permite a los atletas rendir con un mayor porcentaje del consumo máximo de oxígeno sin que haya tanta acumulación de lactato en la sangre (22, 41).

El sistema oxidativo (aeróbico)

El sistema oxidativo, la fuente primaria de ATP en reposo y durante actividades de baja intensidad, emplea sobre todo hidratos de carbono y grasas como sustratos (62). Las proteínas no hacen una contribución importante al total de energía; sin embargo, el uso de proteínas aumenta significativamente durante ayunos prolongados y tandas largas de ejercicio

(>90 minutos) (41, 102). En reposo, aproximadamente el 70% del ATP producido deriva de grasas y un 30% de hidratos de carbono. Tras el inicio de la actividad, a medida que aumenta la intensidad del ejercicio, hay un desplazamiento en la preferencia por los sustratos a favor de los hidratos de carbono y en detrimento de las grasas. Durante el ejercicio aeróbico de alta intensidad, casi el 100% de la energía deriva de los hidratos de carbono si su aporte es adecuado, siendo mínimas las aportaciones de grasas y proteínas. No obstante, durante un trabajo prolongado, submáximo y con el lactato en estado estable, hay un cambio gradual en la vuelta a la utilización de grasas, y en un grado mínimo al de las proteínas, como sustratos de energía en detrimento de los hidratos de carbono (22).

Oxidación de la glucosa y el glucógeno

El metabolismo oxidativo de la glucosa sanguínea y el glucógeno muscular comienza con la glucólisis. Si hay oxígeno presente en cantidades suficientes, el producto final de la glucólisis, el piruvato, no se convierte en lactato sino que se transporta a las mitocondrias, donde se convierte en acetil-CoA (una molécula con dos átomos de carbono) que entra en el ciclo de Krebs, también llamado ciclo del ácido cítrico o ciclo del ácido tricarboxílico (7, 61). El ciclo de Krebs es una serie de reacciones que continúan la oxidación del sustrato a partir de la glucólisis y que producen, por cada molécula de glucosa, dos moléculas de ATP indirectamente a partir del guanosín trifosfato (GTP), mediante la fosforilación a nivel del sustrato (figura 3.6).

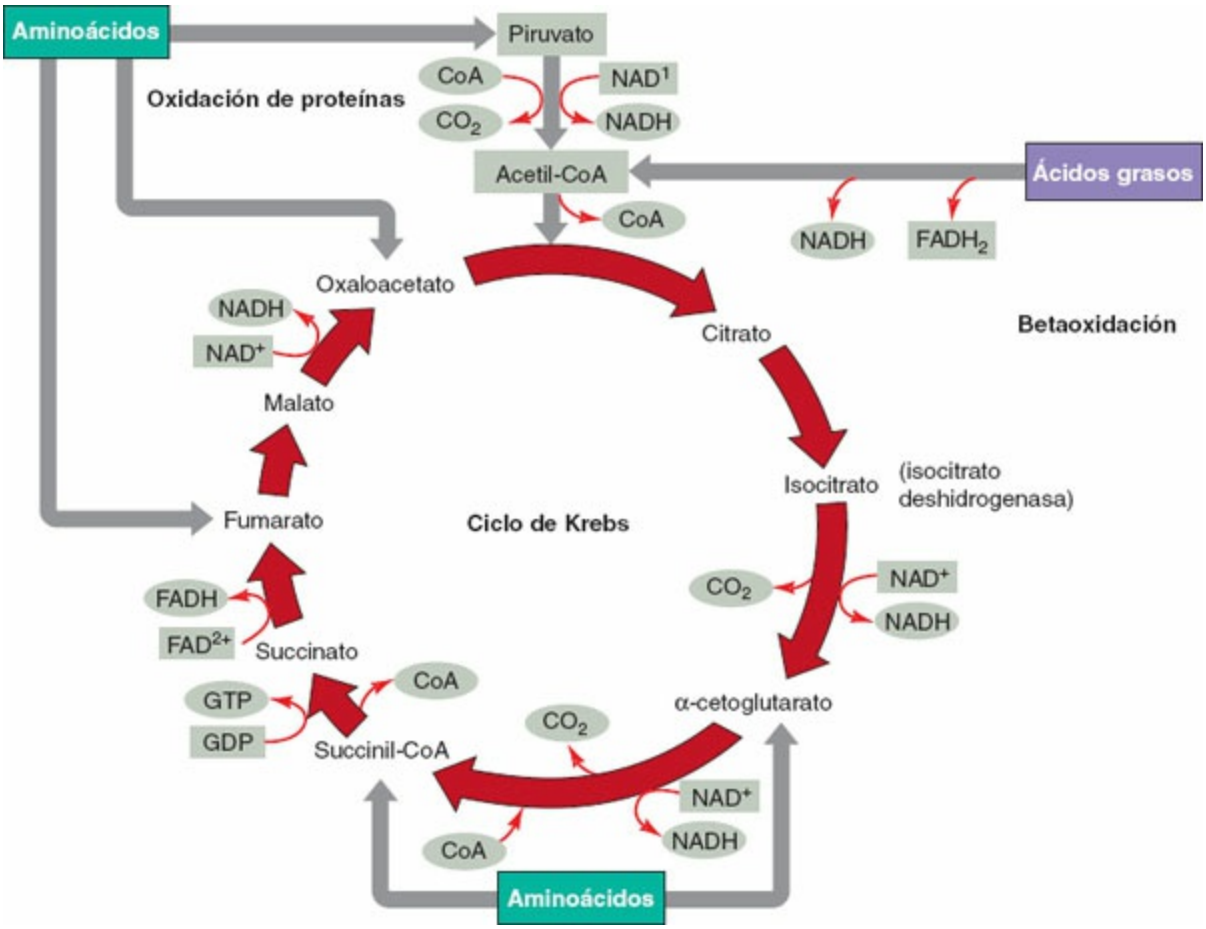


FIGURA 3.6 Ciclo de Krebs. CoA = coenzima A; FAD^{2+}, FADH, $FADH_2$ = flavín adenín dinucleótido; GDP = guanosín difosfato; GTP = guanosín trifosfato; NAD^+, NADH = nicotinamida adenina dinucleótido reducida.

También producto de las dos moléculas de piruvato, tras la producción de una molécula de glucosa, son las seis moléculas de NADH y las dos moléculas de **flavín adenín dinucleótido (o dinucleótido de flavina y adenina) ($FADH_2$)**. Estas moléculas transportan átomos de hidrógeno a la cadena de transporte de electrones (CTE) para ser usados y producir ATP a partir de ADP (22, 107). La CTE emplea las moléculas de NADH y $FADH_2$ para refosforilar ADP en ATP (figura 3.7).

Los átomos de hidrógeno son transportados a lo largo de la cadena (una serie de transportadores de electrones denominados **citocromos**) y constituyen un gradiente de concentración de protones que aporta la energía para la producción de ATP, sirviendo el oxígeno de aceptor final de electrones (con la consiguiente formación de agua). Como el NADH y el $FADH_2$ acceden a la cadena de transporte de electrones en puntos diferentes,

su capacidad para producir ATP difiere. Una molécula de $FADH_2$ solo produce dos moléculas de ATP. La producción de ATP durante este proceso se denomina *fosforilación oxidativa*. El sistema oxidativo, que principia por la glucólisis y prosigue con el ciclo de Krebs y la cadena de transporte de electrones, produce aproximadamente 38 moléculas de ATP mediante la degradación de una molécula de glucosa sanguínea (22, 85). No obstante, si la glucólisis se inicia con glucógeno muscular, la producción neta de ATP es 39, dado que la reacción de la hexocinasa no es necesaria con la glucogenólisis muscular, pese a lo cual la fosforilación oxidativa supone más del 90% de la síntesis de ATP comparada con la fosforilación a nivel del sustrato, lo cual demuestra la capacidad del sistema oxidativo para la transferencia de energía. En la tabla 3.1 se ofrece un resumen de estos procesos.

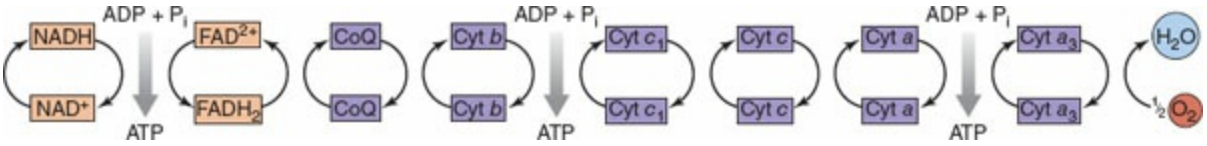


FIGURA 3.7 Cadena de transporte de electrones (CTE). CoQ = coenzima Q; Cyt = citocromo.

Oxidación de las grasas

Las grasas también intervienen en el sistema oxidativo de energía. Los triglicéridos almacenados en los adipocitos se degradan con una enzima, la lipasa, que es sensible a las hormonas, y producen ácidos grasos libres y glicerol. De este modo una porción del total de ácidos grasos libres obtenidos de los adipocitos se liberan en la sangre, por donde circulan y acceden a las fibras musculares, y sufren oxidación (88, 121). Además, una cantidad limitada de triglicéridos se almacenan en el músculo con la enzima lipasa, sensible a las hormonas, para producir una fuente intramuscular de ácidos grasos libres (22, 47). Estos ácidos grasos libres entran en las mitocondrias, donde se someten a **betaoxidación**, es decir, una serie de reacciones en las que se degradan y llevan a la formación de acetil-CoA y protones de hidrógeno (figura 3.6). El acetil-CoA accede directamente al ciclo de Krebs, y los átomos de hidrógeno viajan con el NADH y el $FADH_2$ a la cadena de transporte de electrones (22). El resultado son cientos de moléculas de ATP procedentes de la betaoxidación. Por ejemplo, la degradación de una sola molécula de triglicérido que contenga tres ácidos grasos libres (ácido

palmítico) con una longitud de cadena de 16 átomos de carbono se metaboliza mediante betaoxidación y rinde más de 300 moléculas de ATP (>100 moléculas de ATP por ácido palmítico). El concepto general es que la oxidación de grasas muestra una capacidad enorme para la síntesis de ATP en comparación con la oxidación de hidratos de carbono y proteínas.

Oxidación de las proteínas

Aunque no sean una fuente significativa de energía en la mayoría de actividades, las proteínas se degradan en sus aminoácidos constituyentes por mediación de distintos procesos metabólicos. La mayoría de estos aminoácidos se convierten a continuación en glucosa (por el proceso de *gluconeogénesis*), piruvato o intermediarios diversos del ciclo de Krebs para producir ATP (figura 3.6). Se calcula que la contribución de los aminoácidos a la producción de ATP es mínima durante el ejercicio de corta duración, aunque tal vez aporten un 3-18% de la energía requerida durante una actividad prolongada (20, 138). Se cree que los principales aminoácidos que se oxidan en el músculo esquelético son los **aminoácidos de cadena ramificada** (leucina, isoleucina y valina), aunque quizá también intervengan alanina, aspartato y glutamato (69). Los desechos nitrogenados de la degradación de los aminoácidos se eliminan mediante la formación de urea y pequeñas cantidades de amoniaco (22). La eliminación a través de la formación de amoniaco es significativa porque es tóxico y se asocia con el cansancio.

Control del sistema oxidativo (aeróbico)

El paso limitante en el ciclo de Krebs (figura 3.6) es la conversión de isocitrato en α-cetoglutarato, una reacción catalizada por la enzima isocitrato deshidrogenasa, que es estimulada por ADP e inhibida alostéricamente por ATP. Las reacciones que producen NADH o $FADH_2$ también influyen en la regulación del ciclo de Krebs. Si no hay disponibles NAD^+ ni FAD^{2+} en cantidades suficientes para recibir hidrógeno, el índice del ciclo de Krebs se reduce. Además, cuando se acumula GTP, aumenta la concentración de sucinil-CoA, que inhibe la reacción inicial (oxaloacetato + acetil-CoA → citrato + CoA) del ciclo de Krebs. La cadena de transporte de electrones es inhibida por ATP y estimulada por ADP (22). En la figura 3.8 se muestra un esquema del metabolismo de las grasas, hidratos de carbono y proteínas.

TABLA 3.1 Energía total procedente de la oxidación de una molécula de glucosa

Proceso	Producción de ATP
Glucólisis lenta:	
Fosforilación al nivel del sustrato	4
Fosforilación oxidativa: 2 NADH (3 moléculas de ATP cada uno)	6
Ciclo de Krebs (2 rotaciones del ciclo de Krebs por glucosa):	
Fosforilación al nivel del sustrato	2
Fosforilación oxidativa: 8 NADH (3 moléculas de ATP en cada una)	24
Mediante GTP: 2 $FADH_2$ (2 moléculas de ATP en cada una)	4
Total	40

*La glucólisis consume 2 moléculas de ATP (si se inicia con glucosa sanguínea), por lo que la producción neta de ATP es 40-2 = 38. Esta cifra a veces se modifica y son 36 moléculas de ATP, dependiendo del sistema transportador que se use para trasladar NADH a las mitocondrias. ATP = trifosfato de adenosina; $FADH_2$ = flavín adenín dinucleótido; GTP = guanosín trifosfato; NADH = nicotinamida adenina dinucleótido.

Capacidad y producción de energía

Los sistemas del fosfágeno, glucolítico y oxidativo difieren en su capacidad para suministrar energía para las actividades de intensidades y duraciones distintas (tablas 3.2 y 3.3). La intensidad del ejercicio se define como un nivel de actividad muscular que se cuantifica en términos de producción de potencia (trabajo realizado por unidad de tiempo) (99). Actividades como el entrenamiento resistido, que se practican con una elevada producción de potencia, requieren un ritmo rápido de aporte de energía y dependen casi exclusivamente de la energía proporcionada por el sistema del fosfágeno. Las actividades de baja intensidad y larga duración, como correr un maratón, precisan un aporte prolongado de energía y dependen sobre todo de la energía suministrada por el sistema oxidativo. La fuente principal de energía para las actividades a ambos extremos del espectro varía dependiendo de la intensidad

y duración de la prueba (tabla 3.2). En general, las actividades cortas de alta intensidad (p. ej., esprines y entrenamiento resistido de alta intensidad) dependen en gran medida del sistema de energía del fosfágeno y de la glucólisis rápida. A medida que disminuye la intensidad y aumenta la duración, se tiende gradualmente a la glucólisis lenta y el sistema oxidativo de energía (45, 129).

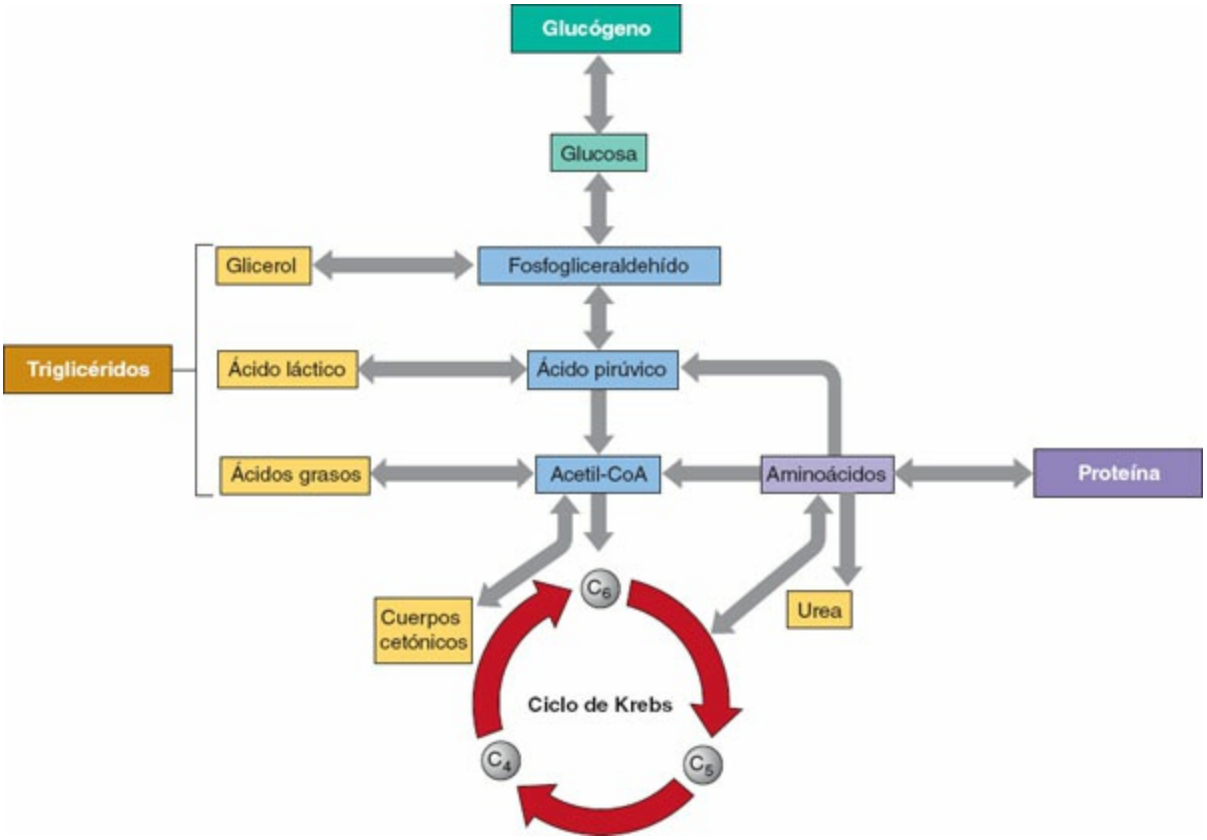


FIGURA 3.8 El metabolismo de las grasas y el de los hidratos de carbono comparten algunas vías metabólicas. Muchas se oxidan en acetil-CoA y acceden al ciclo de Krebs.

TABLA 3.2 Efecto de la duración e intensidad de una actividad sobre el principal sistema de energía utilizado

Duración de la actividad	Intensidad de la actividad	Sistema de energía primario
0-6 s	Extremadamente alta	Fosfágeno
6-30 s	Muy alta	Fosfágeno y glucólisis rápida
30 s a 2 min	Alta	Glucólisis rápida
2-3 min	Moderada	Glucólisis rápida y sistema oxidativo
>3 min	Baja	Sistema oxidativo

Las relaciones entre duración, intensidad y sistemas primarios de energía usados asumen que el atleta se esfuerza por lograr el mejor rendimiento posible en una actividad.

TABLA 3.3 Clasificación del índice y capacidad de producción de ATP

Síntesis	Índice de producción de ATP	Capacidad de producción de ATP
Fosfágeno	1	5
Glucólisis rápida	2	4
Glucólisis lenta	3	3
Oxidación de hidratos de carbono	4	2
Oxidación de grasas y proteínas	5	1

Nota: 1 = más rápido/máximo; 5 = más lento/mínimo.

En general existe una relación inversa entre el índice de producción máxima de ATP (el ATP producido por unidad de tiempo) de un sistema de energía y su capacidad (el total de ATP producido en el tiempo). El sistema del fosfágeno es capaz de alcanzar el nivel más alto de producción de ATP, mientras que la oxidación de grasas es el que presenta la máxima capacidad de producción de ATP. Por tanto, el sistema de energía del fosfágeno suministra principalmente ATP para actividades de alta intensidad y corta duración (p. ej., esprín de 100 m), el sistema glucolítico para actividades de intensidad moderada a alta y duración corta o media (p. ej., los 400 metros lisos) y el sistema oxidativo para actividades de baja intensidad y larga duración (p. ej., un maratón).

La duración de la actividad también influye en el sistema de energía utilizado. La duración de los eventos deportivos varía entre 1 y 3 segundos (p. ej., la arrancada en halterofilia y los lanzamientos de peso) hasta más de 4 horas (p. ej., triatlones de fondo y ultramaratones). Si un atleta hace un esfuerzo excepcional (un esfuerzo con el que obtiene su mejor marca en una modalidad deportiva), la atención prestada a la duración en la tabla 3.2 es razonable (48, 78, 124, 144, 147).

En ningún momento, durante el ejercicio o el reposo, ningún sistema de energía por sí solo aporta toda la energía. Durante el ejercicio, el grado de contribución energética de los sistemas oxidativo y anaeróbico está determinado principalmente por la intensidad del ejercicio y, en segundo lugar, por la duración del ejercicio (22, 45, 48).

El grado en que los tres sistemas de energía contribuyen a la producción de ATP

depende sobre todo de la intensidad de la actividad muscular y, después, de la duración. En ningún momento durante el ejercicio o el descanso un solo sistema de energía aporta toda la energía.

Depleción y repleción de los sustratos

Los sustratos de energía —las moléculas que suministran el material inicial para las reacciones bioenergéticas, entre otros fosfágenos (ATP y CP), glucosa, glucógeno, lactosa, ácidos grasos libres y aminoácidos— se agotan de manera selectiva durante actividades de distintas intensidades y duraciones. Con posterioridad, la energía producida por los sistemas bioenergéticos se reduce. El cansancio experimentado en muchas actividades se asocia frecuentemente con la depleción de los fosfágenos (66, 87) y el glucógeno (21, 78, 90, 131); la depleción de sustratos como ácidos grasos libres, lactato y aminoácidos no suele ocurrir hasta el punto de que el rendimiento se resienta. Por consiguiente, los patrones de **depleción** y **repleción** de los fosfágenos y el glucógeno tras una actividad física son importantes en la bioenergética del deporte y el ejercicio.

Fosfágenos

El cansancio durante el ejercicio parece estar al menos parcialmente relacionado con una disminución de los fosfágenos (ATP y CP). Las concentraciones de fosfágeno en el músculo se agotan más rápidamente con un ejercicio anaeróbico de alta intensidad que con un ejercicio aeróbico (66, 87). La fosfocreatina puede disminuir acusadamente (50-70%) durante la primera fase de un ejercicio de alta intensidad y duración corta a moderada (5-30 segundos), y puede estar casi agotada por completo debido a un ejercicio muy intenso hasta el agotamiento (84, 91, 96, 108). Las contracciones de ATP en los músculos tal vez disminuyan solo ligeramente (34) o hasta un 50-60% (143) de los niveles previos al ejercicio durante experimentos de inducción de cansancio. También hay que reparar en que las acciones dinámicas de los músculos que producen trabajo externo emplean más energía metabólica y suelen agotar los niveles de fosfágeno en mayor grado que las acciones musculares isométricas (18).

La concentración intramuscular de ATP se mantiene en gran medida durante el ejercicio como consecuencia de la depleción de CP y de la contribución con ATP adicional de la reacción de la miocinasa y la oxidación

de otras fuentes de energía, como el glucógeno y los ácidos grasos libres. La repleción de fosfágeno después del ejercicio puede ocurrir en un período relativamente corto; la resíntesis completa de ATP parece ocurrir en 3 a 5 minutos, y la de CP en 8 minutos (75, 87). La repleción del fosfágeno depende en gran medida del metabolismo aeróbico (75), aunque la glucólisis puede contribuir a la recuperación tras un ejercicio de alta intensidad (29, 40).

Los efectos del entrenamiento sobre las concentraciones de fosfágenos no han sido bien estudiados ni se comprenden del todo. El entrenamiento aeróbico de fondo tal vez eleve las concentraciones de fosfágenos en reposo (49, 97) y reduce su tasa de depleción con una producción absoluta de potencia submáxima (33, 97), aunque no con una producción relativa de potencia submáxima (33). Aunque los investigadores hayan apreciado señales de incremento de las concentraciones de fosfágenos en reposo (12, 125), los estudios a corto plazo (ocho semanas) sobre esprines y seis meses de entrenamiento de fondo o resistido no han demostrado alteraciones en las concentraciones de fosfágenos en reposo (11, 16, 145, 148). Sin embargo, el contenido total de fosfágenos puede ser mayor después de un entrenamiento con esprines por el incremento de la masa muscular (148). El entrenamiento resistido ha demostrado aumentar las concentraciones de fosfágenos en reposo del músculo tríceps braquial tras cinco semanas de entrenamiento (104). La elevación de la concentración de fosfágenos tal vez responda a la hipertrofia selectiva de las fibras tipo II, que pueden contener una concentración más elevada de fosfágenos que las fibras tipo I (103).

Glucógeno

Las reservas de glucógeno disponibles para el ejercicio son limitadas. Hay aproximadamente 300-400 g de glucógeno almacenado en los músculos y en torno a 70-100 g en el hígado (135). En reposo, en las concentraciones de glucógeno del músculo y el hígado influyen el entrenamiento y las manipulaciones dietéticas (56, 135). Los estudios de investigación sugieren que tanto el entrenamiento anaeróbico, en el que se incluyen los esprines y el ejercicio resistido (16, 104), como el entrenamiento aeróbico de fondo (64, 65) aumentan la concentración de glucógeno muscular en reposo, siempre y cuando la alimentación sea apropiada.

El ritmo de depleción del glucógeno está relacionado con la intensidad del ejercicio (135). El glucógeno muscular es una fuente de energía más

importante que el glucógeno hepático durante el ejercicio de intensidad moderada a alta. El glucógeno hepático parece ser más importante durante un ejercicio de baja intensidad, y su contribución en los procesos metabólicos aumenta con la duración del ejercicio. Incrementos de la intensidad relativa del ejercicio del 50%, 75% y 100% del consumo máximo de oxígeno provocan un aumento de la tasa de glucogenólisis muscular (degradación del glucógeno) de 0,7, 1,4 y 3, 4 mmol/ kg/s, respectivamente (131). A intensidades relativas de ejercicio por encima del 60% del consumo máximo de oxígeno, el glucógeno muscular deviene un sustrato de energía de importancia creciente; todo el contenido de glucógeno de algunas células musculares termina agotado durante el ejercicio (130).

Se mantienen concentraciones relativamente constantes de glucosa sanguínea durante el ejercicio a intensidades muy bajas (menos del 50% del consumo máximo de oxígeno) debido al bajo consumo del glucógeno por el músculo; a medida que aumenta la duración del ejercicio y supera los 90 minutos, las concentraciones de glucosa sanguínea bajan, aunque pocas veces por debajo de 2,8 mmol/L (2). El ejercicio de fondo (más de 90 minutos) de mayor intensidad (más del 50% del consumo máximo de oxígeno) en ocasiones provoca una disminución sustancial de las concentraciones de glucosa sanguínea debido a la depleción del glucógeno hepático. Ciertas personas sufren reacciones hipoglucémicas cuando los valores de la glucosa sanguínea inducida por el ejercicio son inferiores a 2,5 mmol/L (3, 35). El descenso de los niveles de la glucosa sanguínea hasta 2,5-3,0 mmol/L es producto de la disminución de las reservas de hidratos de carbono hepáticas causa un declive de la oxidación de hidratos de carbono y termina provocando agotamiento (32, 35, 135).

El ejercicio intermitente de muy alta intensidad, como el entrenamiento resistido, causa una depleción sustancial de glucógeno muscular (bajadas del 20% al 60%) con relativamente pocas series (cargas bajas de trabajo) (99, 124, 144, 146). Aunque los fosfágenos sean tal vez el principal factor limitador durante el ejercicio resistido con grandes cargas y pocas series de pocas repeticiones, el glucógeno muscular podría limitar el entrenamiento resistido con muchas series y un trabajo total elevado (124). En ocasiones, este tipo de ejercicio causa la depleción selectiva del glucógeno de las fibras musculares (sobre todo de las fibras tipo II) y también limita el rendimiento (50, 124). Al igual que con otros tipos de ejercicio dinámico, el índice de la glucogenólisis muscular durante el ejercicio resistido depende de la

intensidad (es decir, cuanto mayor sea la intensidad, más rápido es el índice de la glucogenólisis). Sin embargo, cuando el trabajo total es igual, parece que la depleción absoluta de glucógeno es la misma, con independencia de la intensidad de la sesión de entrenamiento resistido (69, 124).

La repleción del glucógeno muscular durante la recuperación está relacionada con la ingesta de hidratos de carbono después del ejercicio. La repleción parece ser óptima si después del ejercicio y cada 2 horas se ingieren de 0,7 a 3 gramos de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal (56, 135). Este nivel de consumo de hidratos de carbono potencia la repleción del glucógeno muscular hasta 5-6 mmol/L de masa de tejido muscular fresco por hora durante las primeras 4 a 6 horas después del ejercicio. El glucógeno muscular se repone por completo en 24 horas, siempre y cuando se ingieran suficientes hidratos de carbono (56, 135). No obstante, si el ejercicio genera muchas contracciones excéntricas (asociadas con daños musculares inducidos por el ejercicio), quizá se precise más tiempo para reponer por completo el glucógeno muscular (119, 162).

Diferencias en la depleción y resíntesis de fosfocreatina en niños comparados con adultos

Kappenstein (94) comprobó la hipótesis de que una mayor capacidad oxidativa en los niños se traduce en una menor depleción de CP, en una resíntesis más rápida de CP y en una menor acidosis metabólica que en los adultos durante un ejercicio intermitente de alta intensidad. Dieciséis niños (media de edad = 9 años) y dieciséis adultos (media de edad = 26 años) completaron 10 tandas de un ejercicio de flexión plantar dinámica de 30 segundos al 25% de 1 repetición máxima (1RM). Durante y después del ejercicio se midieron los niveles de fosfocreatina, ATP, fosfágeno inorgánico (P_i) y fosfomonoésteres. La degradación de fosfocreatina fue significativamente menor en los niños durante la primera tanda de ejercicio, y el promedio de los niveles de CP fue mayor en los niños al final del ejercicio y durante los períodos de recuperación. Además, el pH muscular también fue significativamente más elevado en los niños al final del ejercicio. Los resultados sugieren que los niños son más capaces de cubrir las exigencias energéticas con el metabolismo oxidativo durante un ejercicio intermitente de alta intensidad.

Factores bioenergéticos limitadores del rendimiento físico

Hay que tener en cuenta los factores limitadores del rendimiento (22, 49, 78, 86, 102, 154) en los mecanismos de la fatiga experimentada durante el ejercicio y el entrenamiento. Es necesario entender los posibles factores

limitadores asociados con una prueba atlética, en particular cuando se diseñan programas de entrenamiento y se intenta retrasar la aparición del cansancio y, posiblemente, mejorar el rendimiento. La tabla 3.4 ofrece ejemplos de diversos factores limitadores basados en la depleción de las fuentes de energía y en el aumento de los niveles de iones de hidrógeno en el músculo, si bien se han postulado otros factores potenciales.

La depleción del glucógeno es un factor limitador tanto del ejercicio de fondo y baja intensidad dependiente sobre todo del metabolismo aeróbico, como del ejercicio repetido de alta intensidad dependiente sobre todo de mecanismos anaeróbicos. Aspecto importante para el entrenamiento resistido, para los esprines y otras actividades predominantemente anaeróbicas es el efecto de la acidosis metabólica sobre la limitación de la fuerza contráctil (53, 78, 114, 115, 123).También se han relacionado otros factores con el desarrollo de fatiga muscular que tal vez limiten el rendimiento, como el aumento de los niveles intracelulares de fosfágeno inorgánico, la acumulación de amoniaco, la elevación del ADP y la alteración de la liberación de calcio del retículo sarcoplasmático (4, 5, 129, 154, 158). Se necesitan nuevos estudios para determinar las causas de la fatiga muscular y los factores limitadores del rendimiento físico.

Consumo de oxígeno y contribuciones aeróbicas y anaeróbicas al ejercicio

El *consumo de oxígeno* es una medida de la capacidad para captar oxígeno a través del sistema respiratorio y suministrarlo a los tejidos activos por medio del sistema cardiovascular, así como de la capacidad de los tejidos activos (sobre todo el músculo esquelético) para usar ese oxígeno. Durante un ejercicio de baja intensidad con una producción constante de potencia, el consumo de oxígeno aumenta los primeros minutos hasta que se establece un nivel estable de consumo (la demanda de oxígeno equivale a su consumo) (figura 3.9) (7, 83).

TABLA 3.4 Lista de los factores bioenergéticos limitadores

Ejercicio	ATP y fosfocreatina	Glucógeno muscular	Glucógeno hepático	Reservas de grasa	pH más bajo
Maratón	1	5	4-5	2-3	1
Triatlón	1-2	5	4-5	1-2	1-2
Carrera 5.000 m	1-2	3	3	1-2	1
Carrera 1.500 m	2-3	3-4	2	1-2	2-3
Natación 400 m	2-3	3-4	3	1	1-2
Carrera 400 m	3	3	1	1	4-5
Carrera 100 m	5	1-2	1	1	1-2
Lanzamiento de disco	2-3	1	1	1	1
Ejercicio repetido de arrancada al 60% de 1RM (10 series)	4-5	4-5	1-2	1-2	4-5

Nota. 1 = factor limitador menos probable; 5 = factor limitador más probable..

No obstante, al inicio de una tanda de ejercicio, parte de la energía se suministra mediante mecanismos anaeróbicos porque el sistema aeróbico responde con lentitud al incremento inicial de la demanda de energía (62, 153). Esta contribución anaeróbica al coste energético total del ejercicio se denomina **déficit de oxígeno** (83, 107). Después del ejercicio, el consumo de oxígeno se mantiene por encima de los niveles previos al esfuerzo durante un período de tiempo que varía según la intensidad y duración del ejercicio. El consumo de oxígeno posejercicio se denomina **deuda de oxígeno** (83, 107), recuperación del O_2 (107) o **consumo excesivo de oxígeno posejercicio (EPOC)** (22). El EPOC es el consumo de oxígeno por encima de los valores usados para devolver el cuerpo a su estado antes del ejercicio (139). Solo se ha observado una pequeña a moderada conexión entre el déficit de oxígeno y el EPOC (13, 77); el déficit de oxígeno tal vez influya en la magnitud del EPOC, pero no son iguales. Los posibles factores que influyen en el EPOC se enumeran en el recuadro «El consumo excesivo de oxígeno posejercicio depende del modo, duración e intensidad» (17, 21, 22, 58, 107).

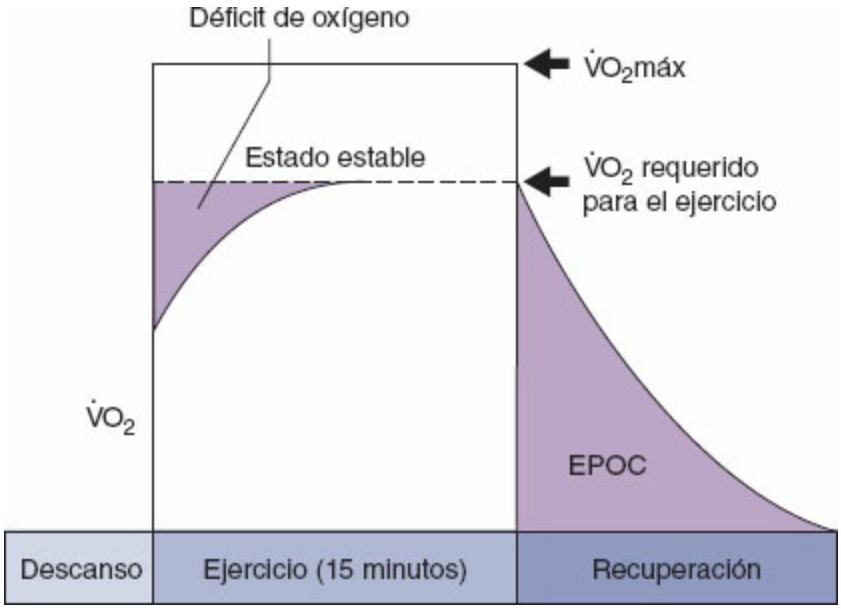


FIGURA 3.9 Metabolismo durante un ejercicio de baja intensidad y con el lactato en estado estable: 75% del consumo máximo de oxígeno ($\dot{V}O_2$ máx). EPOC = consumo excesivo de oxígeno posejercicio; $\dot{V}O_2$ máx = consumo máximo de oxígeno.

Los mecanismos anaeróbicos suministran gran parte de la energía para el trabajo si la intensidad del ejercicio se sitúa por encima del consumo máximo de oxígeno (figura 3.10). En general, a medida que aumenta la contribución de los mecanismos anaeróbicos que sustentan el ejercicio, la duración del ejercicio disminuye (7, 68, 156, 157).

En la tabla 3.5 se aprecia la contribución aproximada de los mecanismos aeróbicos y anaeróbicos a esfuerzos sostenidos y máximos en un cicloergómetro (110, 149, 159). Las contribuciones de los mecanismos anaeróbicos son fundamentales hasta los 60 segundos, tras lo cual el metabolismo aeróbico deviene el principal mecanismo suministrador de energía. La contribución de los mecanismos anaeróbicos a este tipo de ejercicio representa la capacidad anaeróbica máxima (109, 149).

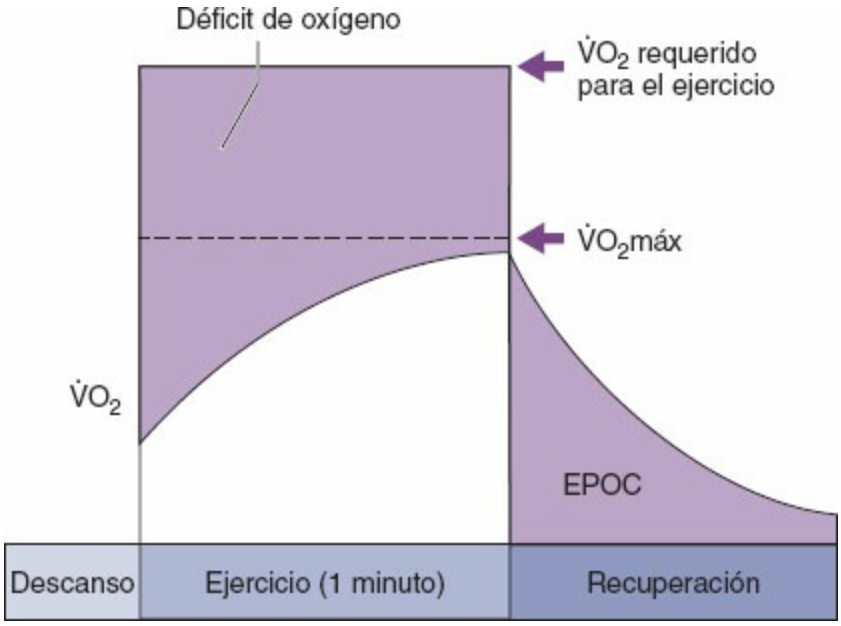


FIGURA 3.10 Metabolismo del ejercicio de gran intensidad y sin el lactato en estado estable (80% de la producción máxima de potencia). El $\dot{V}O_2$ requerido aquí es el consumo de oxígeno que se necesitaría para mantener el ejercicio si fuera posible alcanzar tal consumo. Como no lo es, el déficit de oxígeno dura todo el ejercicio. EPOC = consumo excesivo de oxígeno posejercicio; $\dot{V}O_2$ máx = consumo máximo de oxígeno.

El consumo excesivo de oxígeno posejercicio depende del modo, duración e intensidad

El consumo excesivo de oxígeno posejercicio (EPOC) se refiere al incremento prolongado del O_2 que a veces se observa durante horas tras el ejercicio (58).

Ejercicio aeróbico y EPOC (17)

- La intensidad es el factor que más influye en el EPOC.
- Los valores más altos del EPOC se obtienen cuando tanto la intensidad (>50-60% del $\dot{V}O_2$ máx) como la duración (>40 minutos) son elevadas.
- La práctica de tandas breves e intermitentes de ejercicio supramáximo (>100% del $\dot{V}O_2$ máx) pueden inducir el máximo EPOC con un menor trabajo total.
- Hay una variabilidad interindividual en el EPOC como respuesta a un estímulo relativo de ejercicio.
- No están claros los efectos de los modos de ejercicio aeróbico.

Ejercicio resistido y EPOC (17)

- El ejercicio resistido con grandes cargas (tres series, ocho ejercicios hasta el agotamiento, 80-90% de 1RM) produce un mayor EPOC que el entrenamiento con

pesas en circuito (cuatro series, ocho ejercicios, 15 repeticiones, 50% de 1RM).
- Por tanto, el EPOC también depende de la tolerancia física como respuesta al entrenamiento resistido.

Factores responsables del EPOC (17)

- Repleción del oxígeno sanguíneo y muscular.
- Resíntesis de ATP/CP.
- Elevación de la temperatura corporal, la circulación y la ventilación.
- Elevación del índice del ciclo de triglicéridos-ácidos grasos.
- Aumento del recambio de proteínas.
- Cambios en la eficacia energética durante la recuperación.

TABLA 3.5 Contribuciones de los mecanismos aeróbicos y anaeróbicos a esfuerzos sostenidos máximos en cicloergometría

	0-5 s	30 s	60 s	90 s	150 s	200 s
Intensidad del ejercicio (% de la producción de potencia máxima)	100	55	35	31	No disponible	No disponible
Contribución de los mecanismos anaeróbicos (%)	96	75	50	35	30	22
Contribución de los mecanismos aeróbicos (%)	4	25	50	65	70	78

Especificidad metabólica del entrenamiento

Intensidades de ejercicio e intervalos de reposo apropiados permiten «seleccionar» sistemas de energía específicos durante el entrenamiento para modalidades deportivas concretas (22, 107, 155). Pocos deportes o actividades físicas requieren un esfuerzo sostenido máximo hasta el agotamiento o próximo al agotamiento, como esprines de medio fondo competitivo (desde 400 m hasta 1.600 m). La mayoría de los deportes y actividades de entrenamiento producen perfiles metabólicos muy similares a los de una serie de tandas de ejercicio de alta intensidad y esfuerzo constante o casi constante, con períodos de descanso intercalados, como el fútbol americano, el baloncesto y el hockey. En este tipo de ejercicio, la intensidad requerida por la tanda de ejercicio (producción de potencia) es mucho mayor que la producción de potencia máxima sostenida recurriendo solo a fuentes de energía aeróbicas. Aumentar la potencia aeróbica por medio de un entrenamiento principalmente aeróbico, mientras simultáneamente se compromete o descuida el entrenamiento de la capacidad y la potencia anaeróbicas, resulta poco beneficioso en estos deportes (82, 109). Por

ejemplo, sería poco beneficioso para un jugador de béisbol correr kilómetros durante el entrenamiento en lugar de centrarse en ejercicios que mejoren la capacidad y la potencia anaeróbicas.

El empleo de intensidades de ejercicio e intervalos de descanso apropiados permite «seleccionar» sistemas de energía específicos durante el entrenamiento, y como refleja mejor las exigencias metabólicas reales del deporte, se consiguen regímenes más productivos y eficaces para modalidades deportivas específicas con exigencias metabólicas distintas.

Entrenamiento interválico

El **entrenamiento interválico** es un método que destaca las adaptaciones bioenergéticas para una transferencia de energía más eficaz por las vías metabólicas usando intervalos de ejercicio predeterminados y períodos de descanso (**relación de trabajo y reposo**). Teóricamente, los intervalos de trabajo y reposo correctamente espaciados permiten realizar más trabajo con intensidades más altas de ejercicio con la misma o menos fatiga que durante un ejercicio continuo con la misma intensidad relativa. En un artículo reciente de Christensen (31), se comparó la distancia total corrida, el consumo medio de oxígeno y la concentración de lactato sanguíneo durante una carrera continua de 5 minutos y durante una carrera interválica de 30 minutos con una relación de trabajo y reposo de 2:1, 1:1 y 1:2. A los sujetos del estudio se les asignó una intensidad (velocidad) para la carrera continua que causó fatiga al cabo de 5 minutos. Con un ritmo más rápido durante la carrera continua, los sujetos lograron completar 1,30 km antes del agotamiento. Al aplicar la relación de trabajo y reposo de 2:1, 1:1 y 1:2 y la misma intensidad en carrera durante 30 minutos, los sujetos fueron capaces de completar 6,66 km, 5 km y 3,33 km, respectivamente, todo ello mientras se ejercitaba la capacidad aeróbica de forma similar a la de una carrera continuada. Así resulta posible prolongar el entrenamiento interválico a intensidad más elevada; este concepto lleva establecido más de 45 años (31).

En una serie de investigaciones, cuyo objeto de estudio fue el entrenamiento interválico a corto plazo (dos semanas), se usaron seis sesiones de cuatro a siete esfuerzos máximos en cicloergómetro con 4 minutos de recuperación (relación de trabajo y reposo 1:8). Estos estudios demostraron mejoras en el potencial oxidativo muscular (26, 63), en la capacidad de tamponamiento muscular (26, 63), en el contenido de glucógeno muscular (25, 26) y en el rendimiento en una prueba cronometrada (25), así como el

doble de la capacidad aeróbica de fondo (26). Además, un programa similar de entrenamiento interválico de cuatro semanas demostró incrementos en la activación muscular y en la producción total de trabajo (38) de ciclistas entrenados. Por tanto, incluso los resultados de estudios recientes respaldan el uso del entrenamiento interválico para obtener adaptaciones metabólicas.

Pocos estudios ofrecen resultados que sirvan para establecer unas pautas definitivas a la hora de elegir relaciones específicas de trabajo y reposo. Sin embargo, uno de esos estudios registró variables metabólicas aeróbicas y anaeróbicas, así como diferencias en el trabajo total y en la duración del ejercicio hasta el agotamiento entre dos relaciones diferentes de trabajo y reposo (117). Los ciclistas cumplieron dos protocolos de ejercicio intermitente que incluían una relación de trabajo y reposo de 40:20 segundos o 30:30 segundos hasta el agotamiento con una tasa fija de trabajo. La relación de trabajo y reposo de 40:20 segundos obtuvo una reducción significativa del trabajo total y del tiempo hasta el agotamiento, al tiempo que los valores metabólicos fueron más altos (n $\dot{V}O_2$máx, concentración de lactato, cadena de transmisión de electrones). En contraste, la relación de trabajo y reposo de 30:30 segundos aportó valores metabólicos constantes pero ligeramente más bajos en un período de tiempo considerablemente más largo. Otro estudio manipuló la variable del trabajo por medio de la intensidad y duración de las relaciones de trabajo y reposo. Wakefield y Glaister (152) describieron un período más largo por encima del 95% del n $\dot{V}O_2$máx al correr con una intensidad del 105% del n $\dot{V}O_2$máx, siendo la duración del trabajo 30 segundos en lugar de 20 y 25 segundos (descanso = segundos). Al determinar la relación correcta de trabajo y reposo para atletas, conocer los intervalos de tiempo, la intensidad del trabajo y los períodos de recuperación de cada uno de los sistemas de energía es fundamental para obtener el máximo trabajo con una intensidad de ejercicio dada. Por ejemplo, después de una tanda de ejercicio máximo que agote las reservas de CP, la resíntesis completa de CP puede costar hasta 8 minutos (75), lo cual sugiere que el ejercicio de alta intensidad y corta duración exige un mayor valor de relación entre trabajo y reposo debido a los mecanismos aeróbicos que reponen las reservas de fosfágeno (75).

Por el contrario, a medida que los objetivos del entrenamiento cambian a tareas de mayor duración y menor intensidad, la duración de los intervalos de trabajo puede ser mayor; esto alargará los períodos de descanso y hará que los valores de la relación entre trabajo y reposo sean menores. La tabla 3.6

presenta unas pautas generales para esas relaciones de trabajo y reposo concebidas para hacer hincapié en el desarrollo de sistemas de energía específicos basados en el curso temporal teórico para la intervención de los sistemas metabólicos y la recuperación de los sustratos. Sin embargo, se debe reparar en que se precisan más estudios de investigación para hacer recomendaciones basadas en pruebas para lograr relaciones óptimas de trabajo y reposo.

Entrenamiento con intervalos de alta intensidad

El **entrenamiento con intervalos de alta intensidad (HIIT)** consiste en repetir tandas cortas de ejercicio de alta intensidad con períodos intermitentes de recuperación. El trabajo interválico de alta intensidad suele incorporar modos de ejercicio basados en el pedaleo o en correr, y es un régimen de ejercicio eficaz para detectar adaptaciones cardiopulmonares (23), metabólicas y neuromusculares (24). De hecho, Buchheit y Laursen (23) afirmaron que el HIIT «se considera hoy en día una de las forma de ejercicio más eficaces para mejorar el rendimiento físico de los atletas». El entrenamiento con intervalos de alta intensidad se describe a menudo en términos de ciclos de trabajo que implican una fase de trabajo de alta intensidad, seguida por una fase de recuperación de intensidad más baja. Se ha sugerido que se pueden manipular nueve variables distintas del HIIT para conseguir la especificidad metabólica más exacta (23):

- Intensidad de la porción activa de cada ciclo de trabajo.
- Duración de la porción activa de cada ciclo activo.
- Intensidad de la porción de recuperación de cada ciclo activo.
- Duración de la porción de recuperación de cada ciclo activo.
- Número de ciclos activos practicados en cada serie.
- Número de series.
- Tiempo de descanso entre series.
- Intensidad del ejercicio entre series.
- Modo de ejercicio para el HIIT.

Buchheit y Laursen (24) señalan, sin embargo, que las intensidades y duraciones de los períodos de actividad y recuperación de cada ciclo activo son los factores más importantes. Para sacar el máximo partido de las adaptaciones de los deportistas al entrenamiento del HIIT, las sesiones de

HIIT deben mejorar todo lo posible el tiempo con el $\dot{V}O_2$máx o próximo a máximo. Más específicamente, la intensidad y duración acumuladas de los períodos activos de los ciclos deberían equivaler a varios minutos por encima del 90% del $\dot{V}O_2$máx (24).

Los beneficios del protocolo del HIIT diseñado para que se manifieste un porcentaje muy alto de $\dot{V}O_2$máx son principalmente el resultado del reclutamiento de unidades motoras grandes y un gasto cardíaco casi máximo (6). Por tanto, el HIIT ofrece un estímulo para la adaptación de las fibras musculares a la oxidación y la hipertrofia miocárdica. Otras adaptaciones adicionales al HIIT son incrementos del $\dot{V}O_2$máx, tamponamiento de protones, contenido de glucógeno, umbrales anaeróbicos, tiempo hasta el agotamiento y rendimiento en pruebas cronometradas. Por ejemplo, Gibala (63) describió mejoras equivalentes en la capacidad de tamponamiento muscular y en el contenido de glucógeno del HIIT al 250% del $\dot{V}O_2$pico durante 4 a 6 esprines en bicicleta de 30 segundos, comparados con el pedaleo constante durante 90 a 120 minutos al 65% del pico del consumo de oxígeno a lo largo de un total de seis sesiones de entrenamiento. Además, las pruebas cronometradas de ciclismo a 750 kJ disminuyeron un 10,1% y un 7,5% en el grupo de entrenamiento con HIIT y en el grupo de entrenamiento de fondo, respectivamente. Por tanto, el HIIT propició adaptaciones fisiológicas y en el rendimiento equivalentes a las de un entrenamiento de fondo, pero con un uso eficiente del tiempo.

TABLA 3.6 Aplicación del entrenamiento interválico para entrenar sistemas de energía específicos

Porcentaje de potencia máxima (%)	Principal sistema apurado	Duración típica del ejercicio	Amplitud de los períodos de la relación de trabajo y reposo
90-100	Fosfágeno	5-10 s	1:12 a 1:20
75-90	Glucólisis rápida	15-30 s	1:3 a 1:5
30-75	Glucólisis rápida y sistema oxidativo	1-3 min	1:3 a 1:4
20-30	Sistema oxidativo	>3 min	1:1 a 1:3

El especialista en fuerza y acondicionamiento físico debe tener en cuenta varios factores al diseñar un programa de HIIT. Por ejemplo, un corredor de 400 metros lisos necesitará un programa de HIIT que incluya más duración y más intensidades anaeróbicas que un corredor de 3.000 metros lisos. Otras consideraciones para lograr las adaptaciones deseadas al entrenamiento son la

periodización, similar a la del entrenamiento resistido, y el número de sesiones de ejercicio por día y semana. La periodización posibilita el desarrollo general de los sistemas aeróbico y anaeróbico durante la pretemporada con una transición a las sesiones de HIIT para el deporte específico durante la temporada competitiva. Además, las sesiones de HIIT junto con otras sesiones de entrenamiento (prácticas en equipo) quizá generen más esfuerzo físico y riesgo de lesiones como resultado del sobreentrenamiento. Por tanto, hay que tener todo esto en consideración al determinar el número adecuado de sesiones de HIIT cuando se desarrollen al mismo tiempo otras actividades deportivas.

Entrenamiento de combinación

Algunos autores sugieren que el entrenamiento aeróbico de fondo debería forma parte del entrenamiento de los atletas que practican modalidades anaeróbicas (proceso denominado **entrenamiento de combinación** o *entrenamiento alternativo*) para mejorar la recuperación tras un esfuerzo, pues se postula que la recuperación depende sobre todo de los mecanismos aeróbicos. Varios estudios han demostrado que la recuperación de la producción de potencia está relacionada con la capacidad de fondo (14, 15, 74). Bogdanis (14) mencionó relaciones en la recuperación de la potencia durante los primeros 10 segundos de un esprín ciclista, la resíntesis de fosfocreatina y la capacidad de fondo ($\dot{V}O_2$máx). Sin embargo, el entrenamiento aeróbico de fondo tal vez reduzca el rendimiento anaeróbico, sobre todo el rendimiento de mucha fuerza y potencia (80). El entrenamiento aeróbico de fondo ha demostrado reducir la capacidad de producción anaeróbica de fuerza en ratas (151). Además, el entrenamiento combinado aeróbico y anaeróbico de fondo reduce el aumento del perímetro del músculo (36, 126), la fuerza máxima (36, 76, 126) y el rendimiento de velocidad y potencia (44, 73).

Aunque se desconozca el mecanismo exacto de este fenómeno, se ha sugerido que el entrenamiento de combinación tal vez aumente el volumen de ejercicio hasta el punto del sobreentrenamiento en comparación con el entrenamiento aeróbico o anaeróbico solo. Hickson (82) aportó pruebas de que el entrenamiento de combinación que contiene carreras progresivas de fondo a pie y ciclistas, así como entrenamiento resistido, puede producir un efecto meseta y, en último término, un declive de la fuerza. En concreto se

documentó que el entrenamiento con grandes cargas combinado con un programa de fondo conseguía mejoras significativas en la fuerza para sentadillas durante las primeras siete semanas del programa, seguido por una meseta (dos semanas) y luego una disminución de la fuerza para sentadillas durante las dos semanas restantes del programa. Los resultados prueban que los límites superiores de la fuerza pueden ser inhibidos con un entrenamiento progresivo de fondo como el atletismo y el ciclismo. Otros mecanismos que se ha sugerido que dificultan el desarrollo de la fuerza en combinación con el entrenamiento de fondo son: (*a*) disminución de la activación voluntaria rápida; (*b*) niveles de glucógeno muscular crónicamente bajos que limitan las respuestas de transmisión intracelular de señales durante el entrenamiento resistido, y (*c*) transición a fibras de contracción lenta (112).

Por otra parte, algunos estudios y revistas aseguran que lo cierto es lo contrario; sugieren que el entrenamiento anaeróbico (de la fuerza) mejora la capacidad del entrenamiento aeróbico de fondo en ejercicios de baja y alta intensidad (54, 81, 82, 134). Sedano (134) describió mejoras en el rendimiento de corredores muy entrenados con un entrenamiento conjunto de fondo, resistido y pliométrico. No hubo reducción del $\dot{V}O_2$máx durante las doce semanas en los corredores que se sometieron a un entrenamiento resistido y pliométrico. Además, el entrenamiento de combinación mejoró mediciones del rendimiento como la fuerza máxima, el pico de velocidad en carrera y en la prueba cronometrada de 3 km en comparación con los que siguieron solo un entrenamiento de fondo. Por tanto, parece que en el caso de corredores muy entrenados el entrenamiento de la fuerza mejora el rendimiento sin afectar negativamente a los parámetros metabólicos ($\dot{V}O_2$máx).

Aunque el metabolismo oxidativo es importante para el aumento posejercicio del VO_2, para la remoción de lactato y la recuperación de fosfocreatina tras un ejercicio anaeróbico intenso (p. ej., entrenamiento resistido y entrenamiento con esprines) (133), hay que adoptar precauciones al prescribir entrenamiento aeróbico de fondo para deportes anaeróbicos. En este contexto hay que reparar en que el entrenamiento anaeróbico específico estimula el incremento de la potencia y mejora los indicadores de la recuperación fisiológica (54). Por tanto, parece ser que no es necesario un extenso entrenamiento aeróbico de fondo para mejorar la recuperación de pruebas anaeróbicas, y tal vez sea contraproducente en la mayoría de los deportes de fuerza y potencia.

Conclusión

Es posible diseñar programas de entrenamiento de mayor productividad conociendo a fondo el modo en que se produce energía durante los distintos tipos de ejercicio y cómo se puede modificar esa producción mediante regímenes de entrenamiento específico. Qué sistema se emplee para aportar energía para la contracción muscular dependerá sobre todo de la intensidad del ejercicio y luego de su duración. Las respuestas metabólicas y las adaptaciones al entrenamiento en gran medida están reguladas por las características del ejercicio (p. ej., la intensidad, la duración y los intervalos de recuperación). El modo en que se producen esas respuestas y adaptaciones después de la actividad física constituye la base de la especificidad metabólica del ejercicio y el entrenamiento. Este principio permite conseguir una mejora del rendimiento físico a través del cumplimiento de programas de entrenamiento mejorados.

TÉRMINOS CLAVE

ácido láctico
acidosis metabólica
activación alostérica
adenosín trifosfatasa (ATPasa)
aeróbico
aminoácido de cadera ramificada
anabolismo
anaeróbico
betaoxidación
bioenergética
bomba de sodio-potasio (Na^+/K^+-ATPasa)
cadena de transporte de electrones (CTE)
calcio ATPasa
catabolismo
ciclo
  de Cori
  de Krebs
citocromo
comienzo de la acumulación de

lactato en sangre (OBLA)
consumo
  de oxígeno
  excesivo de oxígeno posejercicio (EPOC)
creatincinasa
déficit de oxígeno
depleción
deuda de oxígeno
difosfato de adenosina (ADP)
efecto de la acción de masas
energía
entrenamiento
  con intervalos de alta intensidad (HIIT)
  de combinación
  interválico
especificidad metabólica
flavín adenín dinucleótido ($FADH_2$)
fosfato inorgánico
fosfocreatina (CP)
fosfofructocinasa (PFK)
fosforilación
  a nivel del sustrato
  oxidativa
glucólisis
  aeróbica
  anaeróbica
  lenta
  rápida
glucolítico
gluconeogénesis
hidrólisis
inhibición alostérica
lactato
ley de acción de masas
metabolismo
miosina ATPasa
mitocondria

monofosfato de adenosina (AMP)
nicotinamida adenina dinucleótido reducida (NADH)
paso limitante
piruvato
reacción
  de la adelinatocinasa
  de la miocinasa
  endergónica
  exergónica
reacciones en cuasi-equilibrio
relación de trabajo y reposo
repleción
sistema
  del fosfágeno
  oxidativo
sustrato de energía
tejido muscular fresco
trifosfato de adenosina (ATP)
umbral de lactato (UL)

PREGUNTAS DE REPASO

(respuestas en la página 657)

1. ¿Cuál de las siguientes sustancias se metaboliza anaeróbicamente?
   a. Glicerol.
   b. Glucosa.
   c. Aminoácidos.
   d. Ácidos grasos libres.

2. ¿Cuál de las siguientes reacciones es la principal causa de la acidosis metabólica (es decir, del descenso del pH intramuscular durante un ejercicio agotador de alta intensidad)?
   a. $ATP \rightarrow ADP + P_i + H^+$
   b. $Piruvato + NADH \rightarrow lactato + NAD^+$
   c. $ADP + fosfocreatina \rightarrow ATP + creatina$
   d. $Fructosa\text{-}6\text{-}fosfato \rightarrow fructosa\text{-}1,6\text{-}bifosfato$

3. ¿Cuál de los siguientes sistemas de energía produce ATP con un ritmo más rápido?
   a. Fosfágeno.
   b. Glucólisis aeróbica.
   c. Oxidación de grasas.
   d. Glucólisis rápida.

4. ¿Aproximadamente cuánto ATP neto se produce mediante el sistema oxidativo de energía a partir de una molécula de glucosa?
   a. 27.
   b. 34.
   c. 38.
   d. 41.

5. ¿Cuál de los siguientes sustratos de energía no se puede agotar durante un ejercicio de intensidad y duración extremas?
   a. Fosfocreatina.
   b. Glucógeno.
   c. Agua.
   d. ATP.

CAPÍTULO 4

Respuestas endocrinas al ejercicio resistido

William J. Kraemer, Jakob L. Vingren y Barry A. Spiering

A la conclusión del capítulo, el lector:

- Expondrá los conceptos básicos de endocrinología, como qué hormonas interactúan y cómo lo hacen entre sí y con los tejidos de destino.
- Explicará los diversos papeles fisiológicos de las hormonas anabólicas.
- Describirá las respuestas hormonales al ejercicio resistido.
- Desarrollará programas de entrenamiento en los que se refleje el conocimiento de las respuestas endocrinas del ser humano.

El sistema endocrino garantiza la normalidad de la función homeóstatica del cuerpo y le ayuda a responder a los estímulos externos. Forma parte de un complejo sistema de transmisión del cuerpo humano cuya misión es efectuar cambios, cumplir las exigencias y respaldar la recuperación del ejercicio. La importancia del sistema endocrino en el campo de la fuerza y el acondicionamiento físico se refleja en el papel crítico que este sistema desempeñó en el desarrollo teórico de la periodización del entrenamiento (43). Sin saberlo, Hans Selye, endocrinólogo canadiense, aportó la base teórica de la periodización con un estudio de la glándula suprarrenal y el papel de las hormonas de la tensión en la adaptación al estrés, las molestias y las enfermedades.

Médicos y científicos del deporte del antiguo bloque soviético hallaron similitudes entre el patrón de respuestas al entrenamiento en atletas y los patrones de estrés observados por Selye. Hans Selye acuñó el término **síndrome general de adaptación** para referirse al modo en que la glándula suprarrenal respondía a estímulos nocivos (o *estresores*) (164, 165). Esta

respuesta comienza con una reacción de alarma inicial y una reducción de la función, si bien le sigue un aumento de la resistencia al estrés por encima de la función basal previa. Este incremento de la resistencia al esfuerzo se denomina *adaptación*; cuando el factor estresante es el ejercicio, recibe el nombre de *adaptación al entrenamiento*. La clave para una adaptación al esfuerzo beneficiosa y continua es la supresión a tiempo del estímulo (p. ej., el ejercicio), que la función se pueda recuperar y luego reaplicar ese estrés a menudo incrementado (sobrecarga progresiva).

Para los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico es importante contar con un conocimiento básico de las respuestas hormonales al ejercicio resistido. Las señales hormonales desempeñan papeles en distintos mecanismos, desde anabólicos (construcción) hasta permisivos y catabólicos (destrucción). Es importante entender que los cambios en las respuestas de la circulación sanguínea no son más que un cambio tangible que generan algunos programas de entrenamiento resistido ante los retos metabólicos. También se aprecian respuestas metabólicas con programas intensos que provocan una regulación al alza de los receptores androgénicos para usar las hormonas anabólicas disponibles sin cambios en las concentraciones sanguíneas (p. ej., dos o tres series con una repetición de máxima intensidad [1RM] y de 5 a 7 minutos de descanso entre series); si bien las señales endocrinas participan en la transmisión, los cambios en las concentraciones en la sangre circulante son mucho más sutiles y se tienen que observar al nivel del receptor. La adquisición de ese conocimiento sobre el modo en que el sistema endocrino interactúa con el ejercicio prescrito permite a los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico comprender mejorar los detalles sobre cómo las hormonas ayudan a mediar en las adaptaciones óptimas al entrenamiento resistido (93, 96). Aunque el entrenamiento resistido sea el único estímulo natural que provoca incrementos acusados en la masa de tejido muscular magro (hipertrofia muscular), existen diferencias significativas en la capacidad de los programas de entrenamiento resistido para producir incrementos en el tamaño del músculo y el tejido conjuntivo (44, 128, 189). La selección de las variables puntuales (intensidad, series, orden del ejercicio, duración de los períodos de descanso y selección de ejercicios) para una sesión de ejercicio resistido dicta en gran parte la apariencia y magnitud de las respuestas hormonales (105, 113-115, 117, 166, 169, 189). En las adaptaciones tisulares influyen los cambios que se producen en las concentraciones de las hormonas en la sangre

circulante después del ejercicio (10, 12, 14, 47, 62, 98, 171); la manipulación natural del sistema endocrino mediante una correcta selección de las variables agudas de un programa potenciará el desarrollo de los tejidos y mejorará el rendimiento (78, 158). Por tanto, entender esta actividad anabólica natural del cuerpo del atleta, durante y después del ejercicio, es fundamental para tener éxito en la recuperación, adaptación, diseño de programas, progresión del entrenamiento y, por último, el rendimiento deportivo (42-44, 93, 94, 101, 103).

Síntesis, almacenamiento y secreción de hormonas

Las **hormonas** son mensajeros químicos o moléculas transmisoras que se sintetizan, almacenan y se liberan a la sangre por las **glándulas endocrinas** —estructuras especializadas en esta función— y otras células en particular (figura 4.1, tabla 4.1). De forma similar, las neuronas sintetizan, almacenan y secretan neurotransmisores, que tal vez desempeñen también funciones hormonales. El término relativamente nuevo **neuroendocrinología** alude al estudio de las interacciones entre el sistema nervioso y el sistema endocrino. Es habitual que se estimulen las glándulas endocrinas para que liberen hormonas mediante una señal química que captan los receptores de la glándula o mediante estimulación neuronal directa. Por ejemplo, la médula suprarrenal (la porción interna de la glándula suprarrenal) libera la hormona adrenalina al recibir estimulación neuronal del cerebro (91, 104, 112, 182). La corteza suprarrenal (la porción externa de la glándula suprarrenal) sintetiza y secreta la hormona cortisol al ser estimulada por otra hormona, la hormona adrenocorticotropa, procedente de la hipófisis (110, 111, 116). Tras la estimulación, las glándulas endocrinas liberan hormonas en la sangre, que transporta esas hormonas (y, por tanto, la señal) a sus receptores específicos, localizados en la superficie (hormonas péptidas) o en el citosol (**hormonas esteroideas** y **hormonas tiroideas**) de las **células de los tejidos de destino** (6-8, 11, 37, 61).

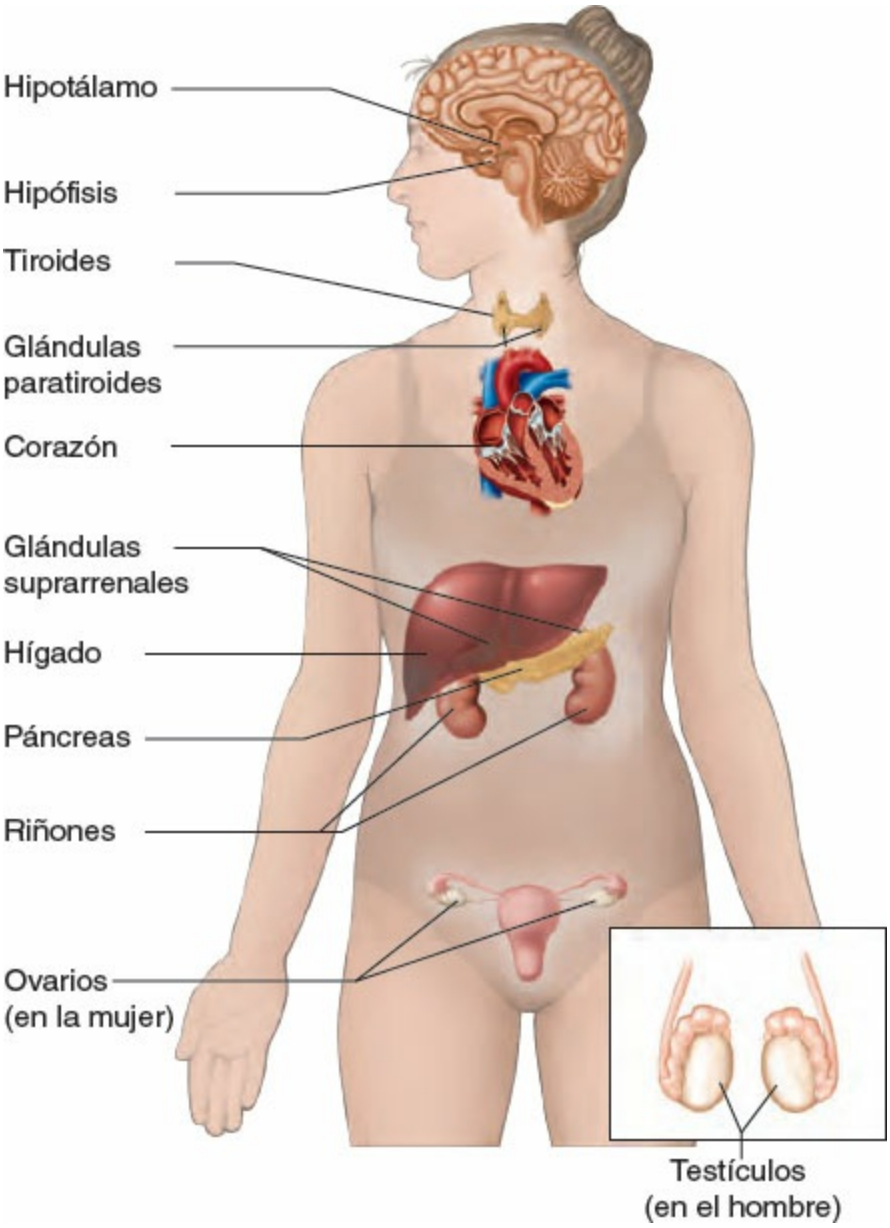


FIGURA 4.1 Principales glándulas endocrinas del cuerpo junto con otras glándulas que secretan hormonas.

TABLA 4.1 Glándulas endocrinas y hormonas escogidas

Glándula endocrina	Hormona	Acciones fisiológicas (selección)
	Hormona(s) del crecimiento	Estimula la secreción hepática del factor de crecimiento insulinoide tipo I, la síntesis de proteínas, el crecimiento y el metabolismo; otros agregados de la hormona del crecimiento (GH) también tienen una función biológica y constituyen la superfamilia de la GH

Adenohipófisis	Hormona adrenocorticotropa	Estimula la secreción de glucocorticoides de la corteza suprarrenal
	Beta-endorfina	Estimula la analgesia
	Hormona tiroestimulante	Estimula la secreción de la hormona tiroidea del tiroides
	Hormona folicular	Estimula el crecimiento de los folículos en los ovarios y los túbulos seminíeros en los testículos; estimula la producción de ovulos y esperma
	Hormona luteinizante	Estimula la ovulación asf como la secreción de las hormonas sexuales en las gónadas (ovarios y testículos)
	Prolactina	Estimula la producción de leche en las glándulas mamarias; mantiene los cuerpos lúteos y la secreción de progesterona
Neurohipófisis	Hormona antidiurética	Aumenta la contracción del músculo liso y la reabsorción de agua por los riñones
	Oxitocina	Estimula las contracciones uterinas y la secreción de leche por las glándulas mamarias
Tiroides	Tiroxina	Estimula el metabolismo oxidativo en las mitocondrias y también el crecimiento celular
	Calcitonina	Reduce los niveles de fosfato cálcico en la sangre
Glándulas paratiroides	Paratormona	Aumenta la cantidad de calcio en la sangre; disminuye la cantidad de fosfato en la sangre; estimula la formación de hueso
Páncreas	Insulina	Reduce las concentraciones de glucosa sanguícea promocionando la captación de glucosa por las células; favorece el almacenamiento de glucógeno; suprime la oxidación de grasas y la gluconeogénesis; interviene en la síntesis de proteínas
	Glucagón	Aumenta los niveles de glucosa en la sangre
Corteza suprarrenal	Glucocorticoides (cortisol, cortisona, etc.)	Catabólica y antianabólica: favorece la degradación de proteínas e inhibe la incorporación de aminoácidos a las proteínas; conserva las concentraciones de glucosa en la sangre mediante la estimulación de la conversión de proteínas en hidratos de carbono (gluconeogénesis); suprime la función inmunitaria celular; favorece la oxidación de grasas
	Mineralocorticoides (aldosterona,	Aumenta la retención de líquidos corporales por

	desoxicorticosterona, etc.)	medio de la bomba de sodio-potasio
Hígado	Factores de crecimiento insulinoides	Aumenta la síntesis de proteínas en las células
Médula suprarrenal	Adrenalina	Aumenta el gasto cardíaco; eleva la glucemia, la degradación del glucógeno y el metabolismo de las grasas
	Noradrenalina	Tiene propiedades de la adrenalina; también contrae los vasos sanguíneos
	Fragmentos de proencefalina (p. ej., péptido F)	Mejora la función inmunitaria celular; tiene efectos analgésicos
Ovarios	Estradiol	Estimula el desarrollo de las características sexuales femeninas
	Progesterona	Estimula el desarrollo de las características sexuales femeninas y de las glándulas mamarias; mantiene el embarazo
Testículos	Testosterona	Anabólica y anticatabólica. Estimula la incorporación de aminoácidos a las proteínas e inhibe la degradación de proteínas; estimula el crecimiento, asf como el desarrollo y mantenimiento de las características sexuales masculinas
Corazón (aurícula)	Péptido natriurético auricular	Regula el sodio, el potasio y el volumen de líquido
Riñón	Renina	Regula la función renal, permeabilidad, solubilidad

Además de la función endocrina mediante la liberación de hormonas a la circulación sanguínea, también se secretan hormonas para que actúen mediante los mecanismos intracrino, autocrino y paracrino. La secreción intracrina y paracrina de una hormona supone que la célula libera la hormona para que actúe sobre sí misma, uniéndose a los receptores intracelulares y de membrana, respectivamente. Tal vez sea estimulada para hacerlo mediante un estímulo externo (p. ej., otra hormona), si bien la hormona secretada nunca llega a circular por la sangre. Por ejemplo, el factor de crecimiento insulinoide tipo I (IGF-I) se produce dentro de la fibra muscular cuando la estimula la producción de fuerza mecánica o por las interacciones de la(s) hormona(s) de crecimiento con las células musculares. La secreción paracrina

de las hormonas implica la liberación de una hormona que interactúa con células adyacentes, sin llegar a circular por la sangre. Estos mecanismos muestran los múltiples cometidos que desempeñan las hormonas en sus interacciones con las células.

En la sangre hay presentes varias proteínas transportadoras de hormonas (6, 8). Estas diversas proteínas transportadoras cumplen la misión de trasladar hormonas péptidas y hormonas esteroideas. En cierto sentido, estas proteínas transportadoras actúan como puntos de almacenamiento dentro de la circulación, luchan contra la degradación de las hormonas y amplían su semivida. La mayoría de las hormonas no se activan a menos que se separen (o liberen) de sus proteínas transportadoras específicas. No obstante, algunas proteínas transportadoras también desempeñan acciones biológicas. Por ejemplo, la globulina transportadora de hormonas sexuales (SHBG), la proteína transportadora de testosterona y estrógenos, se une a receptores de membrana específicos e inicia la activación de una vía dependiente de adenosín monofosfato cíclico (AMPc) (50). Por tanto, las proteínas transportadoras, tanto si están circulando por la sangre como si están unidas a un receptor celular, son los principales actores de la función y regulación endocrinas. Las interacciones de las hormonas unidas a receptores están empezando a tenerse en cuenta en el campo de la endocrinología, y estudios recientes sugieren la existencia de una regulación incluso más compleja de hormonas y tejidos de destino (135).

Muchas hormonas afectan múltiples tejidos del cuerpo (1, 3, 82, 84-86). Por ejemplo, la testosterona o uno de sus derivados interactúan con casi todos los tejidos del cuerpo. En este capítulo nos centramos en el tejido del músculo esquelético como objetivo principal de las interacciones hormonales; sin embargo, muchos otros tejidos, como el hueso, el tejido conjuntivo, los riñones y el hígado, son tan importantes para los cambios de adaptación que se observan con el entrenamiento resistido. Hay que recordar que toda la cascada de procesos fisiológicos, como la transmisión hormonal, es resultado de la activación de unidades motoras para generar movimiento (es decir, principio del tamaño). Las exigencias y magnitud de cualquier respuesta fisiológica están relacionadas con esta necesidad creada por las unidades motoras activadas. La proporción de tejido muscular activado por el ejercicio dicta qué sistema fisiológico se necesita y de qué manera participa para cubrir las exigencias homeóstaticas de la producción de fuerza/ potencia durante el ejercicio, así como las exigencias de la recuperación. Por ejemplo,

la frecuencia cardíaca será mucho más alta para ejecutar tres series de diez repeticiones de sentadillas al 80% de 1RM con dos minutos de descanso entre series, que para ejecutar el mismo protocolo pero de flexiones de bíceps. Aunque participen sistemas similares en ambos casos, existen diferencias en el protocolo de ejercicio basadas en la proporción de masa muscular implicada. Los sistemas hormonales también intervienen con otros tejidos y glándulas sometidos a las exigencias de una sesión particular de ejercicio, aunque, una vez más, las necesidades también están dictadas por las exigencias específicas del reclutamiento neuronal y su participación para mantener el movimiento. Por tanto, una sesión de cinco series de 5RM plantea exigencias distintas a las de una serie de 25RM por lo que respecta a la activación de unidades y sus necesidades para el soporte fisiológico y la recuperación.

La mayoría de las hormonas cumplen múltiples funciones fisiológicas, como la regulación de la reproducción; el mantenimiento del medio interno (homeostasis); la producción, utilización y almacenamiento de energía, y el crecimiento y desarrollo del cuerpo. Además, las hormonas interactúan entre sí de modos muy complejos. Una hormona en concreto puede funcionar de manera dependiente o independiente, según cuál sea su papel en un mecanismo fisiológico. Tal complejidad y flexibilidad permiten al sistema endocrino responder con la magnitud adecuada a los retos fisiológicos e interactuar al mismo tiempo y de manera diferente con los distintos sistemas fisiológicos o tejidos.

El músculo como destino de las interacciones de las hormonas

Los mecanismos hormonales forman parte de un sistema de transmisión integrado que media en los cambios de los procesos metabólicos y celulares del músculo como resultado del ejercicio resistido y el entrenamiento. La remodelación del músculo implica disrupción y daños en las fibras musculares, una respuesta inflamatoria, la degradación de las proteínas dañadas, las interacciones de hormonas y otras señales (p. ej., factores de crecimiento, citocinas) y, por último, la síntesis de nuevas proteínas y su incorporación ordenada en los sarcómeros nuevos o ya existentes (2, 20). El proceso inflamatorio comprende el sistema inmunitario y varias células inmunitarias (p. ej., células T y B), sobre las que actúa el sistema endocrino

(51). El estudio de la conexión entre los sistemas neuronal, endocrino e inmunitario recibe el nombre de **inmunología neuroendocrina**. Este término manifiesta la interdependencia de estos sistemas y la naturaleza integradora del proceso de remodelación del músculo. No podemos limitarnos a pensar únicamente en los procesos biológicos de un sistema.

Las hormonas están muy implicadas en los mecanismos de síntesis y degradación de proteínas que forman parte de las adaptaciones musculares al ejercicio resistido. La producción de proteínas contráctiles —actina y miosina —, además de proteínas estructurales (p. ej., desmina y titina), y, por último, la incorporación de todas estas proteínas al sarcómero completan el proceso a nivel molecular. Multitud de hormonas —también las **hormonas anabólicas** (que favorecen el desarrollo tisular) como la insulina, los factores de crecimiento insulinoides (IGF), la testosterona y la hormona del crecimiento — contribuyen en diversos aspectos de este proceso. Las hormonas tiroideas son importantes hormonas permisivas que posibilitan las acciones de otras hormonas. Otra acción importante para el desarrollo tisular es que las hormonas anabólicas también bloquean los efectos negativos que sobre el metabolismo de las proteínas tienen las **hormonas catabólicas**, como el cortisol y la progesterona, que pueden degradar proteínas celulares. Los efectos negativos del cortisol sobre el músculo esquelético también se aprecian en sus roles de inactivar las células inmunitarias y bloquear otras vías de transmisión como la diana de la rapamicina en células de mamíferos (TORm), la cual participa en el inicio de la transcripción del ARNm. La interrelación de hormonas, fibras musculares y los cambios posteriores en las capacidades funcionales de las fibras musculares proporcionan la base de la adaptación de las hormonas para la hipertrofia. Sin embargo, el efecto de las hormonas solo representa uno de los posibles mecanismos de adaptación del músculo esquelético al entrenamiento resistido.

Papel de los receptores de hormonas en la mediación de los cambios hormonales

La señal de una hormona (y, por lo tanto, su efecto biológico) se transmite solo a células que expresan el receptor de esa hormona específica. Esto garantiza que la señal hormonal influya solo en el tejido de destino y no en todas las células del cuerpo. Por lo general, las hormonas intentan influir en el metabolismo celular o en la transcripción del ADN en el núcleo

(recordemos que las células musculares son multinucleadas). Como son muchas las hormonas que no pueden cruzar la membrana celular, su señal se transmite a través de la célula mediante mensajeros secundarios (a menudo con una cascada de reacciones que al final interactúan y median la señal a la maquinaria del ADN en los múltiples núcleos de la célula muscular o en el único núcleo de muchas otras células). Por lo general, los receptores están integrados en la membrana celular (receptores de la hormona polipeptídica) o en el citosol (receptores de las hormonas esteroideas y tiroideas). Todas las células, desde las fibras musculares hasta las células inmunitarias y las neuronas, cuentan con receptores que median en los mensajes o señales de las hormonas. Uno de los principios básicos de la endocrinología es que toda hormona interactúa con un receptor específico. Este principio se denomina **teoría de la llave y la cerradura** (41) (donde el receptor es la cerradura y la hormona es la llave; figura 4.2); sin embargo, se sabe que la interacción de receptores y hormonas es mucho más compleja que lo que implica esta simple teoría. Aunque solo una hormona tenga las características exactas para unirse y transmitir totalmente una señal por medio de un receptor específico, en casos de **reactividad cruzada** un receptor dado interactúa parcialmente con otras hormonas (unión alostérica o bloqueo del principal punto de unión). De forma similar, los receptores pueden tener **puntos de unión alostérica** en donde otras sustancias aparte de las hormonas mejoran o reducen la respuesta celular a la hormona principal. Por último, algunas hormonas necesitan estar en una forma agregada (unión de varias hormonas) para producir la señal óptima a través del receptor; se cree que es el caso de la hormona del crecimiento, en la cual las moléculas de alto peso molecular no tienen un punto de unión inmunitaria, pero se unen con receptores activos en los resultados del bioanálisis tibial (65).

Cuando la adaptación ya no es posible (p. ej., se ha integrado la cantidad máxima de proteínas en la fibra muscular) (54) o se ha producido «sobreestimulación» por una hormona (p. ej., resistencia a la insulina), los receptores se vuelven menos sensibles o incluso insensibles a una hormona específica, evitando que estimule nuevas acciones en la célula. Esta incapacidad de una hormona para interactuar con un receptor se denomina **regulación decreciente** de la función de los receptores. Los receptores tienen la capacidad de aumentar o disminuir su sensibilidad de transmisión, y también es posible alterar el número de receptores presentes para la unión. Las alteraciones de las características de unión del receptor o del número de

receptores impulsan una adaptación tan profunda como una mayor liberación de la hormona de una glándula endocrina. Obviamente, si un receptor no es sensible a la hormona, poca o ninguna alteración habrá en el metabolismo celular causada por dicha hormona. Por ejemplo, se ha demostrado en el caso de la testosterona que el entrenamiento influye solo en el número máximo de receptores y no en la sensibilidad de transmisión del receptor (31). Los científicos acaban de empezar a estudiar y comprender el papel que los cambios en los receptores desempeñan en las adaptaciones musculares al ejercicio.

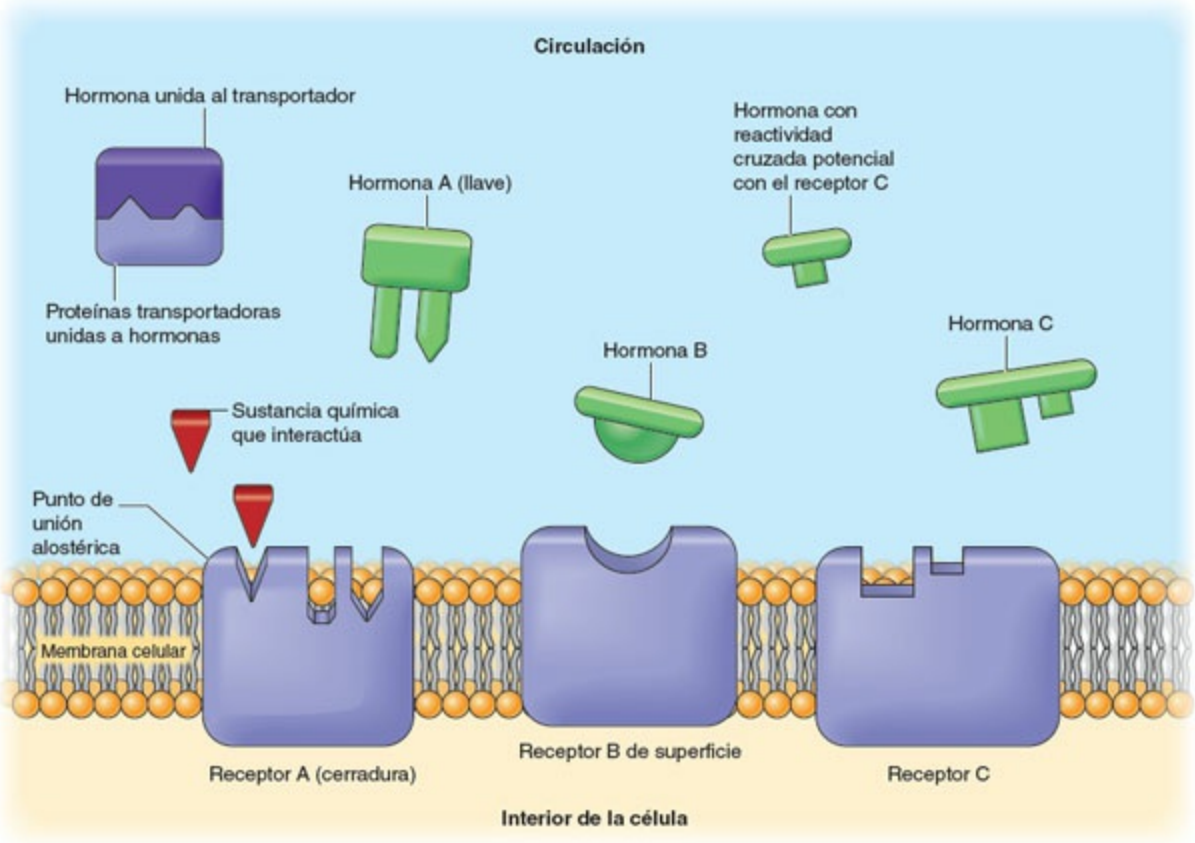


FIGURA 4.2 Representación esquemática de la teoría clásica de la llave y la cerradura para describir la acción de las hormonas a nivel de los receptores celulares.

Categorías de hormonas

En lo referente a la estructura molecular, hay tres categorías principales de hormonas: esteroideas, polipeptídicas (o sencillamente peptídicas) y amínicas. Cada categoría de hormonas interactúa de distintas formas con las células musculares. En este capítulo nos centraremos sobre todo en las

primeras dos categorías, así como en las hormonas amínicas más destacadas e implicadas en el ejercicio: las catecolaminas.

Interacciones de las hormonas esteroideas

Las hormonas esteroideas, entre las que se encuentran las hormonas de la corteza suprarrenal (p. ej., cortisol) y las gónadas (p. ej., testosterona y estradiol) son liposolubles y atraviesan la membrana celular por difusión simple, aunque se han descrito otros posibles mecanismos de transporte. La serie de acontecimientos que terminan en el efecto biológico es la misma para cualquier hormona esteroidea. Después de su difusión a lo largo del sarcolema, la hormona se une con su receptor para formar el **complejo receptor de hormonas (H-RC)**, lo que provoca un cambio estructural en el receptor y lo activa. A continuación, el H-RC se une a otro H-RC y se desplaza al núcleo, en donde llega al ADN. El H-RC «desenrolla» la doble hélice del ADN para exponer unidades de transcripción que codifican la síntesis de proteínas específicas. El H-RC reconoce potenciadores específicos, o elementos reguladores proximales del gen específico promovidos por la hormona dada, y entonces se transcribe esa porción específica del ADN. El ARN mensajero (ARNm) resultante se adentra en el sarcoplasma de la célula, donde el ribosoma transfiere la proteína específica promovida por la hormona esteroidea. La figura 4.3 muestra una hormona esteroidea típica (testosterona) migrando a la célula. Con su interacción a nivel genético de la célula se completa la acción de la hormona esteroidea (31, 155). No obstante, el hecho de que el ARNm se produzca por una proteína específica (p. ej., actina) no significa necesariamente que esa proteína se produzca por el ribosoma y se incorpore al sacómero. El mensaje hormonal para producir un ARNm específico solo es la primera parte de todo el proceso de la síntesis de proteínas.

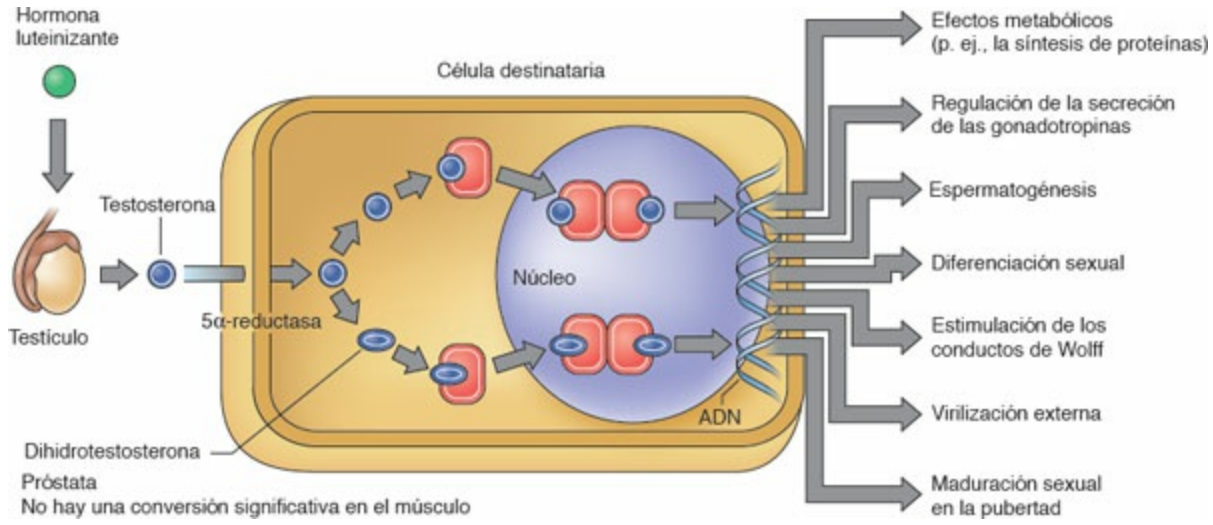


FIGURA 4.3 Típica migración de esteroides al interior de una célula destinataria, mediante testosterona en el caso del músculo esquelético o mediante dihidrotestosterona en los tejidos asociados a la función sexual. Aunque una célula únicamente adopta una vía hormonal (la testosterona o la dihidrotestosterona), en este diagrama se representan las dos. Cada una tiene distintos efectos fisiológicos.

Interacciones de las hormonas polipeptídicas

Las **hormonas polipeptídicas** se componen de varias cadenas de aminoácidos; son ejemplos la hormona del crecimiento y la insulina. Como las hormonas polipeptídicas no son liposolubles y, por tanto, no atraviesan la membrana celular, se activan los **mensajeros secundarios** dentro de la célula mediante el cambio estructural del receptor inducido por la unión de la hormona. De este modo, los receptores de membrana transmiten la señal hormonal al interior de la célula, donde se propaga mediante una cascada de señales de transmisión intracelular. En general, las cascadas de señales iniciadas por las hormonas polipeptídicas afectan los procesos metabólicos, la transcripción de ADN o el inicio de la transferencia de RNAm en el ribosoma. Por ejemplo, una de las señales de la insulina induce una translocación de transportadores específicos de glucosa (GLUT4) del citosol a la membrana celular, y permite un incremento del consumo de glucosa (69). La figura 4.4 muestra una típica interacción de las hormonas polipeptídicas con el núcleo celular mediante la transmisión de cinasas Janus (JAK) activadas por citocinas/transductores de señales y activadores de la transcripción (STAT). La vía JAK/STAT se usa en muy distintas interacciones con diversas hormonas y sigue siendo objeto de estudio en la actualidad (21).

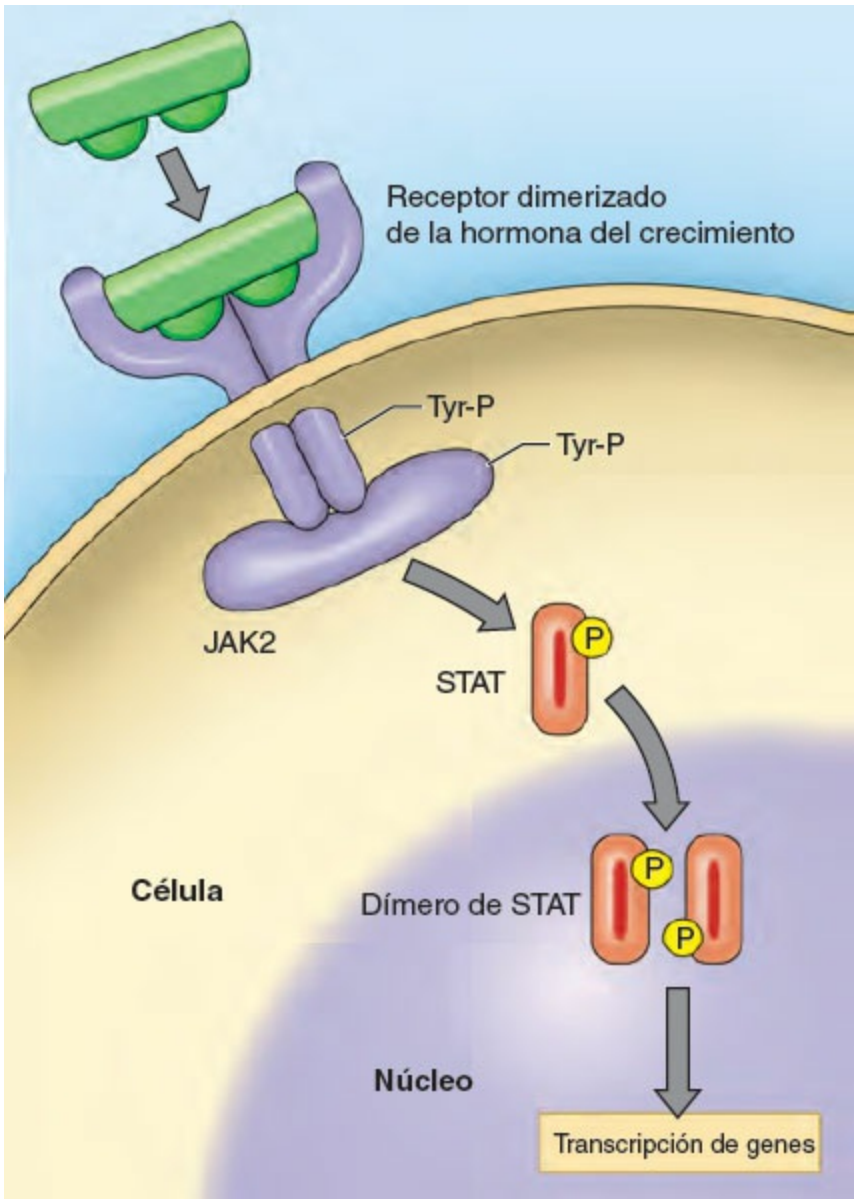


FIGURA 4.4 Interacción característica de una hormona polipeptídica (la hormona del crecimiento, en este ejemplo) con un receptor mediante la transmisión de JAK activadas por citocinas/STAT. Aunque la hormona se une a un receptor externo, se activa un mensajero secundario (STAT) que puede entrar en el núcleo celular. Tyr-P = proteína relacionada con tirosinasa.

Interacciones de las hormonas amínicas

Las hormonas amínicas se sintetizan a partir del aminoácido tirosina (p. ej., adrenalina, noradrenalina y dopamina) o triptófano (p. ej., serotonina). Al igual que las hormonas peptídicas, se unen a receptores de membrana y actúan mediante mensajeros secundarios. Sin embargo, al contrario que las

hormonas peptídicas, las hormonas amínicas no están reguladas directamente por retroalimentación negativa.

Ejercicio resistido con grandes cargas e incremento de la secreción de hormonas

El entrenamiento resistido, continuo, intenso y a largo plazo (de meses a años) consigue respuestas de adaptación significativas que mejoran el tamaño, fuerza y potencia de la musculatura ejercitada (71, 72, 92, 93, 102, 108, 119). El aumento de la concentración de hormonas anabólicas como consecuencia del ejercicio resistido con grandes cargas es una señal que intensifica las interacciones hormonales con diversos tejidos de destino, como el músculo esquelético. Al ser estimulada una unidad motora por la corteza motora, se envían diversas señales (eléctricas, químicas y hormonales) procedentes del cerebro y los músculos activos a cierto número de glándulas endocrinas. Un concepto clave es que los sistemas fisiológicos, entre otros el sistema endocrino, son sensibles a las necesidades del músculo activo y, por tanto, el tipo de protocolo de ejercicios determinará el grado de implicación de un sistema concreto.

Las hormonas se secretan antes (respuesta anticipatoria), durante y después de la tanda de ejercicio resistido debido al estrés fisiológico (35, 38, 48, 53, 56, 73, 114-116). Las secreciones hormonales agudas proporcionan información al cuerpo sobre aspectos como la cantidad y el tipo de estrés fisiológico (p. ej., a través de la adrenalina), las exigencias metabólicas del ejercicio (p. ej., a través de la insulina) y, por tanto, la necesidad de cambios en el metabolismo basal (p. ej., cambio en la utilización de sustratos). Mediante patrones específicos de estimulación del sistema nervioso con ejercicio resistido, ciertos cambios hormonales ocurren simultáneamente con fines específicos relacionados con cubrir las exigencias del ejercicio, la recuperación y la adaptación al estrés de ejercicios intensos. Los patrones de estrés y las respuestas hormonales se combinan y configuran la respuesta adaptativa de los tejidos a un programa específico de entrenamiento.

Los incrementos hormonales de la respuesta al ejercicio resistido ocurren en un entorno fisiológico único para este tipo de esfuerzo físico. Las grandes cargas externas que se levantan y el consiguiente requerimiento de fuerza por parte de los grandes músculos requieren la activación de unidades motoras de umbral excitatorio alto, que no suelen ser estimuladas por otros tipos de

esfuerzo como el ejercicio aeróbico de fondo. Entre las muchas respuestas distintas a este estrés causado por la producción de grandes fuerzas encontramos alteraciones en la capacidad del sarcolema para importar nutrientes y en la sensibilidad y número de receptores hormonales presentes en las células musculares. Con solo una o dos sesiones de ejercicio resistido con grandes cargas puede aumentar el número de receptores de andrógenos —el receptor de la testosterona— en el músculo (126, 192). Además, los procesos inflamatorios locales causados por daños tisulares y los mecanismos de reparación se activan con un esfuerzo continuado y siguen su curso con la recuperación (20). Combinadas, estas alteraciones causan incrementos en el crecimiento y la fuerza del músculo intacto.

La fuerza específica producida en las fibras musculares estimula la sensibilidad de los receptores y membranas a los factores anabólicos, como las hormonas, lo cual comprende el crecimiento del músculo y los cambios en la fuerza.

Después de una sesión de ejercicio resistido, se produce la remodelación del tejido muscular en un medio de secreciones hormonales y otros mecanismos de transmisión molecular que posibilitan las acciones anabólicas. Sin embargo, si el esfuerzo es demasiado grande, las acciones catabólicas en el músculo tal vez superen las acciones anabólicas, debido, entre otros factores, a la incapacidad de las hormonas anabólicas para unirse a sus receptores o a la regulación decreciente de los receptores del tejido muscular (31, 129). Por tanto, las acciones hormonales son importantes tanto durante como después de una sesión de ejercicio para responder a las exigencias del esfuerzo físico (45-47). Tal y como se ha dicho antes, la magnitud de la respuesta hormonal (anabólica o catabólica) depende de la cantidad de tejido estimulado, de la cantidad de tejido remodelado y de la cantidad de tejido reparado después del esfuerzo físico (51, 143). Una vez más, las características del estímulo del ejercicio (la selección entre las variables agudas del programa) son de vital importancia para la respuesta hormonal al protocolo de ejercicios (94, 96).

Mecanismos de las interacciones hormonales

Los mecanismos de la interacción hormonal con el tejido muscular dependen de varios factores. En primer lugar, cuando el ejercicio eleva bruscamente las concentraciones de hormonas en la sangre, la probabilidad de interacción con

receptores tal vez sea mayor. Sin embargo, si la función fisiológica en la que tienen que incidir ya está próxima a su máxima capacidad genética (es decir, si queda poco margen potencial de adaptación), el receptor no será tan sensible a una mayor exposición a las hormonas. Por ejemplo, una célula muscular que ya haya alcanzado su tamaño máximo con un entrenamiento a largo plazo, tal vez no sea sensible a las señales de las hormonas endógenas para estimular la producción de proteínas. Una desensibilización similar de los receptores (disminución de la afinidad) a una hormona se produce cuando se aprecian niveles crónicamente altos en los niveles de las hormonas en reposo debido a alguna enfermedad (p. ej., diabetes mellitus tipo II) o al consumo de fármacos. Todavía no se ha determinado por completo cómo y cuándo se produce en el músculo esta reducción de la sensibilidad de los receptores a los incrementos hormonales; sin embargo, la predisposición genética limita en último término el aumento del tamaño muscular. En segundo lugar, como las adaptaciones al ejercicio resistido con grandes cargas suele ser anabólico, los mecanismos de recuperación están relacionados con incrementos en el tamaño de las células musculares. En tercer lugar, los errores en la prescripción del ejercicio causan un efecto catabólico mayor o una falta del efecto anabólico (programa de ejercicios ineficaces). Como resultado, los mecanismos hormonales pueden afectar negativamente al desarrollo celular o activar mínimamente mecanismos que aumenten la hipertrofia.

Se cree que la combinación de muchos mecanismos diferentes estimula la hipertrofia inducida por el ejercicio y que la transmisión molecular en la que intervienen las hormonas participa en este proceso. En esta transmisión influyen factores neuronales que envían señales importantes al músculo esquelético y, por tanto, potencian los procesos anabólicos. Por ejemplo, la activación neuronal de fibras musculares aumenta la afinidad de unión para las hormonas de los receptores del músculo. La integración del sistema nervioso y de los diversos mecanismos hormonales es distinta en personas entrenadas y desentrenadas (73, 161). Por lo demás, ciertos mecanismos hormonales para la hipertrofia inducida por el ejercicio, como aquellos mediados por la testosterona, no son completamente operativos en ambos sexos ni en todas las edades (38, 100, 115). Un amplio abanico de mecanismos hormonales con efectos diferenciales (basados en el diseño del programa, el nivel de entrenamiento, el sexo, la edad, la predisposición genética y el potencial de adaptación) posibilita multitud de estrategias

posibles de adaptación para el mantenimiento o aumento del tamaño y fuerza del músculo (99).

Cambios hormonales en la sangre periférica

Se aprende mucho sobre las consecuencias del esfuerzo físico de un entrenamiento sobre el cuerpo humano monitorizando distintas mediciones, como los cambios en las concentraciones hormonales en la sangre. Este es solo uno de los biocompartimentos que se pueden monitorizar, y se debe estudiar en el contexto de los demás procesos que estimulan el músculo y la síntesis de proteínas (p. ej., factores neuronales, aminoácido leucina de cadena ramificada). Las concentraciones hormonales se determinan a partir de muestras de sangre extraídas a atletas en distintas fases del ejercicio y el entrenamiento. También se pueden medir las hormonas en el líquido que rodea el músculo o en el mismo músculo (151). Aunque la interpretación de las concentraciones de hormonas en la sangre pueda ser complicada y como solo es una pieza del puzle completo de las respuestas hormonales, estos datos revelan el estado o las respuestas de las glándulas o el estado funcional de los mecanismos controlados por la hormona. Hay que fijarse en que las concentraciones periféricas de hormonas en la sangre no manifiestan el estado de las distintas poblaciones de receptores ni los efectos de una hormona en la célula. Sin embargo, se suele asumir que los grandes incrementos en la concentración de hormonas revelan una mayor probabilidad de interacciones con los receptores. Hay pocas dudas de que un incremento de las concentraciones en la sangre circulante, en ausencia de una reducción del volumen plasmático, significa que ha habido un incremento de la liberación de las glándulas endocrinas. El resultado fisiológico de este incremento depende ahora del «estado» del receptor en el tejido de destino; es decir, ¿se puede manifestar la señal hormonal en la célula uniéndose al receptor y la transferencia de la señal a la maquinaria de reparación del ADN u otras dianas intracelulares (p. ej., la vía de la TORm)? Más difíciles de interpretar son las disminuciones de las concentraciones hormonales que podrían indicar varios destinos posibles para la hormona, incluyendo una mayor captación por los receptores de los tejidos de destino, una mayor degradación de la hormona, una secreción disminuida de la hormona, o una combinación de estos destinos. Además de estos efectos directos sobre las hormonas, son muchos los mecanismos fisiológicos que contribuyen en

distinto grado a los cambios observados con el ejercicio en las concentraciones hormonales en la sangre periférica, incluyendo el ritmo circadiano, el volumen de líquido desalojado (el ejercicio tiende a desplazar líquido de la sangre al compartimento intercelular), las tasas de aclaramiento tisular (tiempo transcurrido dentro de un tejido), la acumulación de sangre venosa y las interacciones hormonales con las proteínas transportadoras (18, 24, 25, 89). Estos mecanismos interactúan para lograr cierta concentración de una hormona en la sangre, lo cual influye en el margen potencial de interacción con los receptores en el tejido destinatario y sus posteriores efectos secundarios, permitiendo así el efecto final de la hormona en una célula. Por tanto, cuando se determina los efectos específicos del ejercicio sobre las hormonas, hay que tener en cuenta muy distintas interpretaciones. El incremento de las concentraciones hormonales en la sangre no es requisito para apreciar aumentos en el tamaño o fuerza de los músculos, pero no representa una mayor activación de la liberación hormonal de la glándula endocrina implicada.

Las respuestas hormonales están estrechamente vinculadas con las características del protocolo de ejercicio resistido.

Adaptaciones del sistema endocrino

Aunque órganos como el músculo y el tejido conjuntivo sean el objetivo final de la mayoría de programas de entrenamiento resistido, también se producen muchas adaptaciones dentro del sistema endocrino. Es decir, cuando se entrena la musculatura, también se entrenan las glándulas endocrinas. Tal y como se puso en evidencia anteriormente, la implicación de una glándula endocrina depende de cuánto respaldo de las secreciones glandulares se necesite para apoyar a las unidades motoras activadas. Si nos limitamos a hacer series de quince flexiones de muñeca, es dudoso que se estimule alguna glándula endocrina para aumentar la liberación de hormonas, dado que la concentración homeostática normal de hormonas en la sangre circulante podría cubrir las necesidades para este ejercicio de un grupo de pequeños músculos. Sin embargo, receptores locales experimentarían una regulación creciente del tejido muscular implicado para cubrir las necesidades de las unidades motoras usadas en ese ejercicio. Las adaptaciones están relacionadas con cambios en los órganos de destino y con la tolerancia al esfuerzo físico. Es grande el potencial de adaptación del sistema endocrino

con tantos puntos y mecanismos distintos afectados en potencia. Los siguientes son ejemplos de los tipos potenciales de adaptación posibles:

- Grado de síntesis y almacenamiento de hormonas.
- Transporte de hormonas por medio de proteínas.
- Tiempo necesario para el aclaramiento de hormonas del hígado y otros tejidos.
- Grado de degradación hormonal que ocurre en un período dado de tiempo.
- Grado de desplazamiento de fluido desde la sangre hasta los tejidos activos que se produce con el esfuerzo físico.
- Grado de unión de la hormona con su receptor (afinidad por el receptor); es una respuesta poco común al ejercicio.
- Número de receptores en el tejido.
- Cambio en el contenido y, en algunos casos, en el tamaño de las células secretoras en la glándula.
- Magnitud de la señal enviada al núcleo de las células por el H-RC o mensajero secundario.
- Grado de interacción con el núcleo celular (que dicta cuántas proteínas musculares producir).

Las hormonas se secretan como respuesta a la necesidad del control homeostático del cuerpo; el sistema endocrino forma parte de una estrategia general para que las funciones fisiológicas vuelvan a sus valores normales (60). Estos mecanismos homeostáticos controlados por el sistema endocrino se pueden activar como respuesta al esfuerzo agudo (inmediato) del ejercicio resistido o se pueden alterar con un entrenamiento resistido crónico (durante largos períodos de tiempo) (32, 55, 57, 64, 73, 81, 172, 173, 184). El mecanismo que media en los cambios homeostáticos agudos causados por un ejercicio resistido intenso es, por lo general, un aumento o disminución bruscos de las concentraciones hormonales para regular una variable fisiológica como el nivel de glucosa. Se suele producir un aumento o disminución más sutil de las concentraciones hormonales crónicas en reposo como respuesta al entrenamiento resistido (172).

Hormonas anabólicas primarias

Las hormonas anabólicas primarias que intervienen en la remodelación y crecimiento del tejido muscular son la testosterona, la hormona del crecimiento y los factores de crecimiento insulinoide (IGF), de los que hablaremos aquí, así como de la insulina y las hormonas tiroideas, que se estudian con mayor detalle en otros textos (45-48, 60).

Testosterona

La testosterona es el principal andrógeno que interactúa con el tejido del músculo esquelético; la dihidrotestosterona es el principal andrógeno que interactúa con los tejidos asociados a la función sexual (p. ej., la próstata en el hombre). Aunque la concentración de testosterona circulante sea importante para la transmisión de señales anabólicas, la unión de la testosterona con su receptor es la clave para estimular las funciones anabólicas. Por tanto, el aumento de la concentración de testosterona circulante (libre, unida o ambas) no es un marcador absoluto de este proceso, pero sí un marcador indirecto de la activación de unidades motoras y de las exigencias metabólicas más allá de las condiciones homeostáticas, y se suele asociar con un aumento de ligandos para el receptor. El entrenamiento con grandes cargas, una o dos repeticiones y un volumen bajo, que tal vez no cause cambios en las concentraciones de testosterona tras una sesión de ejercicio, podría aumentar potencialmente el número absoluto de receptores y, por tanto, de puntos de unión disponibles con la testosterona; sin embargo, este efecto sobre los receptores todavía se tiene que dilucidar (171, 188). No obstante, el cambio en la concentración de testosterona es una señal anabólica importante para los tejidos de destino de todo el cuerpo.

En el pasado se propuso que la testosterona circulante fuera un marcador fisiológico para hombres y mujeres con el fin de evaluar el estado anabólico del cuerpo (70, 129). El control hormonal de la liberación de testosterona ha sido objeto de un detallado estudio de revisión (31, 61, 106, 189). La testosterona tiene efectos directos e indirectos sobre el tejido muscular. Estimula la hipófisis para que libere hormona del crecimiento, lo cual puede influir en la síntesis de proteínas en el músculo; y, a su vez, la hormona del crecimiento parece tener un efecto permisivo o sinérgico sobre la promoción de la síntesis de proteínas (138). Las interacciones potenciales con otras hormonas y otros sistemas de transmisión ponen en evidencia la elevada interdependencia del sistema neuroendocrino inmunológico a la hora de

influir en la fuerza y tamaño del músculo esquelético. Los efectos de la testosterona sobre el desarrollo de la fuerza y el tamaño del músculo también están relacionados con la influencia de la testosterona sobre el sistema nervioso (12, 90). Por ejemplo, la testosterona interactúa con los receptores de las neuronas, aumenta el número de neurotransmisores e influye en los cambios estructurales de las proteínas. Todas estas interacciones mejoran la producción de fuerza y masa del músculo inervado.

Después de ser segregada en la sangre circulante por parte de los testículos en el hombre y por los ovarios y glándulas suprarrenales en la mujer, la testosterona viaja a los tejidos de destino transportada por una proteína (en gran medida la albúmina y la globulina ligada a las hormonas sexuales). En el tejido destinatario, la testosterona se disocia de la proteína transportadora y traspasa la membrana celular para unirse al receptor intracelular de las hormonas andrógenas. Esta unión permite un rápido efecto a nivel intracelular de la testosterona, como la liberación de calcio (36, 186). Los conocimientos respecto a los receptores de las hormonas y sus efectos sobre las células están en rápido crecimiento, y el futuro promete traernos nuevos descubrimientos que elucidarán esta área de contenido.

En hombres se ha documentado el incremento de las concentraciones de testosterona en la sangre circulante durante y después de muchos tipos de ejercicio aeróbico de fondo y alta intensidad (119), así como con el ejercicio resistido (60). Aunque no sea un hallazgo constante, algunos datos revelan un pequeño incremento de la testosterona, sobre todo de la testosterona libre, en mujeres después del ejercicio resistido (188). Las variaciones en las acciones celulares de la testosterona como consecuencia del ejercicio resistido tal vez sean atribuibles a diferencias en la membrana celular, quizá por las fuerzas impuestas sobre las membranas con el ejercicio resistido, o bien debido a distintos mecanismos de retroalimentación de los centros superiores del cerebro (p. ej., niveles superiores de testosterona que informa de vuelta al cerebro para disminuir la secreción de la hormona luteinizante). Además, las interacciones de los receptores tal vez sean muy distintas bajo diferentes condiciones de ejercicio debido a la fuerza diferencial sobre la membrana (31). El ejercicio aeróbico de fondo y alta intensidad puede provocar una aparatosa respuesta catabólica del tejido, y los incrementos de la testosterona tal vez estén relacionados con la necesidad de sintetizar proteínas para equilibrar su pérdida (179, 180). A pesar del incremento de la concentración de testosterona, la hipertrofia no se suele producir con un entrenamiento

aeróbico de fondo (119). De hecho, el esfuerzo oxidativo quizá favorezca una disminución del tamaño de las fibras musculares para potenciar el transporte de oxígeno a las células (119). Sin el estímulo adecuado del ejercicio, los mecanismos celulares que median en el crecimiento de las fibras musculares no se activarán hasta el grado en que se produce la hipertrofia.

En niños y varones menores de 18 años, varios factores parecen influir en la elevación puntual de la concentración de testosterona sérica y quizá influyan en que se produzcan incrementos significativos durante o después del ejercicio. Un factor clave es el inicio de la pubertad. Como la producción de testosterona en chicos preadolescentes es muy baja, dichos chicos carecen de cantidades suficientes para inducir una hipertrofia apreciable. Con independencia de las diversas combinaciones, distintas variables del ejercicio aumentan las concentraciones de testosterona sérica en niños y varones menores de 18 años (38, 57, 100, 115):

- Ejercicios para los grandes grupos musculares (p. ej., peso muerto, cargada de fuerza, sentadillas).
- Gran resistencia (85-95% de 1RM).
- Volumen moderado a alto de ejercicio, con múltiples series, múltiples ejercicios o ambos.
- Intervalos cortos de descanso (30 segundos a 1 minuto).
- Dos años o más de experiencia con el entrenamiento resistido.

Los incrementos en el nivel total de testosterona sérica de los hombres son evidentes cuando se toman muestras de sangre antes e inmediatamente después de protocolos de ejercicio en que se usan los grupos musculares grandes, como el peso muerto, pero no el *press* de banca (38, 68, 74, 114, 190). Cuando la muestra de sangre se extrae cuatro o más horas después del ejercicio y no inmediatamente después de su conclusión, otros factores, como las **variaciones diurnas** (fluctuaciones normales en los niveles hormonales a lo largo del día) o los fenómenos de la recuperación, influyen en la magnitud o dirección de la respuesta aguda al esfuerzo (32). Además, posibles rebotes o descensos a lo largo del tiempo en los valores de la testosterona en sangre quizá reflejen un aumento o depresión de las variaciones diurnas (103), dificultando más si cabe la interpretación de las muestras posteriores de sangre. Recientes hallazgos demuestran que el ejercicio resistido agudo no parece influir en los cambios diurnos de los niveles de testosterona (122,

163). En los hombres, las concentraciones de testosterona suelen ser máximas por la mañana y decrecen a lo largo del día, pese a lo cual se producen incrementos con el ejercicio en cualquier punto del ritmo circadiano. No obstante, la magnitud del cambio es menor cuando las concentraciones en reposo son menores, lo cual conlleva que las concentraciones absolutas sean menores con el ejercicio a pesar de que se produzcan dichos incrementos. Hasta la fecha, no se ha demostrado que el momento del día en que se desarrolla el entrenamiento de la fuerza (p. ej., por la mañana o por la tarde) tenga efectos significativos sobre las concentraciones totales de testosterona en reposo, sobre su patrón diurno o sobre el incremento absoluto de la fuerza máxima (163). Las mujeres presentan concentraciones mucho menores de testosterona sérica y pocas variaciones en las concentraciones durante el día (aunque hay datos limitados que respalden esta última opinión). Sin embargo, la respuesta de sus receptores de andrógenos es muy dinámica con una regulación al alza mucho más rápida que en los hombres, probablemente para aprovechar mejor la testosterona presente durante un estímulo de ejercicio resistido (188). Así pues, la elevación del nivel de testosterona en la sangre de las mujeres después de un ejercicio resistido tal vez influya porque responde con más celeridad mediante cambios en los receptores, con el fin de usar la testosterona recientemente liberada en la sangre.

Los ejercicios con grupos musculares grandes y un volumen adecuado de trabajo total causan un incremento agudo de las concentraciones totales de testosterona en los hombres.

Testosterona libre y globulina transportadora de hormonas sexuales

Se está empezando a comprender mejor las respuestas agudas al ejercicio de la testosterona libre (testosterona no ligada a una proteína transportadora, como la globulina transportadora de hormonas sexuales). La testosterona libre solo corresponde al 0,5-2% de la testosterona total; por tanto, es una mayor concentración total de testosterona la que posibilita la presencia de más testosterona libre. Un ejercicio con grandes cargas (p. ej., seis series de diez repeticiones al 80% de 1RM) puede causar un incremento agudo de la presencia de testosterona libre en hombres y mujeres, aunque este sea mucho menor en las mujeres (188). En el caso de los hombres, Kraemer (120) demostró que la edad parece influir en las respuestas de la testosterona libre

al ejercicio resistido. Es decir, hombres jóvenes (de 30 años) presentaron concentraciones superiores de testosterona libre a las de hombres mayores (de 62 años) después de una sesión de ejercicio. Esto quizá manifieste un mayor potencial biológico de que la testosterona interactúe con los tejidos de destino de los hombres más jóvenes. La llamada hipótesis de la hormona libre postula que es solo esta la que interactúa con los tejidos de destino. No obstante, la hormona ligada podría influir significativamente en el índice de liberación de la hormona en un tejido destinatario, como el músculo, y tal vez resulte ser una ventaja de los hombres jóvenes sobre los mayores tras una sesión de entrenamiento (34). Es decir, los hombres jóvenes presentan más valores absolutos de testosterona total y, en consecuencia, más testosterona libre que los hombres mayores en un valor porcentual del total.

El papel, regulación e interacción de las proteínas de unión y sus interacciones con células también presentan posibilidades interesantes para la mejora de la fuerza, especialmente en las mujeres, cuya cantidad total de testosterona es muy baja en comparación con la de los hombres. La estimulación del crecimiento de las células musculares mantiene más tiempo la testosterona en estado de ligazón. De hecho, la misma proteína transportadora actúa como una hormona con actividad biológica (159). El papel biológico de distintas proteínas transportadoras parece ser un factor importante en las interacciones con los tejidos (71, 72, 75, 159). Estudios de Kvorning (130, 131) han demostrado que en el caso de hombres jóvenes, la testosterona tiene un rol importante en las respuestas anabólicas al entrenamiento resistido. Cuando se administró bloqueadores de la hormona luteinizante a los sujetos del estudio, lo cual se tradujo en concentraciones muy bajas de testosterona aunque sin afectar a otros sistemas de transmisión anabólicos, el aumento de la fuerza muscular y de la masa de tejido muscular magro se redujo en comparación con el de hombres con un funcionamiento normal y concentraciones normales de testosterona. Estos estudios clásicos demostraron la importancia de la testosterona endógena en los mecanismos adaptativos para las adaptaciones al entrenamiento resistido.

Respuestas de la testosterona en las mujeres

La testosterona es la principal hormona sexual masculina. Las mujeres tienen unas concentraciones de testosterona circulante de 15 a 20 veces menores que las de los hombres. La mayoría de los estudios no han demostrado en las mujeres un incremento agudo de la testosterona después de una sesión de

ejercicio resistido; los datos revelan que, aunque ocurran esos incrementos, son relativamente pequeños (26, 38, 76, 81, 114, 190) y a veces se observan solo en el caso de la testosterona libre (188). Sin embargo, en las mujeres jóvenes se ha advertido un incremento, pequeño pero significativo, de la testosterona sérica en respuesta a seis series de sentadillas de 10RM (144). Además, Vingren (188) observó incrementos agudos en la concentración de testosterona libre en hombres y mujeres entrenados y como respuesta a un protocolo de ejercicio resistido con grandes cargas, si bien las concentraciones en las mujeres fueron mucho menores que en los hombres. La concentración de testosterona varía sustancialmente entre una mujer y otra, dado que algunas mujeres secretan mayores concentraciones de andrógenos suprarrenales. En un informe se observaron cambios en las concentraciones basales de testosterona en las mujeres que practicaban ejercicio regular en comparación con controles inactivas (26). Sin embargo, otros estudios no han mostrado cambios en las concentraciones séricas de testosterona con el entrenamiento (38, 76, 81, 114, 190). No obstante, una vez más, el uso de testosterona mediante la regulación creciente de los receptores de andrógenos en el músculo esquelético, de forma rápida y en cuestión de una hora, revela la gran sensibilidad que las mujeres tienen a los incrementos de la testosterona, así como la importancia de su empleo (188).

Adaptaciones de la testosterona al entrenamiento

Todavía estamos aprendiendo sobre las respuestas de la testosterona al entrenamiento resistido (73, 119, 173, 188, 191). Lo importante es que se ha de ser consciente de que la testosterona aumenta como respuesta a las exigencias de los protocolos de ejercicio; los receptores incrementan la capacidad de unión para usar el elevado nivel de testosterona, o bien no lo hacen debido a que no necesitan esa señal para aumentar el metabolismo relacionado con el músculo. Tal vez esto ocurra porque otros receptores en otros tejidos de destino (p. ej., neuronas, células satélite) resultan más afectados en ciertos momentos del entrenamiento dependiendo de la ventana de adaptación disponible en los tejidos destinatarios. Por eso, esperar incrementos en las concentraciones basales tal vez sea un concepto obsoleto; sin embargo, se puede concebir un incremento en las concentraciones inducidas por el ejercicio debido a una mejora de la capacidad funcional y de la capacidad para hacer más trabajo en un protocolo de ejercicio. Parece ser que el tiempo dedicado y la experiencia del entrenamiento pueden ser

factores muy importantes para modificar las concentraciones basal e inducida por el ejercicio de esta hormona. Sin embargo, tal vez cambie su papel en el músculo esquelético, dado que se alcanzan incrementos en los límites superiores del tamaño de las células musculares. En hombres adultos, se han observado incrementos agudos en la testosterona si el estímulo del ejercicio es correcto (es decir, series múltiples, 5-10RM, adecuado uso de la masa muscular). En un estudio clásico, Häkkinen (73) demostró que, en el curso de dos años de entrenamiento, incluso en halterófilos de elite, ocurren pequeños incrementos en las concentraciones basales de la testosterona sérica, a la par con incrementos de la hormona folicular y la hormona luteinizante, las cuales intervienen en la regulación de la producción de testosterona y se liberan y secretan de la adenohipófisis en respuesta a las señales del encéfalo a través del hipotálamo. La testosterona podría cumplir un papel en el desarrollo del sistema nervioso en el entrenamiento a largo plazo, aumentando las adaptaciones neuronales que se producen para incrementar la fuerza de atletas de fuerza y potencia muy entrenados (75, 76). Además, algunos estudios han demostrado una mayor adaptación al entrenamiento resistido cuando las sesiones del programa de entrenamiento indujeron una elevación aguda de las concentraciones de testosterona (78, 158).

Los estudios de investigación sobre el efecto del ejercicio resistido y el entrenamiento sobre el receptor de andrógenos (el receptor de la testosterona) son limitados; sin embargo, recientemente se han publicado varios estudios destacando el interés actual por este tema (126, 156, 187, 188, 192). Los hallazgos varían, mostrando tanto incrementos como disminuciones en el contenido de receptores de andrógenos; sin embargo, estas diferencias podrían tener su origen en variaciones de los protocolos de ejercicio, así como en el momento elegido para el muestreo de tejido. A pesar de la variedad de hallazgos, parece que el ejercicio resistido y el entrenamiento terminan incrementando el contenido muscular de receptores de andrógenos. Con el aumento de la capacidad transportadora de los receptores de andrógenos, mejora el uso de la testosterona. Además, las ingestas nutricionales antes de un entrenamiento pueden afectar al incrementar el contenido en andrógenos del tejido muscular, y por ello parece importante ingerir proteínas y algunos hidratos de carbono antes de una sesión de ejercicio (126).

Hormona del crecimiento

Reina mucha confusión sobre la hormona del crecimiento (GH) y sobre cuál es su papel en el cuerpo humano. En los últimos años, la GH ha adquirido una nueva complejidad en los campos del ejercicio y la medicina. La principal hormona de la maquinaria de reparación del ADN es el polipéptido aminoácido de 191 nucleótidos (monómero con un peso molecular de 22 kDa) que se produce en el somatótrofo de la adenohipófisis, en dos tipos de somatótrofos, la banda 1 (que contiene formas de bajo peso molecular, p. ej., 22 kDa) y la banda 2 (que contiene formas de alto peso molecular, como los agregados). Debido a los avances de los radioinmunoanálisis en las décadas de 1960 y 1970, la 22 kDa ha sido la principal forma que ha sido evaluada en la sangre; esto nos ha dejado a ciegas hasta años recientes sobre lo que pasa con las otras grandes concentraciones de formas de agregado. Ahora está claro que el mundo endocrinológico de la hormona del crecimiento hipofisaria es mucho más complejo de lo que antes se creía cuando solo se había investigado la variante 22 kDa. La sangre está llena de variantes de corte y empalme de GH y, lo más importante, sus muchos agregados (es decir, múltiples enlaces de disulfuro que unen entre sí monómeros de GH) en combinaciones de distinto peso molecular. Asimismo, vuelve más complejo el escenario la presencia de dos tipos de proteínas de unión a GH que crean compuestos de alto peso molecular (p. ej., monómero de GH unido a una proteína transportadora). En la actualidad, los científicos están empezando a desentrañar el complejo papel regulador que desempeña esta superfamilia. Lo interesante es que hay una concentración mucho mayor de GH bioactiva (es decir, agregados) en comparación con el monómero de GH de peso molecular 22 kDa. Esto nos hace pensar que solo hemos atisbado brevemente lo que la GH desempeña en el cuerpo. Como demostración de que no tenemos completamente claro el papel fisiológico del monómero de peso molecular 22 kDa, en el campo de la medicina se ha relacionado con cáncer debido a sus interacciones con la liberación hepática de IGF-I (154). Por tanto, las formas de agregados de la GH tal vez sean la GH relevante, biológicamente importante, implicada en la adaptación al ejercicio (128).

De nuevo, la mayoría de los estudios en el campo de la endocrinología aplicada a la actividad física han examinado la isoforma 22 kDa debido a la simplicidad y popularidad de los inmunoanálisis (con frecuencia denominados radioinmunoanálisis [RIA], ensayo por inmunoabsorción ligado a enzimas (ELISA) o inmunoanálisis enzimático [IAE]). Estas técnicas dependen de las interacciones de los anticuerpos para determinar la cantidad

presente en la sangre. Los anticuerpos usados son generalmente específicos de la variante GH 22 kDa y, por tanto, muchas otras formas se mantienen sin detectar o infradetectadas con tales técnicas de ensayo. La multitud de mecanismos fisiológicos y tejidos destinatarios que se han vinculado con la mediación de la GH han puesto de manifiesto durante un tiempo la necesidad de que sea una superfamilia de hormonas la que alcance tal diversidad de efectos.

La hormona del crecimiento es importante para el desarrollo normal de los niños, aunque también parece desempeñar un papel vital en la adaptación a los esfuerzos del entrenamiento resistido. En un estudio de McCall y colaboradores (139) se halló una correlación positiva entre las respuestas de la GH y la hipertrofia de las fibras musculares después de 20 semanas de entrenamiento resistido, aunque es posible que otras variantes de la GH sigan un patrón de incremento similar al de la forma 22 kDa y también podrían explicar la relación. Esto revela los problemas asociados con el uso de una regresión simple para determinar los efectos de una hormona; y como las relaciones de «causa y efecto» no se prueban con una regresión simple, hay que andarse con mucha cautela al hacer tales interpretaciones sobre cualquier hormona. Los tejidos destinatarios de la GH son muy variables, dado que las variantes con diferente peso molecular tienen distintos tejidos de destino, como el hueso, los inmunocitos, el músculo esquelético, los adipocitos y el tejido hepático. Las principales funciones fisiológicas de la GH y su superfamilia son las siguientes (aunque falte claridad sobre la forma molecular de la superfamilia de la GH directamente responsable de esas funciones):

- Reducción de la utilización de glucosa.
- Disminución de la síntesis de glucógeno.
- Aumento del transporte de aminoácidos a través de las membranas celulares.
- Aumento de la síntesis de proteínas.
- Incremento de la utilización de ácidos grasos.
- Aumento de la lipólisis (catabolismo de las grasas).
- Incremento de la disponibilidad de glucosa y aminoácidos.
- Aumento de la síntesis de colágeno.
- Estimulación del crecimiento del cartílago.
- Incremento de la retención de nitrógeno, sodio, potasio y fósforo.

- Incremento del flujo y filtración del plasma en los riñones.
- Favorecimiento de la hipertrofia renal compensatoria.
- Mejora de la función de los inmunocitos.

La secreción de las GH se regula por un sistema complejo de mecanismos de retroalimentación neuroendocrina (23, 39, 128, 136, 157, 170, 193). Muchas de las acciones hormonales podrían estar mediadas por una serie de hormonas secundarias o incluso ser resultado de otras formas de GH, aunque la GH en sus muchas formas interactúa directamente con los tejidos destinatarios. La variante GH 22 kDa estimula la liberación de IGF a nivel autocrino de la célula, contribuyendo a los cambios generales del IGF en el cuerpo y aumentando la disponibilidad de aminoácidos para la síntesis de proteínas. Esto genera situaciones que favorecen la reparación tisular en general y, tal vez, la recuperación tras un ejercicio resistido. El factor de crecimiento tipo insulinoide se puede liberar de tejidos no hepáticos (p. ej., grasa, leucocitos), incluyendo el mismo músculo, lo cual tal vez no produzca tanto IGF endógeno como otros tejidos corporales (28, 45, 77). No obstante, la GH desempeña un papel crucial en las interacciones celulares directas al ser una de las hormonas anabólicas más potentes (139). La secreción de la variante GH 22 kDa y, por tanto, el volumen de sangre, varía según el momento del día, habiéndose observado los niveles más altos de noche durante el sueño (40, 98, 170). Sin embargo, no se ha demostrado que esas cantidades más elevadas de GH bioactiva guarden relación con un ritmo circadiano. La forma de liberación de GH 22 kDa es pulsátil o a ráfagas; estas descargas también presentan distintas amplitudes durante el día, y el ejercicio parece aumentar su amplitud y número. Se ha planteado la hipótesis de que los incrementos nocturnos intervienen en los distintos mecanismos de reparación tisular del cuerpo. Por tanto, es posible que la secreción y liberación de GH influya directamente en las adaptaciones de la unidad contráctil del músculo y en la posterior expresión de fuerza (139). Diversos factores externos, como la edad, el sexo masculino frente al femenino, el sueño, la nutrición, el consumo de alcohol y el ejercicio alteran los patrones de liberación de la GH (16, 17, 19, 152, 185). La hormona del crecimiento se libera en la circulación periférica, donde se une a proteínas transportadoras específicas, por lo que representa el dominio extracelular del receptor de la GH. En general, la hormona del crecimiento actúa uniéndose a los receptores de GH en la membrana plasmática de las células de destino. Las interacciones

con la GH bioactiva o sus agregados y las variantes de corte y empalme de GH siguen siendo objeto de investigaciones ahora que consideramos que la GH tiene más de una variante molecular (65, 125, 181).

Respuestas de la hormona del crecimiento al esfuerzo

Las hormonas hipofisarias (p. ej., proopiomelanocortina [POMC], GH y prolactina) responden a diversos factores estresantes del ejercicio, entre otros el ejercicio resistido (26, 29, 56, 60, 113, 116, 132, 134). Las concentraciones de la hormona del crecimiento (22 kDa) aumentan como respuesta a la apnea voluntaria y a la hiperventilación (33), así como a la hipoxia (177). Parece que un estímulo importante para la liberación de GH 22 kDa son las concentraciones de lactato y de iones de hidrógeno (caída del pH) (64). No todos los protocolos de ejercicio resistido muestran elevaciones en la concentración de GH sérica. Vanhelder (184) observó que, cuando se usaba una carga ligera (28% de 7RM) con un alto número de repeticiones en cada serie, no se producían cambios en la concentración sérica de GH 22 kDa. Parece que se debe alcanzar cierto umbral de intensidad para obtener una respuesta significativa de la GH 22 kDa al ejercicio resistido, sobre todo cuando se opta por períodos más largos de descanso (>3 minutos) (113). Tal vez esto se deba a la conexión metabólica con el metabolismo glucolítico (al menos para la variante GH 22 kDa).

Dependiendo de la carga, descanso, volumen de ejercicio y selección de ejercicios de un protocolo de ejercicio resistido, se producen distintas respuestas de la GH 22 kDa (5, 43, 44, 139, 143, 166, 167, 174). En un estudio pensado para determinar las distintas variables relacionadas con los incrementos de la GH, Kraemer (113) halló que los incrementos séricos de la GH 22 kDa son sensibles a las diferencias en el volumen de ejercicio, al descanso entre series (menos descanso, mayor concentración de GH 22 kDa) y a la resistencia usada (10RM obtiene mayores valores de lactato y mayores respuestas de la GH 22 kDa). Cuando la intensidad empleada fue 10RM (gran resistencia) con tres series de cada ejercicio (aproximadamente 60.000 J de trabajo total) y períodos cortos de descanso (1 minuto), se observaron grandes incrementos en las concentraciones séricas de GH 22 kDa. Los incrementos más acusados ocurrieron como respuesta a un período de descanso de 1 minuto cuando la duración del ejercicio era mayor (10RM frente a 5RM). Como tales diferencias están relacionadas con la configuración de la sesión de ejercicio (p. ej., la duración del período de

descanso), parece que hay que prestar más atención a las variables del programa diseñado cuando se evalúan las adaptaciones fisiológicas al entrenamiento resistido.

En la liberación de la hormona del crecimiento influye el tipo de protocolo de ejercicio resistido, así como la duración del período de descanso. Los tipos de entrenamiento con períodos cortos de descanso obtuvieron las mayores concentraciones séricas en comparación con los protocolos con descansos más largos y un total de trabajo similar; sin embargo, en la actualidad no está claro cómo las diversas formas moleculares (p. ej., agregados y variantes de corte y empalme) o los tipos de GH resultan afectados.

Respuestas de la hormona del crecimiento en las mujeres

Durante el ciclo menstrual, las mujeres presentan concentraciones sanguíneas de GH 22 kDa más elevadas que los hombres debido a la mayor frecuencia y amplitud de secreción. Las concentraciones y respuestas hormonales al ejercicio varían según la fase del ciclo menstrual (29), aunque no estén claros los mecanismos de dicha variación. Kraemer (114, 117) halló que, al comienzo de la fase folicular del ciclo menstrual, las mujeres presentan concentraciones de GH 22 kDa significativamente más altas que los hombres. Además, con el uso de un protocolo de ejercicio resistido intensivo, caracterizado por largos períodos de descanso (3 minutos) y grandes cargas (5RM), las concentraciones de GH 22 kDa no aumentaron por encima de las concentraciones en reposo. Sin embargo, cuando se usó un protocolo de ejercicio resistido moderado (10RM) y cortos períodos de descanso (1 minuto), se observaron aumentos significativos de los valores séricos de GH 22 kDa. Los patrones de respuestas hormonales a las distintas rutinas de ejercicio resistido tal vez varíen durante el curso del ciclo menstrual debido a alteraciones en los niveles en reposo (114, 117); además, la anticoncepción hormonal (p. ej., píldoras anticonceptivas que contienen estrógenos) parece aumentar la respuesta de la GH 22 kDa al ejercicio resistido (127). No obstante, los patrones de respuesta de hombres y mujeres al mismo protocolo de ejercicio resistido son parecidos cuando se comparan las sesiones (p. ej., los descansos cortos causan una mayor elevación de GH 22 kDa en comparación con las sesiones con largos períodos de descanso) (114).

Los estudios muestran que la GH bioactiva también está compuesta de muchos tamaños moleculares distintos basados en los tamaños moleculares que se ligan entre sí (p. ej., dos monómeros unidos forman un dímero de 44

kDa, y así sucesivamente mientras se vayan agregando monómeros de GH) (128). Lo interesante es que, en las mujeres, la GH bioactiva se ha visto alterada por el entrenamiento resistido. Parece que las concentraciones en reposo se elevan mientras se producen pequeños cambios en la variante de GH 22 kDa (125). Además, las concentraciones de GH bioactiva no son tan altas en las mujeres mayores como en las mujeres jóvenes, y el ejercicio resistido con pesas es un estímulo más potente para la GH bioactiva que el ejercicio aeróbico de fondo (65). Los estudios iniciales mostraron que los anticonceptivos también tienen efectos mínimos sobre las formas de GH bioactiva. Además, se observaron altas concentraciones de GH bioactiva en mujeres que tienen más fuerza, lo cual también sugiere la importancia de las formas de agregados de GH (123). Estas nuevas revelaciones sobre la hormona del crecimiento muestran la complejidad potencial del sistema endocrino y que tenemos mucho más que aprender sobre estas importantes señales para los tejidos.

Los efectos de la periodización del entrenamiento resistido en el curso del ciclo menstrual todavía tienen que ser objeto de examen y se necesitan más estudios de investigación para dilucidar cualquier mecanismo de adaptación neuroendocrino asociado a la función sexual (43). En la actualidad, las reducidas concentraciones de testosterona y las distintas concentraciones hormonales en reposo de la mujer durante el curso del ciclo menstrual parecen ser las diferencias neuroendocrinas más llamativas respecto a los hombres.

Adaptaciones al entrenamiento de la hormona del crecimiento

Parece que las concentraciones de GH se deben medir durante períodos de tiempo más largos (2-24 horas) para comprobar si se producen cambios con el entrenamiento resistido. El área situada debajo de la curva temporal, que comprende diversos efectos pulsátiles, revela si se han producido cambios en la liberación de la GH. Las respuestas de la GH al entrenamiento resistido no han sido objeto de muchos estudios, aunque la observación de concentraciones normales de GH 22 kDa en halterófilos de elite sugiere que hay pocos cambios. Es probable que las diferencias en los mecanismos de retroalimentación, los cambios en la sensibilidad de los receptores hormonales, la potenciación del IGF, las variaciones diurnas y las concentraciones de ejercicio máximo medien en las adaptaciones de la GH al entrenamiento resistido. Las tendencias típicas en los cambios relacionados

con el entrenamiento parecen ser una reducción de la respuesta de la GH 22 kDa a un esfuerzo absoluto y a las alteraciones de las características pulsátiles de la GH 22 kDa. La reducción de las respuestas inducidas por el ejercicio de la GH 22 kDa tal vez manifiesten interacciones potenciales con otras formas de peso molecular. Las respuestas individuales durante un período de nueve meses fueron muy variables, sin cambios significativos a lo largo del tiempo en un grupo de halterófilos de elite (observaciones de un estudio sin publicar). Esto probablemente signifique que se estaban produciendo mayores cantidades de agregados como la GH; la forma GH 22 kDa se está volviendo menos importante a medida que prosigue el estudio de la hipófisis, dado que la mayor parte de la GH se encuentra en forma de agregados o compuestos. Es esta un área que es y seguirá siendo objeto de estudio en el futuro. Como ya ha quedado claro, los datos iniciales indican que en las concentraciones en reposo y en algunas formas de peso molecular de la GH de las mujeres también influye el entrenamiento resistido a largo plazo (125). En la actualidad parece que las respuestas de la GH 22 kDa inducidas por el ejercicio son lo que cambia con el entrenamiento, siendo pocos los cambios en las concentraciones en reposo, excepto por las pequeñas subidas y bajadas durante el ciclo menstrual. En el caso de la GH bioactiva, en contraste con la GH en su forma monomérica de 22 kDa, son las concentraciones en reposo las que tal vez experimenten los mayores cambios, con las sutiles alteraciones de algunas fracciones bioactivas de peso molecular más alto que 22 kDa (125). Sin embargo, todavía estamos lejos de comprender el modo en que la GH cambia con el entrenamiento resistido a largo plazo.

Factores de crecimiento insulinoides

Pequeños polipéptidos, denominados *factores de crecimiento insulinoides* (IGF) o *somatomedinas*, median en algunos de los efectos de la GH 22 kDa (27, 37, 45). Se ha postulado que una superfamilia de IGF podría ser un importante biomarcador de la salud y el rendimiento (145, 150). El factor de crecimiento insulinoide tipo I es un aminoácido polipéptido de 70 nucleótidos, y el factor de crecimiento insulinoide tipo II es un aminoácido polipéptido de 67 nucleótidos; la función de este último es menos clara. De nuevo, existe una familia de péptidos con proteínas transportadoras. El hígado secreta IGF después de que la GH 22 kDa estimule los hepatocitos para sintetizar IGF. Además de la GH, otros factores como la hormona

tiroidea y la testosterona también intervienen en la regulación de la síntesis del IGF (193-196). Como otras hormonas polipeptídicas, estos dos factores del crecimiento se sintetizan como moléculas precursoras mayores, que luego experimentan un procesamiento para formar las otras variantes de las mismas hormonas activas. Los factores de crecimiento insulinoides viajan por la sangre unidos a proteínas transportadoras; en el tejido de destino, los IGF se disocian de la proteína transportadora e interactúan con los receptores (1, 175, 176). Los niveles sanguíneos de IGF se suelen medir como el nivel total (de compuestos y libres) o concentraciones de IGF libre.

Se han identificado al menos seis proteínas transportadoras distintas en la sangre circulante que regulan el IGF disponible para la interacción con receptores: proteínas transportadoras de IGF-I 1 a 6, siendo la respuesta al ejercicio de las proteínas transportadas 1 y 3 lo más estudiado. Cada proteína transportadora responde independientemente al esfuerzo del ejercicio y tiene sus propias acciones biológicas.

Las proteínas transportadoras son factores importantes en los mecanismos fisiológicos y de transporte de IGF (22, 23, 49). El factor de crecimiento insulinoide estimula la secreción de sus propias proteínas transportadoras dentro de las mismas células musculares, con lo cual modula la sensibilidad de la célula al IGF (140). Las proteínas transportadoras de IGF en la sangre circulante desempeñan un papel importante en la restricción del acceso de los péptidos IGF a los receptores, y en ellas influyen las concentraciones de GH 22 kDa. Otros factores, como el estado nutricional y los niveles de insulina, también han demostrado ser importantes mecanismos de transmisión para la liberación de IGF. La influencia de la nutrición sobre el transporte, producción y control regulador del IGF es una variable drástica que influye en sus interacciones celulares. Los cambios agudos en el equilibrio del nitrógeno, en la ingesta de proteínas y en el estado nutricional afectan a muchos mecanismos (22, 121, 139). También parece que las proteínas transportadoras actúan como un reservorio de IGF y la liberación de proteínas transportadoras se manifiesta en la disponibilidad de un receptor en la célula (13). Esto permite que el IGF sea viable durante más tiempo y, teóricamente, pueda reducir la degradación de IGF.

Con el entrenamiento de la fuerza, en muchos de estos mecanismos influyen el esfuerzo del ejercicio, las respuestas hormonales agudas y la necesidad de remodelación de los tejidos muscular, nervioso y óseo a nivel celular (20, 79, 83, 168). Las intensas interacciones de múltiples hormonas y

receptores proporcionan poderosos mecanismos de adaptación como respuesta al entrenamiento resistido y contribuyen a cambios posteriores de la fuerza y tamaño musculares.

Respuestas al ejercicio de los factores de crecimiento insulinoides

El factor de crecimiento insulinoide tipo I ha sido el principal IGF estudiado en el contexto del ejercicio por su prolífico papel en el anabolismo de las proteínas (146, 150). También es una superfamilia de polipéptidos y proteínas transportadoras con grandes implicaciones para la salud y el rendimiento (148). Se desconocen las razones exactas de los incrementos agudos en los niveles sanguíneos de IGF-I, aunque probablemente estén relacionadas con la disrupción de distintas células, como adipocitos y miocitos, porque estas células fabrican y almacenan IGF (183). El factor de crecimiento insulinoide tipo I existe a lo largo de distintos biocompartimentos (sangre, líquido intersticial y músculo), y se ha examinado si las respuestas al ejercicio del IGF-I circulante reflejan lo que ocurre en los líquidos locales que rodean el músculo. En este estudio de hombres y mujeres, se ha demostrado que el aumento total de IGF-I libre circulante no guardaba correlación con los incrementos de las concentraciones de IGF-I en el líquido intersticial o del contenido proteínico muscular de IGF-I (151). Tales datos revelaron que los incrementos del IGF-I circulante inducidos por el ejercicio no reflejan la transmisión local de IGF-I que se produce, lo cual demuestra que las concentraciones circulantes son solo un punto de vista de los patrones de respuesta endocrina. El IGF tarda de 8 a 24 horas en producirse y ser liberado por el hígado después de la estimulación por la GH (9, 30). Esto parece indicar que el IGF se libera de fuentes almacenadas y distintas al hígado, que la liberación se debe a la disrupción de células que ya contienen IGF, o que la liberación de IGF mediada por la GH con ciertos tipos de ejercicio tiene un curso temporal distinto al de los estudios sobre la respuesta a la inyección de esteroides. Alteraciones sistemáticas de las concentraciones circulatorias del IGF como respuesta a diversos tipos de protocolos de ejercicio parecen guardar estrecha relación con los efectos reguladores de la liberación y transporte de IGF (13). Es necesario evaluar los cambios séricos durante largos períodos de tiempo para valorar las relaciones y efectos específicos de la GH en el suero (46). En hombres y mujeres, el IGF-I se ha mantenido estable a pesar de las mejoras

de la fuerza y la potencia durante un programa de entrenamiento de dos meses (147). Los incrementos relacionados con el ejercicio parecen ocurrir antes si las concentraciones en reposo son bajas (p. ej., de 10 a 20 nmol/L). Por tanto, la estabilidad de las concentraciones en reposo tal vez resulte afectada por las cantidades absolutas de IGF-I circulante. Con entrenamiento, concentraciones más elevadas en reposo (p. ej., 35-45 nmol/L) pueden hacer que los incrementos inducidos por un ejercicio intenso sean menos probables. Lo más importante es que las formas libres que no están unidas a ninguna proteína transportadora tal vez sean elementos eficaces que influyen en los tejidos de destino (66, 149, 160), sobre todo el músculo esquelético.

Los mecanismos de liberación autocrina y tal vez paracrina de IGF-I tal vez tengan importancia vital en la influencia del IGF-I en el músculo. En reposo, los adipocitos contienen concentraciones relativamente altas de IGF, y el músculo esquelético tiene muy poco IGF propio. Sin embargo, la estimulación mecánica, la sobrecarga y el estiramiento de los miocitos, como en el entrenamiento resistido, provocan un incremento sustancial de su producción de IGF-I. El factor del crecimiento insulinoide tipo I producido en el músculo a menudo recibe el nombre de factor mecánico de crecimiento, y desempeña funciones autocrinas (63, 141). Se ha sugerido que las acciones autocrinas del factor mecánico de crecimiento son las acciones principales del IGF-I en el músculo. También se ha propuesto que las variantes de corte y empalme de IGF-I tal vez regulen la diferenciación de mioblastos mediante acciones del IGF-I maduro y no de los péptidos E, por lo que el examen de este tema sigue siendo de gran interés (137). Es posible que el IGF se libere de células no hepáticas sin la mediación de la GH (1, 2, 45, 77, 82, 83). Además, tal vez las células produzcan y conserven IGF, de modo que este ejerza su efecto sin entrar en la circulación periférica.

Aunque el IGF-I ha demostrado responder al ejercicio en algunos estudios, no sigue una respuesta endocrina clásica en todos los casos (es decir, el estímulo de la glándula por el ejercicio causa la liberación de la hormona en la sangre). Se demostró que el IGF-I respondía al ejercicio resistido en hombres y mujeres, pero en esos estudios las concentraciones iniciales fueron más bajas (113, 114). En otro estudio, las concentraciones fueron más altas, pero a pesar de los incrementos de la GH inmunorreactiva (22 kDa), no se observó ningún incremento del IGF-I (118). A partir de estos estudios se ha esbozado la teoría de que el nivel inicial del IGF-I tal vez sea un factor a tener en cuenta al determinar si se produce algún incremento con el ejercicio

(es decir, sin incrementos si las concentraciones iniciales son altas, y con ellos si las concentraciones iniciales son bajas). Un estudio de Kraemer (121) respaldó esta teoría, pero también se demostró que las concentraciones de IGF-I eran más sensibles a las cargas calóricas elevadas, como la suplementación con hidratos de carbono y proteínas, antes y después de una sesión de ejercicio.

Adaptaciones al entrenamiento de los factores de crecimiento insulinoides

Las respuestas del IGF-I al entrenamiento resistido con grandes cargas se mantienen variables, pero los estudios demostraron que los cambios se basan en las concentraciones iniciales antes del entrenamiento (es decir, si las concentraciones basales son bajas, el IGF-I aumenta; si son altas, no hay cambio ni decrecen) (W. J. Kraemer, datos de un estudio sin publicar). Además, la ingesta de comida o el nivel de restricción calórica (o ambas) influyen en las concentraciones sanguíneas en reposo e inducidas por el ejercicio (80, 109). En las mujeres, el entrenamiento resistido demostró aumentar el IGF-I total y reducir las concentraciones de la proteína 1 transportadora de IGF durante el ejercicio resistido agudo, lo cual indica que puede haber adaptaciones específicas al modo de ejercicio en el sistema del IGF-I circulante (67). Los efectos del entrenamiento siguen siendo una historia inacabada como muchos de los aspectos de los patrones de respuesta de la superfamilia del IGF (149). Al igual que con la GH, las adaptaciones inducidas por el entrenamiento del IGF-I probablemente se reflejen en distintos mecanismos relacionados con el tipo de IGF, con la liberación, transporte e interacción con los receptores. Además, la interacción con otras hormonas anabólicas no se puede pasar por alto, ya que estas a menudo buscan el mismo resultado (p. ej., la síntesis de proteínas). Todavía se requieren nuevas investigaciones sobre las adaptaciones del IGF-I al entrenamiento resistido con grandes cargas en diversos tejidos.

Hormonas de las glándulas suprarrenales

La glándula suprarrenal desempeña un papel crucial en el fenómeno de la respuesta de lucha o huida y presenta dos divisiones principales: la médula (centro) y la corteza. Ambas divisiones responden al esfuerzo del ejercicio. La médula suprarrenal es estimulada directamente por el sistema nervioso y,

por tanto, activa una respuesta rápida y casi inmediata; la corteza es estimulada por la hormona adrenocorticotropa (ACTH) liberada por la adenohipófisis. Las hormonas suprarrenales más importantes para el entrenamiento y el acondicionamiento físico son el cortisol, un glucocorticoide de la corteza suprarrenal, las catecolaminas (adrenalina, noradrenalina y dopamina) y los polipéptidos, que contienen encefalina (p. ej., péptido F) y son liberados por la médula suprarrenal (95, 104, 109, 116, 182). El péptido F, un fragmento de proencefalina, desempeña un papel importante en la mejora de las funciones de los inmunocitos (182). Por tanto, la médula suprarrenal secreta hormonas implicadas en la reacción inmediata al esfuerzo y en la recuperación posterior de dicho esfuerzo.

Cortisol

Los glucocorticoides, y más específicamente el cortisol en el ser humano, se han considerado clásicamente como hormonas catabólicas presentes en el músculo esquelético (45, 47, 129). En realidad, el cortisol es la principal hormona transmisora del metabolismo de los hidratos de carbono y está relacionada con las reservas de glucógeno del músculo. Cuando las concentraciones de glucógeno son bajas, se deben catabolizar otros substratos (proteínas) para producir energía y mantener las concentraciones de glucosa sanguínea. Las concentraciones de cortisol experimentan grandes subidas y bajadas sujetas al ritmo circadiano; la concentración es máxima por la mañana temprano y desciende durante el día. Por tanto, el momento del día es una consideración importante cuando se examinan los niveles de cortisol o se comparan los resultados.

Papel del cortisol

El cortisol ejerce sus principales efectos catabólicos al estimular la conversión de aminoácidos en hidratos de carbono, elevar el nivel de **enzimas proteolíticas** (enzimas que degradan proteínas), inhibir la síntesis de proteínas y anular muchos procesos glucodependientes, como la glucogénesis y la función de los inmunocitos (51). El cortisol manifiesta sus mayores efectos catabólicos en las fibras musculares tipo II, lo cual, al menos en parte, se podría deber a que contienen más proteínas que las fibras musculares tipo I; no obstante, el cortisol podría estar igualmente implicado en el control de la degradación de las fibras musculares tipo I (162). Las

fibras musculares tipo I dependen más de que se reduzca la degradación de proteínas para desarrollar hipertrofia muscular, en contraste con el espectacular incremento de la síntesis de proteínas usado por las fibras musculares tipo II para conseguir esa hipertrofia.

En casos de enfermedad, inmovilización articular o lesión, la elevación de los niveles de cortisol media en la pérdida de nitrógeno y en la pérdida neta de proteína contráctil. Las consecuencias son atrofia muscular y reducción asociada de la producción de fuerza (45, 133). En el músculo, los efectos anabólicos de la testosterona y la insulina contrarrestan los efectos catabólicos del cortisol. Si un gran número de receptores se unen a la testosterona y este complejo receptor de hormonas bloquea el elemento genético en el ADN con el que se pueden ligar el cortisol y su complejo receptor, el número de proteínas se conserva o aumenta. Por el contrario, si un mayor número de receptores se unen al cortisol, la proteína se degrada y se pierde. El equilibrio de las actividades anabólicas y catabólicas en el músculo afecta a la unidad contráctil e influye directamente en la fuerza. El aumento agudo de los niveles de cortisol circulante después del ejercicio también implica la presencia de mecanismos de respuesta inflamatoria en la remodelación tisular (51).

Respuestas del cortisol al ejercicio resistido

Al igual que sucede con la GH 22 kDa, parece ser que los niveles de cortisol aumentan con el ejercicio resistido, sobre todo cuando los períodos de descanso son cortos y si el volumen total de trabajo es alto (116, 178). Los incrementos del nivel de cortisol tal vez no tengan efectos negativos sobre los hombres después de un período de entrenamiento al que se ha adaptado el cuerpo; la adaptación «desinhibe» el cortisol a nivel de los testículos, con lo cual se mantiene la influencia de la testosterona sobre sus receptores nucleares.

El cortisol responde a los protocolos de ejercicio resistido que generan un estímulo de gran efecto en el metabolismo anaeróbico. Es interesante que la selección entre las variables agudas de un programa que causan las máximas respuestas catabólicas también produzca la máxima respuesta de la GH (116, 166, 178). De este modo, aunque niveles elevados mantenidos de cortisol tengan efectos adversos, los incrementos puntuales tal vez formen parte de un proceso de remodelación más amplio en el tejido muscular. El músculo debe sufrir algún grado de rotura (sin alcanzar los niveles de lesión) para

remodelarse y aumentar de tamaño; las elevaciones agudas del nivel de cortisol favorecen este proceso de remodelación ayudando a la remoción de las proteínas dañadas.

Debido al papel catabólico del cortisol, los atletas y especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico tienen mucho interés en su potencial como marcador de la degradación de tejido en todo el cuerpo. Hasta cierto punto esto es cierto, si bien la magnitud del incremento tal vez debe superar 800 nmol/L para indicar problemas potenciales por sobreentrenamiento (55, 56, 58, 59). El cociente testosterona-cortisol también ha servido para intentar determinar el estado anabólico-catabólico del cuerpo (70). Aunque estos marcadores resulten atractivos a nivel conceptual, las mediciones del cortisol sérico y el cociente testosterona-cortisol solo han tenido un éxito limitado en la predicción o monitorización de cambios en la fuerza y potencia (124). Es probable que los problemas con estas pruebas estén relacionados con los múltiples roles del cortisol y otras hormonas.

Pocos estudios han investigado el efecto del ejercicio resistido sobre los receptores de glucocorticoides en el tejido muscular, aunque datos recientes revelan que, en hombres entrenados, se han hallado concentraciones de receptores significativamente más bajas en reposo y durante un período de recuperación de 70 minutos después del ejercicio, en comparación con los de mujeres (188). Simultáneamente, se apreció en mujeres una disminución y luego un incremento de su capacidad transportadora de andrógenos durante los 70 minutos posteriores al mismo protocolo de ejercicio, mientras que en los hombres solo se apreció una continua regulación decreciente. Esto manifiesta que las mujeres, frente a una menor concentración de testosterona, mostraron más rápidamente una regulación al alza de los receptores de andrógenos, mientras que los receptores de corticoides ya habían experimentado dicha regulación creciente antes de la sesión de ejercicio.

Resulta interesante que, por lo que concierne a los linfocitos B, se observase una regulación al alza de los receptores de glucocorticoides en hombres y mujeres antes, durante y después del ejercicio durante una hora (52). Sin embargo, ante un protocolo duro de 5RM, las mujeres no mostraron un incremento en las concentraciones de cortisol en sangre, cosa que sí sucedió en los hombres. Esto indica diferencias en el estímulo entre sexos, si bien son similares las respuestas de los receptores de las células inmunitarias al cortisol. Estos datos indican que los distintos tejidos de destino pueden responder de manera diferente al cortisol, así como a otras señales

hormonales.

Es probable que se observen grandes diferencias en el papel fisiológico del cortisol en las respuestas agudas frente a las crónicas al ejercicio resistido. Las respuestas agudas del cortisol tal vez reflejen el esfuerzo metabólico del ejercicio, mientras que los aspectos crónicos quizá intervengan sobre todo en la homeostasis tisular concerniente al metabolismo de las proteínas (45, 51). Por tanto, el papel del cortisol en el sobreentrenamiento, el desentrenamiento o las lesiones puede ser crítico cuando se observa atrofia del tejido y disminución de la capacidad de producción de fuerza (133). Estos roles todavía se tienen que demostrar; no obstante, el papel del cortisol en la función supresora de las células del sistema inmunitario (p. ej., células B y T) tiene un impacto directo sobre la recuperación y remodelación del tejido del músculo esquelético. Este impacto del cortisol sobre las células inmunitarias puede ser enorme y su principal efecto es «desactivar» las funciones de las células inmunitarias, lo cual contribuye parcialmente a la inmunosupresión observada tras un esfuerzo intenso (51). Con ejercicio resistido con grandes cargas, la expresión de los receptores de glucocorticoides en las células B disminuyó con el ejercicio y aumentó durante la recuperación, lo cual demuestra una mayor capacidad transportadora, lo que a su vez redujo la actividad de las células B durante la recuperación (52). Los efectos se atenuaron un tanto en las mujeres en comparación con los hombres de similar nivel de entrenamiento, lo cual reveló una diferencia en la magnitud de las respuestas entre sexos.

Los protocolos de ejercicio resistido de volumen elevado, con grandes grupos musculares y con períodos cortos de descanso aumentan los valores de cortisol sérico (119). Aunque las concentraciones elevadas crónicas de cortisol puedan inducir efectos catabólicos adversos, los incrementos agudos todavía contribuyen a la remodelación del tejido muscular y al mantenimiento de la glucosa sanguínea.

Catecolaminas

Las catecolaminas —sobre todo la adrenalina, pero también la noradrenalina y la dopamina— son secretadas por la médula suprarrenal y son importantes para la expresión aguda de fuerza y potencia, puesto que las hormonas actúan como estimuladores motores centrales y dilatadores vasculares periféricos, y potencian los sistemas enzimáticos y la liberación de calcio en el músculo (95). Por tanto, el esfuerzo inducido por ejercicio resistido causa efectos

similares a los de la respuesta clásica de lucha o huida. La importancia de las catecolaminas durante el ejercicio resistido se puso de manifiesto con el hallazgo de que los hombres con una mayor liberación de catecolaminas inmediatamente antes y durante una sesión dura de ejercicio resistido eran más capaces de mantener la producción de fuerza durante toda la sesión (53). El papel de las catecolaminas en la estimulación del crecimiento del tejido muscular no está tan claro, pero sí que estimulan otras hormonas anabólicas.

Papel de las catecolaminas

Las funciones fisiológicas de la adrenalina y la noradrenalina en el músculo son las siguientes:

- Aumentar la producción de fuerza a través de mecanismos centrales, así como la actividad de las enzimas metabólicas.
- Estimular la velocidad de contracción muscular.
- Elevar la tensión arterial.
- Incrementar la disponibilidad de energía.
- Intensificar el riego sanguíneo de los músculos (vasodilatación).
- Aumentar los índices de secreción de otras hormonas, como la testosterona.

Las catecolaminas parecen reflejar las exigencias elevadas y el esfuerzo físico de los protocolos de ejercicio resistido (105). Se ha demostrado que la exigente rutina de ejercicio resistido (10 ejercicios, tres series) de alta intensidad (10RM) y descansos cortos (10-60 segundos entre series y ejercicios), que suelen usar los fisioculturistas para desarrollar la fuerza y potenciar la hipertrofia, mantiene un incremento de los niveles plasmáticos de noradrenalina, adrenalina y dopamina durante cinco minutos tras el ejercicio (105). Además, la adrenalina guarda correlación con las concentraciones de lactato acumuladas por el esfuerzo físico. Las respuestas suprarrenales no intervienen en las respuestas de la recuperación hasta que se interrumpe el esfuerzo. Algunos péptidos endógenos opioides (proencefalinas) son secretados por la médula suprarrenal e influyen en el sistema inmunitario, lo cual es crítico para la recuperación del esfuerzo físico (182). Si el entrenamiento no es variado, el esfuerzo continuo mantiene activa la glándula suprarrenal y, por tanto, la recuperación se difiere por las respuestas secundarias del cortisol y por sus efectos negativos sobre las células del

sistema inmunitario y las estructuras proteicas. A largo plazo, un esfuerzo elevado y continuo puede incluso derivar en agotamiento suprarrenal, momento en el que disminuirá la capacidad de la médula suprarrenal para liberar catecolaminas.

Adaptaciones de las catecolaminas al entrenamiento

Se ha demostrado que el entrenamiento resistido intenso eleva la capacidad de los atletas para secretar más adrenalina durante esfuerzos máximos (104). También se ha sugerido que el entrenamiento reduce las respuestas de la adrenalina a una sesión de solo *press* de banca (68). Como la adrenalina interviene en el control metabólico, en la producción de fuerza y en los mecanismos de respuesta de otras hormonas (como la testosterona, las GH y los IGF), probablemente la estimulación de las catecolaminas sea uno de los primeros mecanismos endocrinos que responde al ejercicio resistido.

Los protocolos de entrenamiento deben ser variados para que la glándula suprarrenal intervenga en los procesos de recuperación y para prevenir las respuestas secundarias del cortisol, que puede tener efectos negativos sobre el sistema inmunitario y las estructuras proteicas.

Otras consideraciones sobre las hormonas

Cierto número de hormonas intervienen en el mantenimiento de la función normal del organismo y en las respuestas adaptativas del cuerpo al entrenamiento resistido (26, 45, 46, 76, 87, 97, 107). Aunque nos centremos en una o dos hormonas por su intervención en una función fisiológica concreta, otras hormonas tienen que crear un medio óptimo en que se desarrollen las acciones de las hormonas principales. Hormonas como la insulina, las hormonas tiroideas y la endorfina β se han vinculado con el crecimiento, reparación, analgesia y mecanismos de adaptación al esfuerzo físico; desafortunadamente, son pocos los datos de que se dispone sobre sus respuestas y adaptaciones al ejercicio o entrenamiento resistidos (48, 116, 120). Debido al control homeostático relativamente estrecho sobre la secreción de insulina y la hormona tiroidea en personas sanas, no deben esperarse en esta población adaptaciones crónicas al entrenamiento de las concentraciones circulantes en reposo de estas hormonas. Aunque se han observado mejoras en la resistencia a la insulina en personas sanas después de un entrenamiento resistido, estos cambios quizá solo reflejen un efecto

agudo de la sesión de ejercicio más reciente (15). Es más probable que se vean afectados los cambios que se producen a largo plazo, como las tasas de secreción de 24 horas, la sensibilidad de los receptores y las interacciones de unión. Se ha prestado poca atención en la literatura al efecto del ejercicio y el entrenamiento resistidos sobre las hormonas tiroideas de personas sanas. McMurray (142) documentó que si bien la concentración de la hormona tiroidea triyodotironina (T3) no experimentaba una reacción aguda tras una tanda de ejercicio resistido, la concentración de tiroxina (T4), un precursor de T3, se elevaba de forma aguda y se reducía esa noche durante el sueño. En un estudio más reciente no se hallaron cambios en las concentraciones de T3 ni de T4, 24, 48 o 72 horas después de una tanda de ejercicio resistido (88). Esto sugiere que son breves los efectos de cualquier ejercicio resistido agudo sobre las hormonas tiroideas. Se han documentado reducciones transitorias a largo plazo en las concentraciones de T3 y T4 con un entrenamiento resistido después de seis meses (4) y de tres a cinco meses, respectivamente (4, 153), si bien volvieron a las concentraciones iniciales después de nueve meses de entrenamiento. Aunque se produzcan pocos cambios causados por estas hormonas, son muy importantes para las adaptaciones fisiológicas al entrenamiento resistido, dado que tienen efectos permisivos en el control metabólico, la síntesis de aminoácidos y el aumento de otros mecanismos de liberación hormonal.

¿Cómo pueden los atletas manipular el sistema endocrino con un entrenamiento resistido?

Conceptos generales

- Cuanto mayor sea el número de fibras musculares reclutadas, mayor será el alcance del proceso potencial de remodelación del músculo entero.
- Solo las fibras musculares activadas por el entrenamiento resistido se someten a adaptación, incluyendo las adaptaciones hormonales al esfuerzo.

Aumento de las concentraciones de testosterona sérica

Hace tiempo que se ha observado que las concentraciones de testosterona sérica muestran un incremento agudo con el uso de estos métodos, independientemente o combinados:

- Ejercicios para los grandes grupos musculares (p. ej., peso muerto, cargada de fuerza, sentadillas).
- Mucha resistencia (85-95% de 1RM).
- Volumen de ejercicio moderado a alto, ejecutado mediante múltiples series o muchos ejercicios.
- Intervalos cortos de descanso (30-60 segundos).

Aumento de las concentraciones de la hormona del crecimiento 22 kDa

Se ha observado que los niveles de la hormona del crecimiento experimentan un incremento agudo al usar cualquiera de estos métodos o ambos combinados:

- Lleva a cabo sesiones con mayores concentraciones de lactato y disrupciones asociadas del ácido básico; es decir, emplea ejercicio de gran intensidad (10RM, o grandes pesos) con tres series de cada ejercicio (volumen alto de trabajo total) y períodos de descanso cortos (1 minuto).
- Dieta suplementaria con hidratos de carbono y proteínas, antes y después de las sesiones de ejercicio.

Optimización de las respuestas de las hormonas suprarrenales

- Usa un elevado volumen de ejercicio con los grandes grupos musculares y períodos cortos de descanso para exponer el cuerpo a un esfuerzo que genere actividad adrenérgica. Hay que tener cuidado y variar con el tiempo el protocolo de entrenamiento y la duración de los períodos de descanso, de cortos a largos; programar días de descanso total y usar sesiones de menor volumen para que las glándulas suprarrenales intervengan en los procesos de recuperación, con el fin de reducir el esfuerzo sobre la médula suprarrenal y que no experimente agotamiento adrenérgico, y para reducir el esfuerzo de la corteza suprarrenal y prevenir secreciones crónicas de cortisol de la corteza suprarrenal. De este modo, el esfuerzo de los ejercicios no causará sobreentrenamiento ni extralimitación no funcional.

Conclusión

A medida que avanza el estudio del sistema endocrino y sus interacciones con el sistema nervioso, el sistema inmunitario y el sistema musculoesquelético, descubrimos que las funciones de estos sistemas están realmente integradas y son muy complejas. La comunicación entre sistemas se desarrolla mediante hormonas y otras moléculas de transmisión (p. ej., citocinas, quimiocinas, moléculas de transmisión de señales). Durante años, atletas y especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico han apreciado la importancia de las hormonas anabólicas en el desarrollo de los

cambios y en la adaptación del cuerpo al ejercicio resistido intenso. Tanto si se intenta mejorar el entrenamiento como si se trata de evitar el sobreentrenamiento, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe recordar que el sistema endocrino desempeña un papel importante. El objetivo de este capítulo ha sido ofrecer una primera aproximación a este complejo pero muy organizado sistema que media en los cambios que experimenta el cuerpo con el entrenamiento resistido.

TÉRMINOS CLAVE

célula del tejido de destino
complejo receptor de hormonas (H-RC)
enzima proteolítica
glándula endocrina
hormona
- anabólica
- catabólica
- esteroidea
- polipeptídica
- tiroidea

inmunología neuroendocrina
mensajero secundario
neuroendocrinología
punto de unión alostérica
reactividad cruzada
regulación decreciente
síndrome general de adaptación
teoría de la cerradura y la llave
variación diurna (nivel hormonal)

PREGUNTAS DE REPASO

(respuestas en la página 657)

1. Tras una tanda de entrenamiento resistido, las secreciones hormonales agudas proporcionan toda la información siguiente al cuerpo, EXCEPTO:
   a. El grado de esfuerzo fisiológico.
   b. Las exigencias metabólicas del ejercicio.

c. El tipo de esfuerzo fisiológico.
d. La energía gastada.

2. ¿Cuál de las siguientes hormonas potencian el crecimiento del tejido muscular?
I. Hormona del crecimiento.
II. Cortisol.
III. IGF-I.
IV. Progesterona.
a. Solo I y III.
b. Solo II y IV.
c. Solo I, II y III.
d. Solo II, III y IV.

3. ¿Cuál de las siguientes NO es una función de la hormona del crecimiento?
a. Aumento de la lipólisis.
b. Disminución de la síntesis de colágeno.
c. Aumento del transporte de aminoácidos.
d. Disminución de la utilización de glucosa.

4. ¿Cuál de las siguientes hormonas tiene la máxima influencia sobre los cambios neuronales?
a. Hormona del crecimiento.
b. Testosterona.
c. Cortisol.
d. IGF.

5. ¿Qué tipo de sesión de entrenamiento resistido favorece los máximos incrementos de la hormona del crecimiento tras una sesión de ejercicio?

	Descanso	*Volumen*	*Series*
a.	30 segundos	Alto	3
b.	30 segundos	Bajo	1
c.	3 minutos	Alto	1
d.	3 minutos	Bajo	3

CAPÍTULO 5

Adaptaciones a los programas de entrenamiento anaeróbico

Duncan French*

A la conclusión del capítulo, el lector:

- Diferenciará entre las adaptaciones al entrenamiento aeróbico y las adaptaciones anatómicas, fisiológicas y del rendimiento después del entrenamiento anaeróbico.
- Expondrá las adaptaciones neuronales de los sistemas nerviosos central y periférico al entrenamiento anaeróbico.
- Entenderá el modo en que la manipulación de las variables puntuales del entrenamiento de un programa periodizado altera el tejido óseo, muscular y conjuntivo.
- Elucidará los efectos agudos y crónicos del entrenamiento anaeróbico sobre el sistema endocrino.
- Explicará los efectos agudos y crónicos del entrenamiento anaeróbico sobre el sistema cardiovascular.
- Reconocerá las causas, signos, síntomas y efectos del sobreentrenamiento anaeróbico y el desentrenamiento.
- Debatirá cómo los programas de entrenamiento anaeróbico tienen capacidad potencial para mejorar la fuerza muscular, la resistencia física muscular, la potencia, la flexibilidad y el rendimiento motor.

* El autor agradece la significativa contribución de Nicholas A. Ratamess en la redacción de este capítulo.

Caracterizado por tandas de ejercicio intermitente y de gran intensidad, el **entrenamiento anaeróbico** requiere que el trifosfato de adenosina (ATP) se regenere a un ritmo más rápido del que es capaz el sistema aeróbico de energía. Por consiguiente, la diferencia en los requisitos energéticos la suple

el sistema anaeróbico de energía, que actúa en ausencia de oxígeno y comprende el **sistema anaeróbico aláctico** (también conocido como el sistema del fosfágeno o de la fosfocreatina) y el **sistema anaeróbico láctico** (también denominado sistema glucolítico). Las adaptaciones a largo plazo que ocurren como respuesta al entrenamiento anaeróbico están específicamente relacionadas con las características del programa de entrenamiento. Por ejemplo, las mejorías de la fuerza, la potencia, la hipertrofia, la tolerancia física de los músculos, las destrezas motoras y la coordinación se consideran adaptaciones beneficiosas derivadas de las modalidades de entrenamiento anaeróbico, por ejemplo: el entrenamiento resistido, los ejercicios pliométricos y el entrenamiento de velocidad, agilidad e interválico. El sistema aeróbico tiene, en última instancia, una implicación limitada en las actividades anaeróbicas de gran intensidad, aunque desempeña un papel importante en la recuperación de las reservas de energía durante períodos de ejercicio de baja intensidad o descanso (45).

Ejercicios como esprines y actividades pliométricas ejercitan sobre todo el sistema del fosfágeno; suelen durar menos de 10 segundos y reducen al mínimo el cansancio permitiendo una recuperación casi completa entre series (p. ej., de 5 a 7 minutos). El entrenamiento anaeróbico de tipo interválico y duración más prolongada recurre predominantemente a la producción de energía del sistema glucolítico, en el cual se adoptan intervalos de descanso más cortos (p. ej., de 20 a 60 segundos) durante el ejercicio de alta intensidad. La integración de ejercicio de alta intensidad con períodos cortos de descanso se considera un aspecto importante del entrenamiento anaeróbico, dado que a menudo se exige a los atletas que se ejerciten casi al máximo en condiciones de fatiga durante la competición. Sin embargo, es crítico que se programe y prescriba un entrenamiento anaeróbico apropiado con el fin de mejorar las adaptaciones fisiológicas que determinan el rendimiento. El deporte competitivo exige la interacción compleja de todos los sistemas de energía y muestra el modo en que todos ellos contribuyen en distinto grado a cubrir las exigencias metabólicas globales de la competición (tabla 5.1).

Se han documentado gran variedad de adaptaciones físicas y fisiológicas después del entrenamiento anaeróbico, y estos cambios permiten mejorar los valores del rendimiento atlético (tabla 5.2). Entre las adaptaciones encontramos cambios del tejido nervioso, muscular y conjuntivo, así como en los sistemas cardiovascular y endocrino. Comprenden desde cambios que

ocurren en la fase inicial del entrenamiento (p. ej., una a cuatro semanas) hasta aquellos que se producen tras muchos años de entrenamiento constante. La mayoría de los estudios de investigación han tratado las adaptaciones en las fases inicial e intermedia del entrenamiento (es decir, de 4 a 24 semanas). Conocer cómo los sistemas individuales del cuerpo humano responden a la actividad física usando el metabolismo anaeróbico proporciona una base de conocimiento a partir de la cual los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico planifican y predicen el resultado de un programa específico de entrenamiento para, de este modo, centrarse en influir eficazmente en los puntos fuertes y debilidades individuales.

Adaptaciones neuronales

Muchas modalidades de entrenamiento anaeróbico recalcan la expresión de la velocidad y potencia musculares, y dependen enormemente de un óptimo reclutamiento de las neuronas para lograr un rendimiento máximo (un entrenamiento de alta calidad). El entrenamiento anaeróbico tiene la capacidad potencial de provocar adaptaciones a largo plazo del sistema neuromuscular, empezando por los centros superiores del cerebro y descendiendo hasta el nivel de las fibras musculares individuales (figura 5.1). Las adaptaciones neuronales son fundamentales para mejorar el rendimiento atlético, y el aumento de la fuerza neural es crítica para potenciar al máximo la expresión de fuerza y potencia musculares. Se cree que la fuerza neural aumenta por un mayor reclutamiento muscular (es decir, los principales músculos implicados en un ejercicio o movimiento específicos), una mejora de la frecuencia de activación neuronal y una mayor sincronización de las descargas neuronales durante contracciones musculares de alta intensidad (4, 69, 166, 167, 174). También se cree que se produce una reducción de los mecanismos inhibidores (de los órganos tendinosos de Golgi) con el entrenamiento a largo plazo (1, 63). Aunque no se entienda plenamente el modo en que coexisten estas respuestas complejas, resulta evidente que las adaptaciones neuronales suelen ocurrir antes de que se manifiesten cambios estructurales en el músculo esquelético (167).

Adaptaciones del sistema nervioso central

El incremento de la activación de unidades motoras comienza en los centros superiores del cerebro, donde el propósito de generar niveles máximos de

fuerza y potencia musculares causa un aumento de la actividad de la corteza cerebral motora (41). A medida que se eleva el nivel de fuerza generada o cuando se empieza el aprendizaje de un nuevo ejercicio o movimiento, la actividad de la corteza motora primaria aumenta en un intento por respaldar la necesidad mejorada de la función neuromuscular. Las adaptaciones a los métodos de entrenamiento anaeróbicos se reflejan en cambios neuronales sustanciales en la médula espinal, sobre todo a lo largo de las vías corticoespinales descendentes (3). Después de usar métodos de entrenamiento anaeróbicos, se ha documentado que el reclutamiento de unidades motoras de contracción rápida aumenta para respaldar los mayores niveles de expresión de fuerza (151). Esta es una comparación de lo que se aprecia en personas no entrenadas (4), en las que la capacidad para reclutar al máximo unidades motoras es limitada, sobre todo las unidades motoras de contracción rápida. En personas no entrenadas o en aquellas que se recuperan de una lesión, se ha demostrado que la estimulación eléctrica es más eficaz que la activación voluntaria para que se manifiesten mejoras beneficiosas. Esta respuesta recalca la incapacidad potencial de estas poblaciones para activar con éxito todas las fibras musculares disponibles. Los estudios demuestran que solo el 71% del tejido muscular de población no entrenada se activa durante esfuerzos máximos (7).

TABLA 5.1 Exigencias metabólicas primarias en distintos deportes

Deporte	Sistema del fosfágeno	Sistema glucolítico	Sistema aeróbico
Artes marciales mixtas	Alta	Alta	Moderada
Atletismo cross	Alta	—	—
Atletismo de fuerza	Alta	Moderada a alta	Baja
Atletismo de fondo	—	Moderada	Alta
Atletismo de medio fondo	Alta	Alta	Moderada
Atletismo de velocidad	Alta	Moderada	—
Baloncesto	Alta	Moderada a alta	Baja
Béisbol	Alta	Baja	—
Boxeo	Alta	Alta	Moderada
Esgrima	Alta	Moderada	—
Esquí alpino	Alta	Alta	Moderada
Esquí de fondo	Baja	Baja	Alta
Fútbol	Alta	Moderada	Moderada
Fútbol americano	Alta	Moderada	Baja
Gimnasia	Alta	Moderada	—
Golf	Alta	—	Moderada
Halterofilia	Alta	Alta	Moderada
Hockey sobre hielo	Alta	Moderada	Moderada
Hockey sobre hierba	Alta	Moderada	Moderada
Lacrosse	Alta	Moderada	Moderada
Lucha libre	Alta	Moderada	Baja
Maratón	Baja	Baja	Alta
Natación distancias cortas	Alta	Moderada	—
Natación distancias largas	Baja	Moderada	Alta
Powerlifting	Alta	Baja	—
Remo	Baja	Moderada	Alta
Salto de trampolín	Alta	Baja	—
Tenis	Alta	Moderada	Baja
Tiro con arco	Alta	Baja	—
Ultrafondo	—	—	Alta
Voleibol	Alta	Moderada	—

Nota: Todos los tipos de metabolismo intervienen en cierta medida en todas las actividades.

Adaptaciones de las unidades motoras

La unidad funcional del sistema neuromuscular es la **unidad motora**. Compuesta por la motoneurona α y las fibras musculares que inerva, una unidad motora tal vez inerve menos de 10 fibras musculares en el caso de músculos pequeños e intrincados, o más de 100 fibras en los poderosos músculos del tronco y las extremidades. Cuando se busca la expresión de

fuerza máxima, se deben activar todas las unidades motoras disponibles en el músculo. El cambio en la frecuencia de activación de la unidad motora también influye en la capacidad de generar fuerza. El aumento de la fuerza con una mayor frecuencia de activación pone de manifiesto la sumación de contracciones musculares sucesivas, mediante la cual los potenciales de acción se solapan temporalmente. Al aumentar la frecuencia de activación de la unidad motora, las fibras musculares se activan continuamente por los subsiguientes potenciales de acción antes de que tengan tiempo de relajarse por completo tras un potencial de acción previo. La sumación de potenciales de acción solapados se expresa como fuerza contráctil aumentada (1). Estas frecuencias de activación representan un mecanismo de adaptación que ha demostrado mejorar mediante el entrenamiento resistido con grandes cargas (166). Las mejoras de la fuerza y potencia máximas de los músculos agonistas se suelen asociar con: (*a*) un mayor reclutamiento; (*b*) un aumento de la frecuencia de activación, y (*c*) una mayor sincronización de las descargas neurales, que coordinan la actividad de múltiples músculos en sinergia (173), o (*d*) una combinación de los tres factores.

TABLA 5.2 Adaptaciones fisiológicas al entrenamiento resistido

Variable	Adaptación al entrenamiento resistido
Rendimiento	
Fuerza muscular	Aumenta
Resistencia muscular	Aumenta para la producción de potencia elevada
Potencia aeróbica	No cambia o aumenta ligeramente
Potencia anaeróbica	Aumenta
Ritmo de producción de fuerza	Aumenta
Salto vertical	Mejora de la capacidad
Velocidad de esprín	Mejora
Fibras musculares	
Área transversal de las fibras	Aumenta
Densidad capilar	No cambia o disminuye
Densidad mitocondrial	Disminuye
Densidad miofibrilar	No cambia
Volumen miofibrilar	Aumenta

Densidad citoplasmatica	Aumenta
Proteína miosina de cadena pesada	Aumenta
Actividad enzimática	
Creatinfosfocinasa	Aumenta
Miocinasa	Aumenta
Fosfofructocinasa	Aumenta
Lactato deshidrogenasa	Sin cambio ni variables
ATPasa de sodio-potasio	Aumenta
Reservas metabólicas de energía	
ATP almacenado	Aumenta
Fosfocreatina almacenada	Aumenta
Glucógeno almacenado	Aumenta
Triglicéridos almacenados	Tal vez aumente
Tejido conjuntivo	
Fuerza de los ligamentos	Tal vez aumente
Fuerza de los tendones	Tal vez aumente
Contenido de colageno	Tal vez aumente
Densidad ósea	Sin cambio ni incrementos
Composición corporal	
Porcentaje de grasa corporal	Disminuye
Masa libre de grasa	Aumenta

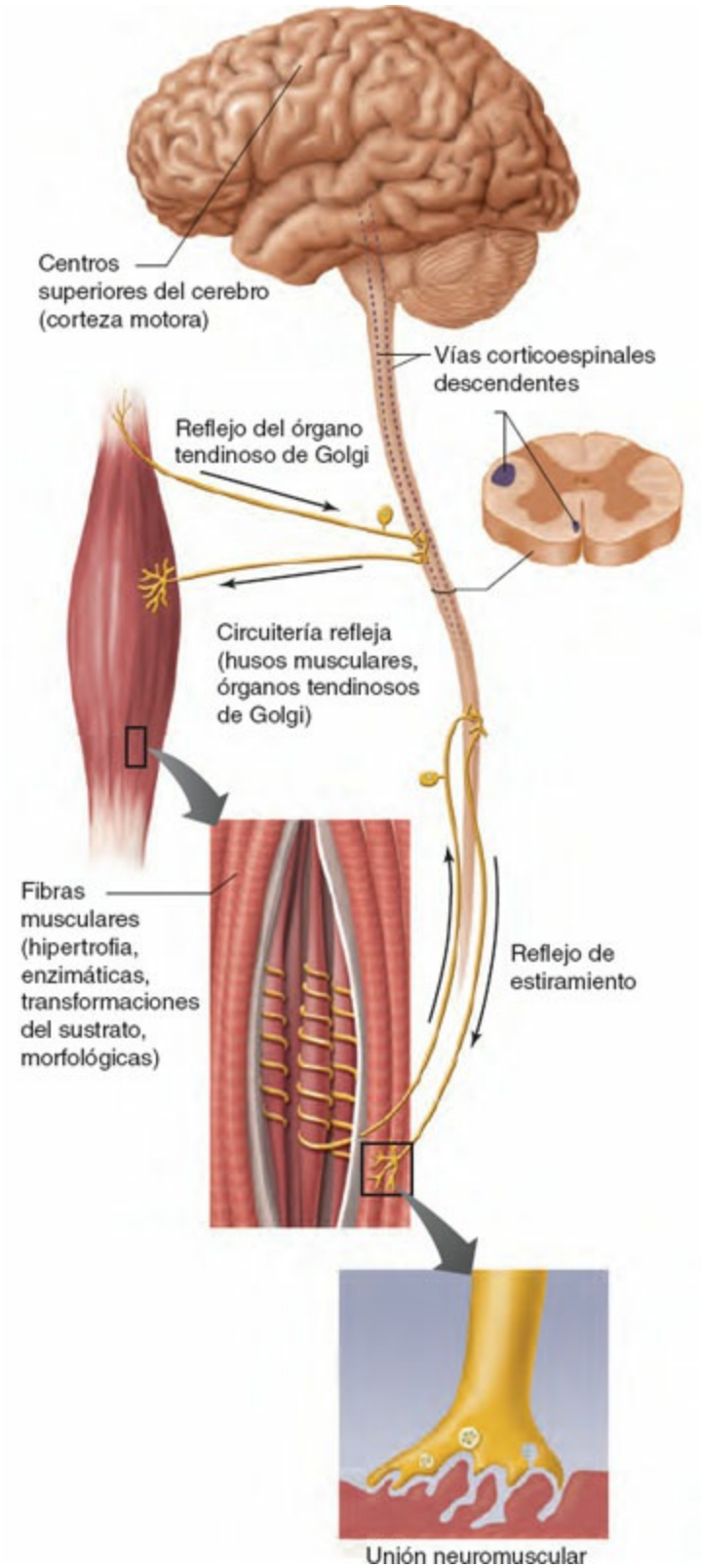


FIGURA 5.1 Puntos potenciales de adaptación dentro del sistema neuromuscular.

El reclutamiento y la desactivación de unidades motoras de manera ordenada se rigen por el **principio del tamaño** (figura 5.2), que representa la relación entre la fuerza de contracción de las unidades motoras y su umbral de reclutamiento (166, 167). Según este principio, las unidades motoras se reclutan en orden ascendente de acuerdo con sus umbrales de reclutamiento y sus frecuencias de activación. Esto representa una continuidad de fuerza voluntaria en el músculo agonista. Como la mayoría de los músculos contienen distintas proporciones de fibras musculares tipo I y tipo II, la producción de fuerza varía desde niveles muy bajos hasta máximos. Las unidades motoras situadas en primer lugar en el orden de reclutamiento se emplean sobre todo para la producción de fuerza, velocidad y potencia elevadas. A medida que aumenta la exigencia de expresión de fuerza, las unidades motoras se reclutan siguiendo una secuencia de unidades motoras de umbral bajo a alto. Por tanto, con un entrenamiento resistido con grandes cargas, todas las fibras musculares aumentan de tamaño (77, 183, 184) porque en su mayoría se reclutan con cierto orden para producir los niveles más altos de fuerza requerida para levantar cargas progresivamente mayores. La producción de fuerza máxima no solo requiere el reclutamiento de un porcentaje máximo de unidades motoras disponibles —como las unidades motoras de umbral alto—, sino que también depende del reclutamiento que ocurre con frecuencias de activación muy altas, lo que favorece la sumación de unidades motoras activadas y, como consecuencia, aumenta la magnitud de la actividad contráctil. Una vez que se recluta una unidad motora, se necesita una menor activación para que se vuelva a reclutar (69). Este fenómeno tal vez ofrezca ramificaciones importantes para el entrenamiento de la fuerza y la potencia, puesto que las unidades motoras de umbral alto se reactivarán con más presteza con posterioridad al reclutamiento previo.

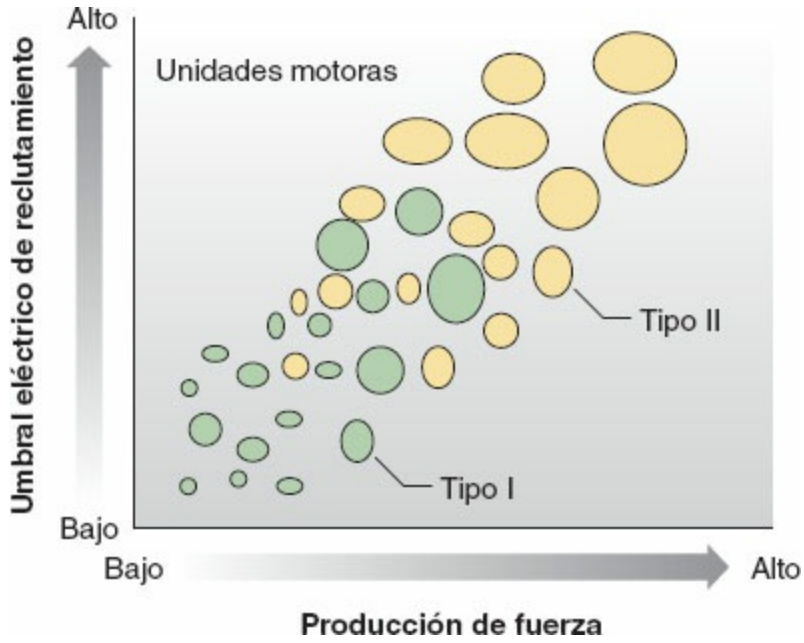


FIGURA 5.2 Representación gráfica del principio del tamaño, según el cual las unidades motoras que contienen fibras tipo I (de contracción lenta) y tipo II (de contracción rápida) siguen una organización basada en el tamaño. Las unidades motoras de umbral bajo se reclutan primero y su capacidad de generar fuerza es menor que la de las unidades motoras de umbral más alto. En general, para activar las unidades motoras de umbral alto, el cuerpo recluta primero las unidades motoras de umbral más bajo. Existen excepciones, sobre todo en lo concerniente a las contracciones balísticas y explosivas, que reclutan selectivamente unidades de umbral alto para generar con rapidez más fuerza y potencia.

Existen excepciones al principio del tamaño. Bajo ciertas circunstancias, un atleta es capaz de inhibir las unidades motoras de umbral más bajo y activar en su lugar unidades motoras de umbral más alto (148, 149). Este **reclutamiento selectivo** es crítico cuando se requiere producir fuerza a velocidades muy altas para expresar potencia muscular. Tanto los rápidos cambios de dirección de la producción de fuerza como las contracciones musculares balísticas —presentes en los patrones de movimiento de la halterofilia olímpica, los ejercicios pliométricos y el entrenamiento de velocidad, potencia y agilidad— parece que derivan en un reclutamiento preferente de unidades motoras de contracción rápida (148, 189). Esta variación en el orden de reclutamiento beneficia las modalidades de entrenamiento de alta velocidad en las que la tasa de producción de fuerza es vital para el éxito. Por ejemplo, a los atletas les resultaría muy difícil generar suficiente velocidad y potencia angulares para conseguir una altura máxima en el salto vertical si hubieran tenido que reclutar todo el conjunto de unidades motoras de contracción lenta antes de la activación de las unidades

de contracción rápida. Como el tiempo entre el contramovimiento y la batida del siguiente salto a menudo es inferior a 0,4 segundos, simplemente no hay tiempo suficiente para reclutar en orden todas las unidades motoras y ejecutar un salto explosivo (4, 113). En su lugar, el reclutamiento selectivo parece ser un beneficioso mecanismo neuronal intrínseco que favorece el ejercicio explosivo. Además, el uso de métodos específicos de entrenamiento tal vez mejore el reclutamiento selectivo, que a su vez mejorará el rendimiento deportivo (149).

Con un entrenamiento resistido con grandes cargas, todas las fibras musculares aumentan de tamaño (hipertrofia), porque las unidades motoras se reclutan por orden de tamaño para producir niveles altos de fuerza. En el caso de halterófilos de nivel avanzado, el sistema nervioso central a veces se adapta permitiendo a los atletas bien entrenados reclutar ciertas unidades motoras sin seguir un orden consecutivo, reclutando primero las unidades más grandes para favorecer una mayor producción de potencia o velocidad en un movimiento.

Otro elemento crítico de adaptación en el reclutamiento neuronal es el nivel de activación del tejido que se produce con un entrenamiento resistido prolongado para conseguir hipertrofia muscular. Los estudios han demostrado que, a medida que aumenta el tamaño muscular, ya no se requiere tanta activación neuronal para levantar una carga dada. Ploutz (157) documentó que se activaban menos fibras del músculo cuádriceps cuando se levantaba una carga establecida después de nueve semanas de entrenamiento resistido, y que eso se tradujo en un incremento del 5% en el tamaño muscular. Tales resultados demostraron la importancia de la sobrecarga progresiva durante el entrenamiento resistido y cómo favorece el reclutamiento continuado de una cantidad óptima de tejido muscular.

Otras adaptaciones de las unidades motoras son los cambios en la frecuencia y secuencia de activación. Existe una relación positiva entre la magnitud de fuerza producida y la frecuencia de activación de las unidades motoras; las frecuencias altas de activación desde el inicio de la contracción muscular balística son especialmente críticas para elevar la tasa de desarrollo de fuerza (1). El aumento de la frecuencia de activación (frente al reclutamiento) parece estar relacionado con el tamaño muscular, de tal forma que los músculos más pequeños dependen más de un incremento de la frecuencia de activación para mejorar la producción de fuerza, mientras que los músculos más grandes dependen más del reclutamiento (48, 63). Las pruebas sugieren que el entrenamiento anaeróbico influye en la mejora de las

frecuencias de activación de las unidades motoras reclutadas (4). Por ejemplo, el entrenamiento resistido puede derivar en un patrón más sincronizado (es decir, la activación de dos o más unidades motoras a intervalos fijos) de activación durante el despliegue de grandes fuerzas, en vez del habitual patrón asíncrono de la función motora (50, 174). Aunque todavía no haya quedado del todo claro el papel específico de la sincronización de unidades motoras durante el entrenamiento anaeróbico, la sincronización es potencialmente mucho más importante para la *coordinación* de la producción de fuerza y menos significativa para el nivel general de desarrollo de fuerza.

Unión neuromuscular

La **unión neuromuscular** es la interfaz entre el nervio y las fibras de músculo esquelético, y representa otro punto potencial para la adaptación neuronal al entrenamiento anaeróbico (38, 39). Debido a la dificultad para investigar esta estructura, la mayoría de los estudios que examinan esta interfaz han empleado modelos animales para demostrar su adaptación al ejercicio. Deschenes (40) examinó el impacto que sobre la unión neuromuscular del músculo sóleo de ratas tiene el entrenamiento en cinta sin fin con ejercicio de intensidad alta frente a baja. Después de correr con intensidad alta y baja, se halló que aumentaba el área total de la unión neuromuscular. Sin embargo, con el entrenamiento de alta intensidad las sinapsis que se formaron fueron más irregulares y dispersas, y la longitud total de la ramificación terminal de los nervios fue mayor en comparación con el entrenamiento de baja intensidad. En otro estudio, tras siete semanas de entrenamiento resistido, también se halló que el área y longitud del perímetro de las placas terminales eran mayores, y también hubo una mayor dispersión de los receptores de acetilcolina en la región de la placa terminal (39). Estas adaptaciones sugieren que el entrenamiento anaeróbico induce cambios morfológicos beneficiosos en la unión neuromuscular que mejoran las capacidades de transmisión neuronal.

Potenciación del reflejo neuromuscular

El entrenamiento anaeróbico genera cambios positivos en la respuesta refleja (reflejo de estiramiento muscular o reflejo de los husos musculares) del sistema neuromuscular y mejora la magnitud y tasa de desarrollo de fuerza

mediante dicho reflejo. Este **reflejo miotático** limita las propiedades elásticas involuntarias del músculo y del tejido conjuntivo, y aumenta positivamente la producción de fuerza sin ningún requisito energético adicional. Concretamente, se ha observado que el entrenamiento resistido aumenta la potenciación refleja entre un 19% y un 55% (5). Además, los atletas que siguen un entrenamiento resistido (halterófilos, *powerlifters*) tienen una mayor potenciación refleja en el músculo sóleo en comparación con personas sin entrenamiento (170).

Entrenamiento anaeróbico y estudios de electromiografía

La **electromiografía (EMG)** es una herramienta habitual de estudio para examinar la magnitud de la activación neuronal en el músculo esquelético. Se suelen usar dos tipos de EMG en contextos aplicados y de investigación: EMG de superficie y EMG intramuscular (mediante agujas y electrodos de alambre fino). La EMG de superficie requiere la colocación de electrodos adhesivos sobre la superficie de la piel, donde monitorizan una gran área del músculo subyacente (152). La EMG de superficie a menudo es más eficaz para monitorizar el músculo superficial, puesto que es incapaz de puentear los potenciales de acción de los músculos superficiales ni de detectar la actividad de los músculos más profundos. Por otra parte, cuanta más grasa corporal tenga el individuo, más probable será que la señal EMG sea más débil con el uso de esta metodología. En comparación con la EMG intramuscular, se adormece la superficie cutánea y se inserta un electrodo de aguja —una aguja que contiene dos electrodos de alambre fino— en la piel y se fija en el vientre del músculo. Los electrodos de alambre fino acentúan una especificidad de evaluación, porque se localizan en un músculo de interés y registran con precisión potenciales de acción de unidades motoras localizadas (85). Debido a su invasividad, la EMG intramuscular se emplea sobre todo en contextos de investigación o en condiciones clínicas. Aunque a menudo sea difícil determinar los mecanismos específicos (un mayor reclutamiento, la frecuencia de descarga o sincronización, la inhibición de los órganos tendinosos de Golgi) que influyen en los impulsos EMG, un aumento de la señal EMG revelará una mayor actividad neuromuscular.

Una consideración importante que hay que tener en cuenta al examinar el sistema neuromuscular es el estado de entrenamiento de una persona. Las

adaptaciones neuronales (coordinación y aprendizaje motor mejorados) predominan en la fase inicial del entrenamiento sin incrementos concomitantes de la hipertrofia muscular (73, 75-77). Además, el inicio de la hipertrofia se asocia con un declive de la actividad EMG (145). Parece ser que, a medida que mejora el estado de entrenamiento de una persona, existe una acción recíproca entre los mecanismos neuronal e hipertrófico que contribuye a mejorar la fuerza y la potencia.

Sale (166, 167) registró notables incrementos en la adaptación neuronal durante la parte inicial de un programa de entrenamiento (de 6 a 10 semanas). A medida que aumenta la duración del entrenamiento (más de 10 semanas), se produce hipertrofia muscular, y estos cambios estructurales contribuyen más al aumento de la fuerza y la potencia que a las adaptaciones neuronales. Al final, la hipertrofia muscular alcanza una meseta porque se produce una *acomodación* a la carga del entrenamiento. Sin embargo, durante ese período, si se incorpora una nueva variación o una sobrecarga progresiva al plan de entrenamiento, las adaptaciones neuronales contribuirán de nuevo a la mejoría del rendimiento, actuando para tolerar los «nuevos» daños físicos causados por el entrenamiento. Este patrón se reproduce con cada cambio gradual en la exigencia del entrenamiento, y a medida que los atletas progresan, el tipo de programa utilizado puede ser uno de los factores más importantes a tener en cuenta (77, 80, 161). Los factores neuronales son especialmente importantes para que mejore la fuerza en programas que utilizan intensidades de entrenamiento muy altas (>85% de 1 repetición máxima [1RM]) (145). Los programas de entrenamiento concebidos para desarrollar la potencia muscular también aportan un potente estímulo al sistema nervioso y elevan la actividad EMG posentrenamiento (149).

Los estudios electromiográficos han documentado ciertos datos interesantes sobre las adaptaciones neuronales al entrenamiento anaeróbico:

- El músculo ejercitado que se somete a entrenamiento resistido unilateral transfiere un aumento de fuerza y actividad neuronal al músculo en reposo de la extremidad contralateral, un fenómeno conocido como **efecto cruzado** (89). Una revisión de la literatura ha demostrado que la fuerza de la extremidad no entrenada aumenta hasta un 22%, con un incremento medio de la fuerza de aproximadamente un 8% (147). El aumento de la fuerza de la extremidad no entrenada se acompaña de una mayor actividad EMG en dicha extremidad (176), y eso sugiere que la

adaptación neuronal ocurrida en el sistema nervioso central explica en gran parte el incremento de la fuerza.

- En personas sin entrenar es evidente que ocurre un **déficit bilateral**. La fuerza generada cuando ambas extremidades se contraen juntas es menor que la suma de las fuerzas que producen cuando se contraen unilateralmente. Los estudios de investigación han demostrado que la actividad EMG correspondiente es menor durante las contracciones bilaterales (63), lo cual sugiere que los mecanismos neuronales son, al menos en parte, un factor concurrente. Con entrenamiento bilateral longitudinal, se reduce la magnitud del déficit bilateral. De hecho, las personas entrenadas o más fuertes a menudo muestran un efecto de **facilitación bilateral** en la que se experimenta un aumento de la activación voluntaria de los grupos de músculos agonistas (15, 171).
- Se ha demostrado que la actividad EMG de los grupos musculares antagonistas cambia en respuesta al entrenamiento anaeróbico durante los movimientos agonistas. En la mayoría de los casos, la cocontracción de los músculos antagonistas actúa de mecanismo protector para aumentar la estabilidad articular y reducir el riesgo de lesión (96). No obstante, cuando una excesiva actividad antagonista se opone al movimiento agonista, se genera una resistencia a la producción de fuerza máxima. Varios estudios han demostrado una reducción de la cocontracción antagonista tras un entrenamiento resistido, lo cual causa un aumento de la fuerza neta sin una ampliación del reclutamiento de unidades motoras agonistas (26, 76, 151). En otros estudios se ha demostrado que los esprines y el entrenamiento pliométrico alteran la duración de las cocontracciones (96). El rol específico de la alteración de los patrones de cocontracción antagonista sigue sin estar claro. Tal vez se aprecie una mayor actividad antagonista durante los movimientos balísticos que exigen altos niveles de estabilidad articular, o cuando la gente no está familiarizada con una tarea que requiera una mayor estabilidad inherente (48).

Adaptaciones musculares

Las adaptaciones del músculo esquelético tras un entrenamiento anaeróbico se producen en la estructura y en la función, con cambios documentados en el tamaño, con transiciones en el tipo de fibras y con una mejora de los

componentes bioquímicos y ultraestructurales (es decir, arquitectura muscular, actividad enzimática y concentraciones de substratos). Colectivamente, estas adaptaciones mejoran las características del rendimiento, como la fuerza, la potencia y la resistencia muscular, todo lo cual es crítico para el éxito deportivo.

Crecimiento muscular

Hipertrofia muscular es el término aplicado al aumento de tamaño del área transversal de las fibras musculares después del entrenamiento. Existe una relación positiva entre la hipertrofia y la expresión de la fuerza muscular. Biológicamente, el proceso de hipertrofia comprende un aumento de la acreción neta (es decir, aumento de la síntesis, reducción de la degradación, o ambas) de las proteínas contráctiles **actina** y **miosina** en las miofibrillas de una fibra muscular. Además de estas proteínas contráctiles, otras proteínas estructurales como la **titina** y la **nebulina** también se sintetizan proporcionalmente a los cambios de los miofilamentos. Los nuevos miofilamentos se suman a la periferia de las miofibrillas y determinan un incremento de su diámetro. El efecto acumulativo de estas adiciones es un engrosamiento de la fibra y, colectivamente, del tamaño del músculo o grupo de músculos. Durante la exposición a una carga mecánica (p. ej., entrenamiento resistido), una serie de procesos intracelulares regulan la expresión de genes y, posteriormente, favorecen un aumento de la síntesis de proteínas (165).

La deformación mecánica del músculo estimula diversas proteínas con independencia de las concentraciones hormonales, y parece ser que estas proteínas aumentan la actividad antes de que aparezcan pruebas de hipertrofia muscular. En concreto, la deformación mecánica del tejido activa la proteína cinasa B (AKT) —vía del blanco de rapamicina en mamíferos (TORm)—, el monofosfato de adenosina y la vía de la proteína cinasa activada por mitógenos (MAPK). De todas ellas, la vía AKT/TORm en particular es importante para la regulación directa de las adaptaciones al entrenamiento resistido (179). Cuando las fibras musculares se contraen, la transmisión de señales por la vía AKT/TORm aumenta acusadamente, y esta respuesta es crítica para acrecer la síntesis de proteínas musculares y el posterior crecimiento (proceso conocido como **miogénesis**). Al mismo tiempo, la regulación por decrecimiento de los inhibidores de los factores de

crecimiento (p. ej., miostatina) sugiere que el ejercicio resistido influye significativamente en una plétora de vías catabólicas y de transmisión de señales (18, 98, 101). Las tasas de síntesis de proteínas se elevan tras un ejercicio resistido intenso y se mantienen elevadas hasta 48 horas después (130, 156). La magnitud del incremento de la síntesis de proteínas depende de diversos factores, como la ingesta de hidratos de carbono y proteínas, la disponibilidad de aminoácidos, la sincronización de la ingesta de nutrientes, el esfuerzo mecánico de la sesión de entrenamiento con pesas, los niveles de hidratación de las células musculares y la respuesta anabólica subsiguiente de los receptores hormonales (19, 115, 162).

El proceso de hipertrofia comprende un incremento de la síntesis de las proteínas contráctiles actina y miosina dentro de la miofibrilla, así como un aumento del número de miofibrillas en la misma fibra muscular. Los nuevos miofilamentos se suman a las capas externas de la miofibrilla, lo cual causa un incremento de su diámetro.

Los daños musculares inducidos por el ejercicio (DMIE) y la disrupción de miofibrillas y de la estructura uniforme de los sarcómeros de las fibras musculares tras un entrenamiento anaeróbico de alta intensidad (p. ej., entrenamiento resistido) también tienen un efecto acusado en el crecimiento muscular. La base teórica sugiere que los cambios estructurales asociados con los DMIE influyen en la expresión de genes en su esfuerzo por reforzar el tejido muscular y protegerlo de nuevos daños. El proceso de reparación y remodelación en sí tal vez implique una serie de mecanismos reguladores (p. ej., hormonales, inmunitarios y metabólicos) que interactúan con el estado de entrenamiento de la persona (105, 193). Sin embargo, se entiende que las respuestas inflamatorias y el aumento del recambio de proteínas (es decir, el incremento neto de la síntesis de proteínas) terminan contribuyendo a las adaptaciones hipertróficas a largo plazo (179). La secuencia de la síntesis de proteínas comprende: (*a*) captación de agua; (*b*) síntesis de proteínas no contráctiles, y (*c*) síntesis de proteínas contráctiles (192). Al mismo tiempo, esa menor degradación mantiene el tamaño de las fibras mediante la reducción neta de la pérdida de proteínas.

Tras el inicio de un programa de entrenamiento resistido con grandes cargas, los cambios en los tipos de proteínas musculares (p. ej., cadenas pesadas de miosina rápida) se inician tras varias sesiones de duración apropiada (113, 183). Sin embargo, la hipertrofia de las fibras musculares requiere un largo período de entrenamiento (más de 16 sesiones) antes de que

sean aparentes cambios significativos en el área transversal (185). Al igual que sucede con las mejoras de las variables del rendimiento (fuerza, potencia, etc.), las respuestas hipertróficas son máximas en los estadios iniciales, tras lo cual el ritmo de crecimiento muscular disminuye con el tiempo (113). Los atletas sometidos a estudio durante dos años de entrenamiento resistido con grandes cargas mostraron un incremento de la fuerza en paralelo con intensidades óptimas en el entrenamiento, si bien la hipertrofia de las fibras musculares contribuyó poco a la mejora del rendimiento en los levantamientos de peso (80).

La magnitud de la hipertrofia depende en último término del estímulo del entrenamiento y de la forma en que se prescriban las variables puntuales del entrenamiento. Para mejorar el crecimiento muscular, es esencial una periodización adecuada del entrenamiento que potencie al máximo la combinación de estímulos mecánicos y metabólicos. Son factores mecánicos el levantamiento de grandes cargas, la inclusión de acciones musculares excéntricas y los volúmenes de entrenamiento bajos a moderados (114), todo lo cual es característico del entrenamiento de la fuerza. La creciente acumulación de datos también respalda el uso de nuevas modalidades de entrenamiento (p. ej., entrenamiento oclusivo [177]) como métodos alternativos para inducir esfuerzos mecánicos o metabólicos apropiados. Los factores metabólicos se centran en el entrenamiento de intensidad baja a moderada, o moderadamente alta, con volúmenes elevados e intervalos de descanso cortos (característico del entrenamiento de fisioculturismo) (114). Colectivamente, los factores mecánicos consiguen un reclutamiento óptimo de fibras musculares (ya que estas necesitan reclutarse antes de crecer), una expresión de los factores de crecimiento y la disrupción potencial de los sarcómeros, todo lo cual incrementa la sección transversal del músculo (67, 161). Los factores metabólicos acentúan la participación del sistema glucolítico de energía y producen un incremento de los metabolitos que tal vez intervengan en el crecimiento muscular. Estos programas también provocan una respuesta hormonal anabólica máxima (115).

La hiperplasia, que también se ha propuesto como un mecanismo para incrementar el tamaño muscular, ha sido durante años objeto de debate entre los científicos del ejercicio. La **hiperplasia** es el término adjudicado al incremento del número de fibras musculares mediante la multiplicación de las fibras longitudinales en respuesta al entrenamiento resistido de alta intensidad. Se ha demostrado que la hiperplasia ocurre en animales (68, 87),

si bien los hallazgos son controvertidos en humanos, dado que algunos estudios la respaldan (129, 132, 191) mientras que otros rechazan su presencia en seres humanos (131). Parte de la razón de esta confusión tal vez proceda de estudios sobre el área transversal del músculo que han comparado a atletas sometidos a entrenamiento resistido con personas no entrenadas, revelando la presencia de un mayor número de fibras en la población entrenada. En este escenario resulta difícil determinar si la diferencia se debe a la genética o a la hiperplasia. También se debe tener en cuenta que los procedimientos que aplican los científicos a animales no se pueden aplicar a seres humanos por razones éticas y logísticas. Por consiguiente, algunos de los datos más convincentes que respaldan la hiperplasia del músculo esquelético proceden de estudios con animales (68, 87). Al examinar la hiperplasia en modelos animales, los investigadores extraen músculo entero y retiran la fascia para analizar al microscopio el número de fibras musculares longitudinales. En seres humanos, la exéresis de un músculo entero no es factible. En su lugar se usan técnicas de biopsia con aguja para obtener una pequeña muestra de tejido muscular, cuya sección transversal se examina a continuación, y se emite una predicción de la hiperplasia indirectamente a partir de una extrapolación matemática. Aunque no se puede descartar completamente la hiperplasia, no parece ser una estrategia principal para la adaptación del tejido muscular al entrenamiento resistido, y si llega a ocurrir, solo implica a una pequeña porción del tejido estimulado (tal vez menos del 10%) si las condiciones son óptimas. Tal vez se plantee la hipótesis de que, si se produce hiperplasia, quizá sea como respuesta al hecho de que determinadas fibras musculares alcanzan un teórico techo en su tamaño, lo que podría ocurrir en atletas que consumen esteroides anabólicos y otros agentes de crecimiento, o que siguen un entrenamiento a largo plazo que produce niveles elevados o extremos de hipertrofia. Esto se tiene que dilucidar por completo y sigue siendo un área de disensión entre los investigadores científicos.

Cambios en el tamaño de las fibras

La magnitud de la hipertrofia muscular experimentada tras un entrenamiento anaeróbico está íntimamente asociada con el tipo de fibras musculares. Con el fin de favorecer una hipertrofia significativa se deben activar las fibras musculares, en concreto las de las unidades motoras de umbral alto

gobernadas por el principio del tamaño (36). Durante el entrenamiento resistido, las fibras musculares tipo I y tipo II tienen potencial de reclutarse, siendo la frecuencia con la que se reclutan la que al final determina la extensión de sus procesos de adaptación. Según el principio del tamaño, solo después de la activación jerárquica de las fibras tipo I y tipo II reciben un mecanismo de transmisión que inicia la cascada de procesos reguladores que estimulan la síntesis de proteínas. Sin embargo, colectivamente, después de la activación de las fibras musculares, estas respuestas hipertróficas se traducen en un aumento del área transversal del músculo intacto tras varios meses de entrenamiento. Por lo general, las fibras tipo II manifiestan un mayor incremento del tamaño que las fibras tipo I; por tanto, la magnitud de la hipertrofia no es uniforme entre los dos tipos principales de fibras (83). De hecho, se ha argüido que el potencial definitivo de hipertrofia tal vez resida en la proporción relativa de fibras tipo II en los músculos de un atleta dado (131, 191). Es decir, los atletas que genéticamente poseen una proporción relativamente grande de fibras de contracción rápida tal vez presenten un mayor potencial para aumentar la masa muscular que las personas que poseen predominantemente fibras de contracción lenta.

Transiciones en los tipos de fibras

El patrón de estimulación neuronal dicta el alcance de las adaptaciones de los tipos de fibras que se producen después del entrenamiento anaeróbico. Las fibras musculares se ubican teóricamente en un continuo que va de más a menos oxidativas (véanse la figura 5.3 y la descripción de los tipos de fibras musculares en el capítulo 1). El continuo es el siguiente: I, Ic, IIc, IIac, IIa, IIax y IIx, con una expresión concomitante de las cadenas pesadas de miosina (CPM) (es decir, CPM I, IIa y IIx) (181). Aunque las proporciones de las fibras tipo I y tipo II están determinadas genéticamente (154), los cambios en cada subtipo ocurren después del entrenamiento anaeróbico. Con el entrenamiento y la activación de las unidades motoras de umbral alto, hay una transición de fibras tipo IIx a IIa (25). Es decir, las fibras musculares tipo IIx cambian su contenido de la isoforma adenosintrifosfatasa (ATPasa) de miosina y se vuelven progresivamente fibras tipo IIa más oxidativas. De hecho, los estudios han demostrado transiciones casi completas de fibras tipo IIx a IIa después de una combinación de entrenamiento resistido de alta intensidad y entrenamiento aeróbico de fondo (112). Los cambios en los tipos

de fibras de contracción rápida no se han vinculado habitualmente con el ritmo al que se producen los cambios en el área transversal de las fibras musculares.

Las fibras tipo IIx representan una reserva que, tras una activación constante, cambian a una forma más oxidativa del continuo (es decir, a una fibra intermedia tipo IIax, y luego IIa) (25). Cualquier cambio en el continuo de tipos de fibras musculares asociado con las CPM ocurre en las fases iniciales de los programas de entrenamiento resistido. En un estudio inicial, Staron (183) examinó los efectos del protocolo de entrenamiento resistido de alta intensidad (múltiples series de sentadillas, *press* de piernas y ejercicios de extensión de rodilla usando cargas de 6-12RM con períodos de descanso de 2 minutos) practicado dos veces por semana por hombres y mujeres durante ocho semanas. Documentó una disminución significativa en el porcentaje de fibras tipo IIx en las mujeres tras solo dos semanas de entrenamiento (cuatro sesiones) y en los hombres tras cuatro semanas de entrenamiento (ocho sesiones). A lo largo del programa de entrenamiento de ocho semanas, las fibras tipo IIx disminuyeron de aproximadamente el 18% hasta en torno al 7% del total de fibras musculares de hombres y mujeres. El análisis de las CPM mostró que en este estadio inicial del entrenamiento las CPM de las fibras tipo IIx se remplazaron por CPM de fibras tipo IIa. Además, este estudio demostró que los cambios en los factores hormonales (interacciones de testosterona y cortisol) guardaban correlación con cambios en el tipo de fibras musculares. Lo interesante es que el desentrenamiento tiene el efecto opuesto, lo cual se traduce en un aumento de las fibras tipo IIx y una reducción de las fibras tipo IIa (153), con una posible sobreestimulación de las fibras tipo IIx (es decir, mayores porcentajes de fibras tipo IIx que los observados antes del entrenamiento [10]). Mientras que la transformación de los subtipos de fibras musculares parece habitual, la transformación de fibras tipo I a II o viceversa parece menos probable, seguramente por la diferenciación de isoformas de las CPM y el contenido relativo de proteínas oxidativas (155). Sigue siendo dudoso si estas transformaciones son posibles en este punto, ya que los datos son insuficientes hasta el momento. Estas posibilidades se tendrán que explorar en futuros estudios; resulta intrigante plantearse si el continuo de adaptaciones se extiende más allá de las subpoblaciones tipo I y II, sobre todo en casos extremos donde un maratoniano (con un alto porcentaje de fibras tipo I) sigue un programa de entrenamiento resistido de alta intensidad, o un

powerlifter (con un alto porcentaje de fibras tipo II) comienza un programa general de entrenamiento aeróbico de fondo.

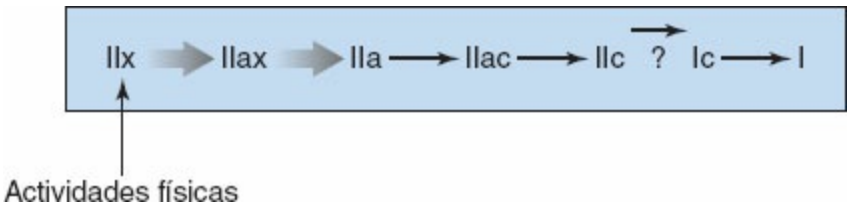


FIGURA 5.3 Las transiciones entre fibras musculares ocurren durante el entrenamiento. Esto significa que se produce un desplazamiento del tipo de adenosintrifosfatasa (ATPasa) de miosina y de las cadenas pesadas. Se aprecian transformaciones de fibras tipo IIx a IIax, y luego pequeños porcentajes cambian a IIac y IIc. Las actividades físicas que reclutan unidades motoras con fibras musculares tipo IIx inician un desplazamiento a fibras IIa.

Cambios estructurales y arquitectónicos

Los músculos penniformes presentan fascículos que se insertan oblicuamente en su tendón. El **ángulo de distribución penniforme** influye en la capacidad de producción de fuerza, así como en el grado de movilidad del músculo. Cuanto mayor sea el ángulo de distribución penniforme, mayor será la deposición de proteínas que puede acomodar y mayor el incremento de las CPM (2). Se ha demostrado que el entrenamiento resistido aumenta el ángulo en el músculo penniforme, siendo los atletas que entrenan la fuerza los que despliegan ángulos más abiertos en los músculos tríceps braquial y vasto lateral en comparación con personas sin entrenar (2). Además, se ha documentado que la longitud fascicular es mayor en atletas que entrenan la fuerza (94), y que la longitud fascicular de los músculos gastrocnemio y vasto lateral es mayor en velocistas comparada con la de corredores de fondo (6). La combinación de entrenamiento resistido, esprines y saltos parece aumentar la longitud fascicular del músculo vasto lateral (20). Estos cambios estructurales tienen un efecto positivo sobre la forma en que la fuerza se transmite a los tendones y huesos.

Otras adaptaciones musculares

Se ha documentado que el entrenamiento resistido aumenta el volumen miofibrilar (128), la densidad citoplasmática (132), la densidad del retículo sarcoplasmático y de los túbulos T (9), y la actividad de la Na^+/K^+-ATPasa (71). Colectivamente, estos cambios facilitan la hipertrofia y permiten una

mayor expresión de fuerza muscular. Se ha observado que el entrenamiento con esprines mejora la liberación de calcio (150), lo que ayuda a aumentar la producción de potencia y velocidad, favoreciendo la formación de puentes cruzados de miosina.

También se ha demostrado que el entrenamiento resistido con grandes cargas reduce la densidad mitocondrial (133). Aunque el número de mitocondrias se mantenga constante o aumente ligeramente durante una fase del entrenamiento, la densidad mitocondrial se expresa en relación con el área de músculo. Los incrementos del área transversal del músculo ocurren desproporcionadamente respecto a la proliferación mitocondrial y, por consiguiente, la densidad de mitocondrias por unidad de volumen en realidad disminuye con la hipertrofia. La hipertrofia muscular también reduce la densidad capilar mediante mecanismos parecidos, de nuevo incrementándose un tanto el número de capilares por fibra (184). *Powerlifters* y halterófilos muestran densidades capilares significativamente menores que los controles, mientras que los fisioculturistas tienen densidades capilares similares a las de los sujetos normales (107). Las sesiones de fisioculturismo producen grandes concentraciones de iones de hidrógeno, aunque contar con más capilares por fibra ayuda a eliminar metabolitos del músculo ejercitado (111, 190).

El ejercicio anaeróbico conlleva reducciones sustanciales del pH muscular y sanguíneo (33), siendo varios los mecanismos que regulan el cambio del equilibrio ácido-básico durante el ejercicio. Con las adaptaciones a los cambios puntuales pero constantes del pH durante el entrenamiento (es decir, aumento de la concentración de H^+), la capacidad de compensación puede mejorar. Por tanto, este aumento de la capacidad permite al atleta tolerar mejor la acumulación de H^+ en el músculo ejercitado, lo cual difiere la aparición de cansancio y aumenta la tolerancia física del músculo (175). Por naturaleza, el entrenamiento con intervalos de gran intensidad (esprines, ciclismo) y practicado a un ritmo por encima del nivel de lactato aumenta significativamente la capacidad de compensación un 16-38% (17, 175). En otro estudio, los atletas que compiten en deportes anaeróbicos de equipo han mostrado tener una mayor capacidad de compensación que los deportistas de fondo y los controles no entrenados (47).

Dentro del músculo esquelético, el contenido de los sustratos y la actividad enzimática representan nuevas áreas de adaptación como respuesta al entrenamiento anaeróbico. Lo más notable es que cuando las concentraciones de ATP y fosfocreatina (CP) se agotan repetidamente después de tandas de

contracciones musculares intermitentes de alta intensidad, la capacidad de almacenamiento de estos compuestos hiperenergéticos aumenta por un efecto de «supercompensación». MacDougall (135) registró un aumento del 28% de la CP en reposo y otro del 18% en las concentraciones de ATP después de cinco meses de entrenamiento resistido (es decir, de tres a cinco series de 8-10 repeticiones con períodos de descanso de 2 minutos). Además, parece que programas fisioculturistas como este, que acentúan la glucólisis anaeróbica, también son un potente estímulo para mejorar el contenido de glucógeno, ya que se han documentado incrementos de hasta un 112 %.

Adaptaciones de los tejidos conjuntivos

Huesos, tendones, ligamentos, fascias y cartílagos son ejemplos de tejido conjuntivo. El ejercicio anaeróbico aplica fuerzas mecánicas que causan la deformación de regiones específicas del esqueleto. Estas fuerzas, generadas por acciones musculares en la inserción tendinosa del hueso, son de flexión, compresión o torsión. En respuesta a la **carga mecánica**, los **osteoblastos** migran a la superficie del hueso y comienzan a remodelarlo (figura 5.4). Los osteoblastos producen y secretan proteínas —sobre todo moléculas de colágeno— que se depositan en los espacios entre los osteocitos para aumentar la resistencia del hueso. Estas proteínas forman la **matriz ósea** y terminan mineralizadas como cristales de fosfato cálcico (**hidroxiapatita**). La formación de hueso nuevo ocurre sobre todo en la superficie externa del hueso (**periostio**), y aumenta su diámetro y resistencia.

Fisiología general del hueso

La tasa de adaptación ósea presenta un ritmo distinto en el esqueleto axial (cráneo, columna vertebral, costillas y esternón) que en el esqueleto apendicular (cintura escapular, pelvis y huesos de las extremidades superiores e inferiores), debido a las distintas cantidades de **hueso trabecular** (o esponjoso) y **hueso cortical** (o compacto). El hueso cortical es denso y forma una carcasa externa compacta que rodea el hueso trabecular, con dos tipos de hueso unidos por delicadas y estrechas placas de hueso trabecular. Los espacios entre las placas de hueso trabecular están ocupados por tuétano, compuesto por tejido adiposo y productos hemáticos como eritrocitos inmaduros. Los vasos sanguíneos del conducto medular se extienden por el denso hueso cortical por medio de una red de conducciones verticales y

horizontales. Como es menos denso y presenta una mayor área superficial respecto a la masa, el hueso trabecular es capaz de responder con más rapidez a los estímulos que el hueso cortical, dado que es más blando y débil y más flexible, y por lo tanto más inclinado a la adaptación.

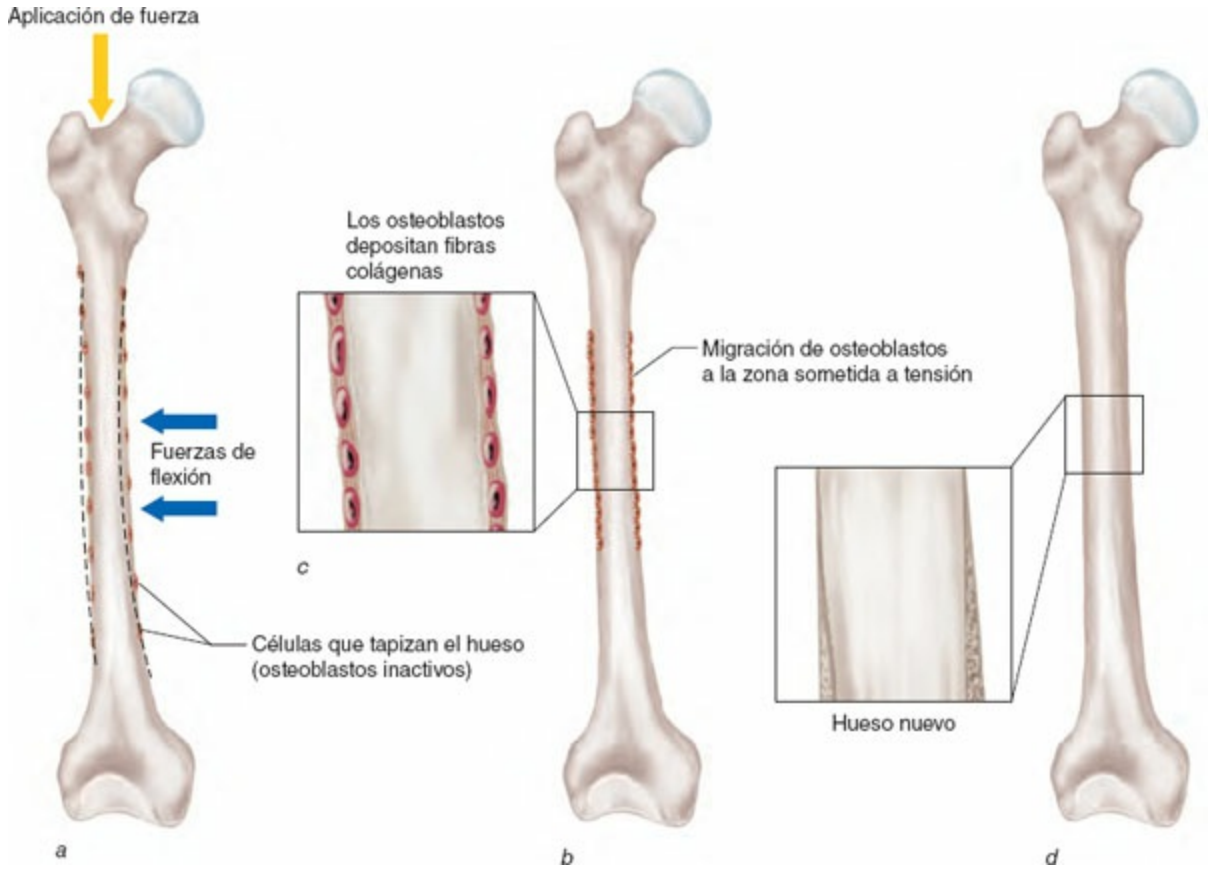


FIGURA 5.4 Remodelación ósea como respuesta a la carga mecánica. (*a*) La aplicación en carga de una fuerza longitudinal provoca que el hueso se combe (como muestra la línea intermitente), generando un estímulo para la formación de hueso nuevo en las regiones que experimentan la máxima deformación. (*b*) Los osteoblastos depositan fibras colágenas adicionales en el lugar. (*c*) Osteoblastos previamente inactivos migran al área que experimenta esa tensión continuada. (*d*) Las fibras colágenas se mineralizan y aumenta el diámetro del hueso.

El término **tensión esencial mínima (TEM)** hace referencia al estímulo umbral que inicia la formación de hueso nuevo. La superación constante de esos umbrales transmite a los osteoblastos la señal de migrar a la región que experimenta ese estrés para formar hueso, mientras que las fuerzas que se sitúan por debajo de la TEM no presentan suficiente estímulo como para causar la formación de hueso nuevo. Las células óseas actúan regulando la formación de nuevo tejido óseo, de modo que las fuerzas experimentadas

habitualmente no superen la TEM, estableciéndose de este modo un margen de seguridad frente a posibles fracturas. La tensión registrada por el hueso es una función de la fuerza por unidad de área ósea (estrés). Se cree que la TEM es aproximadamente una décima parte de la fuerza necesaria para fracturar el hueso. El aumento del diámetro del hueso permite que la fuerza se distribuya sobre un área superficial mayor, con lo cual disminuye la cantidad de esfuerzo mecánico. Después del crecimiento óseo, una fuerza que previamente superaba la TEM ahora se situará por debajo del umbral de la TEM. Las actividades físicas progresivas en carga que generan fuerzas que superen la TEM son, por tanto, las más eficaces para aumentar el tamaño y resistencia del hueso.

Las fuerzas que alcanzan o superan el estímulo umbral inician la formación de hueso nuevo en el área que experimenta la tensión mecánica continuada.

Entrenamiento anaeróbico y crecimiento óseo

A medida que aumenta la fuerza e hipertrofia musculares en respuesta a las modalidades anaeróbicas de entrenamiento, las fuerzas generadas por el incremento de las contracciones musculares aumentan posteriormente la tensión mecánica en el hueso, y el mismo hueso tiene que aumentar su masa y resistencia para ofrecer una estructura adecuada de sustentación. Cualquier incremento de la fuerza o masa muscular, por tanto, tal vez conlleve un incremento correspondiente de la **densidad mineral ósea (DMO)** o cantidad de mineral depositado en una zona dada de hueso (93). Lo interesante es que la inactividad o la inmovilización tiene el efecto opuesto y causa una tasa más rápida de pérdida de matriz ósea y DMO (178). Numerosos estudios han documentado una correlación positiva entre la DMO y la masa y la fuerza musculares (158, 198). Los investigadores han informado de que los atletas con entrenamiento resistido presentan una mayor DMO que controles sedentarios de la misma edad (28, 29, 164). En algunas personas (p. ej., futbolistas profesionales), la actividad física parece influir más en la masa, área y ancho musculares que en la DMO (198). Por tanto, el ejercicio que estimula la hipertrofia muscular y la mejora de la fuerza también parece estimular el crecimiento óseo.

Cuantitativamente, el curso temporal de las adaptaciones óseas es bastante largo —unos seis meses o más (27)— y depende en gran medida de la estructura del programa. No obstante, el proceso de adaptación comienza con

las primeras sesiones de entrenamiento. El proceso de osteogénesis implica la secreción de sustancias en la sangre (sustancias específicas solo para el hueso) que se pueden medir. Por tanto, cualquier elevación de un marcador osteogénico se reconoce como un indicador precoz de la formación de hueso y, presumiblemente, un precursor de un incremento de la DMO, siempre y cuando el estímulo se mantenga durante un período largo de entrenamiento.

Principios del entrenamiento para aumentar la resistencia ósea

Los programas anaeróbicos de entrenamiento cuyo objetivo es estimular el crecimiento óseo precisan incorporar la especificidad de la carga, introducir una selección de ejercicios apropiados, aplicar sobrecarga progresiva y aportar variedad (30). La **especificidad de la carga** exige el uso de ejercicios que carguen directamente la región concreta del esqueleto que nos interesa. Si el cuerpo interpreta que estas fuerzas son nuevas o novedosas, estimularán el crecimiento óseo en el área que está recibiendo esa tensión continuada. Por ejemplo, correr puede ser un buen estímulo para aumentar la DMO del fémur, pero es una elección equivocada para favorecer la sedimentación de minerales cuando se intenta fortalecer la muñeca. El concepto de la especificidad de la carga se vuelve especialmente importante cuando un especialista en fuerza y acondicionamiento físico prescribe ejercicios para aumentar la masa ósea de las regiones del esqueleto que más habitualmente se ven afectadas por **osteoporosis**, una enfermedad en la que la DMO y la masa ósea se reducen hasta niveles peligrosamente bajos. Los estudios revelan que los ejercicios para el hemicuerpo inferior en carga y con altos impactos cíclicos, como la gimnasia deportiva (187), el voleibol o el baloncesto (42), aumentan selectivamente la DMO en puntos clínicamente relevantes como las caderas y la columna vertebral en mayor grado que otras actividades con menor impacto. Además, los incrementos de la DMO también se aprecian en atletas universitarias muy entrenadas que ya poseen niveles altos de DMO. Estos cambios en la DMO son independientes del estado de las hormonas reproductivas si el estímulo es suficiente (187).

La selección de ejercicios es crítica cuando se intentan generar **estímulos osteogénicos** máximos (factores que estimulan la formación de hueso nuevo). En esencia, los ejercicios deben ejercitar múltiples articulaciones, deben dirigir los vectores de fuerza sobre todo a través de la columna vertebral y las

caderas (**ejercicios estructurales**) y deben aplicar cargas externas más pesadas que las que se aplican con ejercicios monoarticulares asistidos. Cussler (35) documentó una relación lineal positiva entre la cantidad de peso levantado en el curso de un año de entrenamiento e incrementos asociados de la DMO. Los hallazgos de este estudio sacaron a la luz la importancia de la especificidad del ejercicio dado que las sentadillas, comparadas con el *press* de piernas en sedestación, eran más eficaces para aumentar la DMO del trocánter del fémur (35). Se debe limitar el empleo de ejercicios monoarticulares en máquinas, puesto que estos ejercicios aíslan un solo grupo muscular usando equipamiento como soporte para estabilizar el cuerpo, en vez de potenciar que sea el esqueleto el que soporte el cuerpo durante el ejercicio. Por tanto, ejercicios como las sentadillas tras nuca, la cargada de fuerza, el peso muerto, la arrancada y el empuje sobre la cabeza (para el esqueleto axial y el semicuerpo inferior) y el *press* de hombros (para el semicuerpo superior) se recomiendan como los métodos más eficaces para aumentar la resistencia ósea.

Como el hueso responde favorablemente a las fuerzas mecánicas, el principio de la **sobrecarga progresiva** —un aumento paulatino por encima de lo normal de las exigencias impuestas a la musculatura ejercitada— se aplica cuando se entrena para aumentar la masa ósea (70, 196). Aunque la máxima resistencia del hueso se mantiene bastante por encima de la capacidad para generar fuerza voluntaria de la musculatura asociada, el hueso responde a fuerzas superiores (p. ej., de 1 a 10RM) que se aplican repetitivamente en el tiempo. La respuesta de adaptación del hueso garantiza que las fuerzas no superen un nivel crítico que aumente el riesgo de **fracturas por sobrecarga** (microfracturas en el hueso causadas por fatiga estructural). El espaldarazo al principio de la sobrecarga progresiva viene de estudios que han comparado la DMO de diversos grupos de atletas con la de controles que no son atletas (42, 198). De hecho, los halterófilos de elite adolescentes poseen niveles de mineralización ósea que superan con creces los valores de adultos no entrenados (29, 91). Esta observación es importante porque indica que el hueso joven tal vez responda más a los estímulos osteogénicos que el hueso maduro. Las pruebas revelan que la actividad física durante el crecimiento modula la geometría externa y la arquitectura trabecular del hueso, mejorando potencialmente la resistencia del esqueleto (84). Datos recientes demuestran que la carga asociada con actividad física durante el crecimiento óseo (adolescencia) y después del crecimiento

esquelético (inicio de la adultez) eleva el **pico de masa ósea** y se asocia positivamente con la masa ósea del adulto en la madurez (186).

Otra consideración importante que hay que tener en cuenta en el diseño de programas para estimular la formación de hueso nuevo es la variación del entrenamiento. La arquitectura interna del esqueleto humano posee un mecanismo mediante el cual compensa los nuevos patrones de tensión continua que experimenta el hueso. Para disipar perfectamente las fuerzas impuestas, tal vez cambie la dirección de las fibras colágenas en la matriz ósea para adaptarse a las líneas de esfuerzo experimentadas por el hueso. Por tanto, el cambio de distribución (y dirección) de los vectores de fuerza por el uso continuado de diversos ejercicios presenta un estímulo singular para la formación de hueso nuevo en una región ósea dada. Con posterioridad, la formación de colágeno ocurre en múltiples direcciones, lo cual aumenta la resistencia del hueso en esas direcciones. En general, si la magnitud de la carga o la frecuencia de la aplicación de la carga son suficientes, no suele ser necesario practicar más de 30 a 35 repeticiones, dado que un mayor volumen de carga no es probable que aporte un estímulo adicional para el crecimiento óseo (57, 178).

Los componentes de la carga mecánica que estimula el crecimiento óseo son: la magnitud de la carga (intensidad), el ritmo (velocidad) de carga, la dirección de las fuerzas y el volumen de carga (número de repeticiones).

¿Cómo estimulan los atletas la formación de hueso?

Para favorecer la formación de hueso, los atletas deben emplear una programación específica de variables puntuales de entrenamiento con el fin de potenciar adaptaciones óptimas.

- Selección de ejercicios estructurales poliarticulares que reclutan a la vez muchos grupos de músculos.
- Selección de ejercicios que dirigen vectores de fuerza axial a través de la columna vertebral y las caderas, y aplicación de cargas mayores que en los ejercicios monoarticulares asistidos.
- Uso del principio de la sobrecarga progresiva para someter a esfuerzo el sistema musculoesquelético, y continuar con incremento progresivo de la carga a medida que los tejidos se acostumbran al estímulo.
- Uso de ejercicios con grandes cargas y ejercicios balísticos o de alto impacto para exponer el hueso a distintas intensidades de fuerza.
- Mediante la variación de los ejercicios seleccionados resulta posible cambiar la distribución de los daños infligidos por la fuerza y presentar un estímulo único para la formación de hueso nuevo.

Adaptaciones al entrenamiento anaeróbico de tendones, ligamentos y fascias

Tendones, ligamentos, fascias y cartílagos son estructuras complejas y dinámicas que constituyen un vínculo crítico entre músculos y huesos. El principal componente estructural de todo el tejido conjuntivo son las fibras de **colágeno** (de tipo I para el hueso, el tendón y los ligamentos, y de tipo II para el cartílago, figura 5.5). La proteína parental, el **procolágeno**, es sintetizado y secretado por los fibroblastos, que son las células más habituales en el tejido conjuntivo de animales y que actúan de células madre en la síntesis de la matriz extracelular, además de desempeñar un papel crucial en la curación de heridas. Las moléculas de procolágeno se componen de tres cadenas de proteínas que se enrollan entre sí formando una triple hélice. El procolágeno abandona la célula con extensiones protectoras en sus extremos para prevenir la formación prematura de colágeno. La segmentación de las extensiones por medio de enzimas produce colágeno activo que se alinea con otras moléculas de colágeno formando un filamento largo. La medición de estas enzimas nos permite determinar el metabolismo del colágeno. De hecho, los niveles enzimáticos aumentan como respuesta al entrenamiento, mostrando un incremento neto de la síntesis de colágeno tipo I (125). La disposición paralela de los filamentos constituye un **microfibrilla**. El colágeno tiene aspecto estriado (a rayas) bajo el microscopio óptico, de forma parecida al músculo esquelético, debido a la alineación ordenada de los espacios comprendidos entre las moléculas de colágeno presentes en una microfibrilla. A medida que el hueso crece, las microfibrillas conforman fibras y estas configuran fascículos. La verdadera fuerza del colágeno procede de los poderosos enlaces químicos (**reticulación**) que se forman entre sus moléculas adyacentes por medio de fascículos de colágeno. Estos fascículos se agrupan longitudinalmente para formar tendones o ligamentos, o constituyen láminas cuyas capas de tejido se orientan en distintas direcciones, como las presentes en huesos, cartílagos y fascias.

Los tendones y los ligamentos se componen principalmente de un conjunto compacto y en paralelo de fascículos de colágeno. Cuando son maduros, los tendones y ligamentos contienen relativamente pocas células. El reducido número de células metabólicamente activas que presentan determina que las necesidades de oxígeno y nutrientes sean relativamente bajas en estos tejidos. Los ligamentos contienen fibras elásticas (**elastina**) además de colágeno,

puesto que se necesita cierto grado de estiramiento en el ligamento que permita la movilidad normal de las articulaciones. Los tendones y los ligamentos se insertan fuertemente en el hueso y permiten la máxima trasmisión de fuerzas. Los tejidos conjuntivos fibrosos que rodean y separan los distintos niveles de organización del músculo esquelético reciben el nombre de fascias. La fascia presenta para su soporte láminas de tejido fibrocolágeno distribuidas en distintos planos que ofrecen resistencia a las fuerzas procedentes de distintas direcciones. La fascia de los músculos converge cerca del final del músculo para formar un tendón a través del cual se transmite al hueso la fuerza de la contracción muscular. Comparado con el del tejido muscular, el metabolismo del tendón es mucho más lento debido a su escasa vascularización y circulación (92). De hecho, el aumento del riego sanguíneo en el músculo esquelético con el ejercicio no tiene paralelo con la perfusión sanguínea a los tendones (99). Esta vascularidad limitada tiene implicaciones en la regeneración y es la razón por la que los tendones precisan mucho tiempo para curarse tras una lesión.

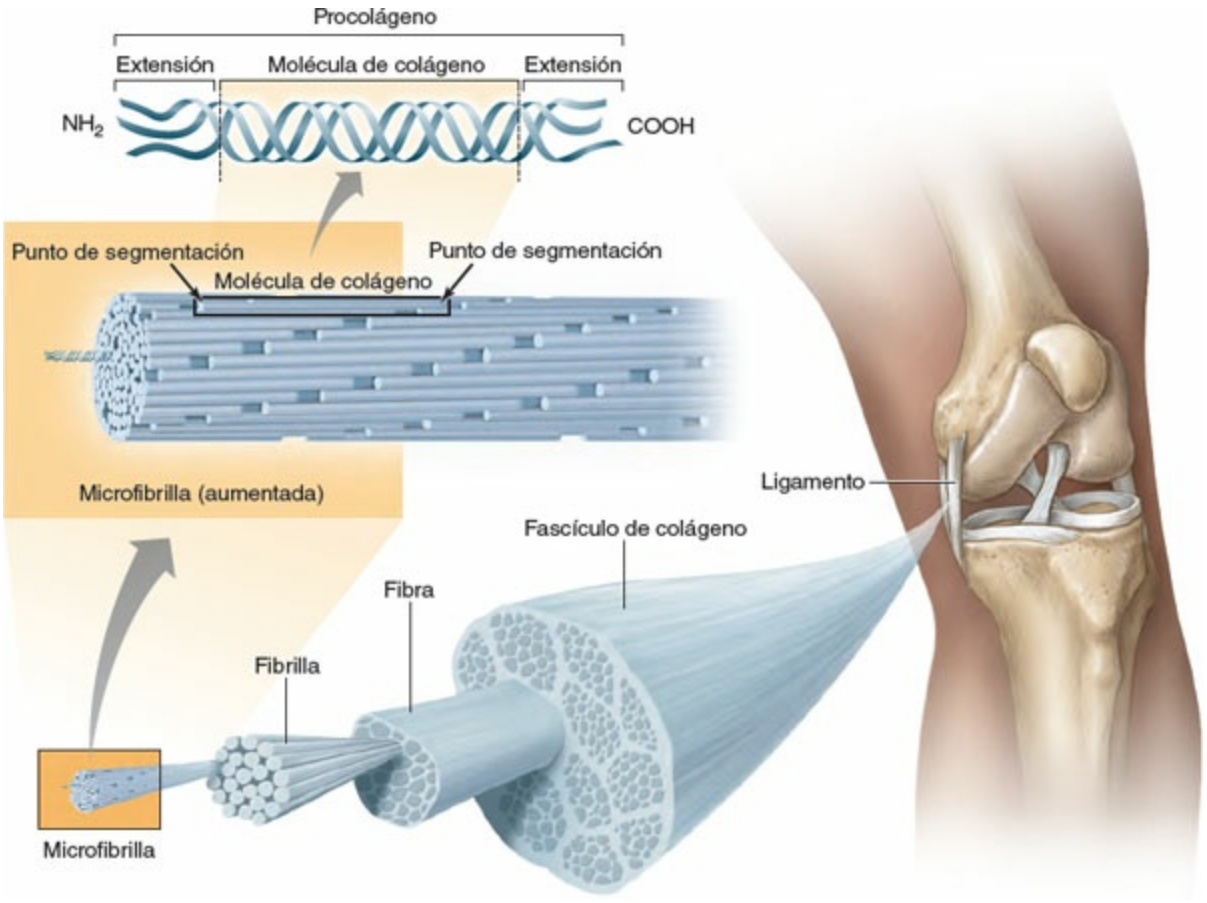


FIGURA 5.5 Formación de una fibra de colágeno.

El principal estímulo para el crecimiento de tendones, ligamentos y fascia son los daños causados por fuerzas mecánicas generadas durante un ejercicio de alta intensidad. El grado de adaptación del tejido parece ser proporcional a la intensidad del ejercicio (99). El ejercicio anaeróbico constante que supera el umbral de tensión continuada tiene un efecto positivo y estimula cambios en el tejido conjuntivo (92).

Los datos empíricos sugieren que los tejidos conjuntivos deben aumentar su capacidad funcional en respuesta al aumento de la fuerza e hipertrofia musculares. Los puntos donde los tejidos conjuntivos aumentan la fuerza y la capacidad para soportar cargas son:

- Las uniones entre el tendón (y ligamento) y la superficie ósea.
- En el interior del cuerpo del tendón o ligamento.
- En la red fascial presente en el interior del músculo esquelético (99).

A medida que los músculos adquieren más fuerza, tiran más de sus inserciones en el hueso y causan un aumento de la masa ósea en la unión osteotendinosa y a lo largo de la línea sobre la cual se distribuyen las fuerzas.

El entrenamiento anaeróbico de alta intensidad provoca el crecimiento del tejido conjuntivo y otros cambios estructurales que mejoran la transmisión de fuerzas. Cambios específicos en el tendón que contribuyen a su incremento de fuerza y tamaño son los siguientes:

- Aumento del diámetro de las fibrillas de colágeno.
- Un mayor número de enlaces covalentes cruzados dentro de la fibra hipertrofiada.
- Un aumento del número de fibrillas de colágeno.
- Un aumento de la densidad de fibrillas de colágeno.

Colectivamente, estas adaptaciones aumentan la capacidad del tendón para soportar mayores fuerzas de estiramiento (143).

La hipertrofia muscular en animales se relaciona con un aumento del número y tamaño de los fibroblastos, con lo cual el aporte total de colágeno es mayor. La activación de fibroblastos y el crecimiento subsiguiente de la malla de tejido conjuntivo son requisitos para la hipertrofia del músculo activo (142). Esto tal vez explique por qué las biopsias de atletas entrenados han mostrado que el músculo hipertrofiado contiene en total más colágeno que el de personas no entrenadas, si bien dicho contenido se mantiene

proporcional a la masa de músculo existente (143). Estudios recientes revelan que la **rigidez del tendón** (transmisión de fuerza por unidad de tensión, o elongación del tendón) aumenta como resultado del entrenamiento resistido (123). De hecho, Kubo (121) documentó un incremento del 15-19% en la rigidez del tendón de Aquiles tras ocho semanas de entrenamiento resistido. La intensidad del ejercicio es crítica, dado que las grandes cargas (80% de 1RM) aumentan la rigidez del tendón, mientras que las cargas ligeras no lo hacen (20% de 1RM) (122).

¿Cómo pueden los atletas estimular las adaptaciones del tejido conjuntivo?

Tendones, ligamentos y fascias

- Las adaptaciones crónicas de tendones, ligamentos y fascias se estimulan con patrones de carga progresiva de alta intensidad mediante resistencias externas.
- Se deben usar cargas de alta intensidad, dado que las intensidades bajas a moderadas no cambian acusadamente el contenido de colágeno del tejido conjuntivo.
- Se deben ejercer fuerzas en todo el arco de movilidad de una articulación y, siempre que sea posible, se deben usar ejercicios poliarticulares.

Cartílago

- Se considera que el ejercicio anaeróbico de intensidad moderada es adecuado para incrementar el grosor del cartílago. El ejercicio agotador no parece causar ninguna artropatía degenerativa cuando se aplica apropiadamente una sobrecarga progresiva.
- La viabilidad del tejido se mantiene practicando diversas modalidades de ejercicio y garantizando que la carga se aplique en todo el arco de movilidad.

Adaptaciones del cartílago al entrenamiento anaeróbico

El cartílago es un tejido conjuntivo capaz de soportar considerable fuerza sin sufrir daños en su estructura. Las principales funciones del cartílago son:

- Aportar tersura a las superficies de los huesos que forman la articulación.
- Actuar de amortiguador frente a fuerzas que inciden en la articulación.
- Colaborar en la inserción del tejido conjuntivo en el esqueleto.

Un rasgo único del cartílago es que carece de riego sanguíneo propio y

depende del líquido sinovial para la difusión de oxígeno y nutrientes (razón por la que el cartílago no se repara fácilmente por sí mismo tras una lesión). Dos tipos primarios de cartílago son importantes en relación con la actividad física. El **cartílago hialino** (cartílago articular) se halla en las superficies articulares de los huesos. El **cartílago conjuntivo** es un tipo muy resistente de cartílago presente en los discos intervertebrales de la columna en las uniones donde los tendones se insertan en hueso.

El hecho de que el cartílago articular se nutra por difusión de líquido sinovial proporciona un vínculo entre movilidad y salud articulares. El movimiento en una articulación genera cambios de presión en la cápsula articular que movilizan los nutrientes del líquido sinovial hacia el cartílago articular de la articulación (180). La inmovilización de una articulación impide la correcta difusión de oxígeno y nutrientes esenciales por la articulación. Esto causa la muerte de células sanas dentro del cartílago, los llamados condrocitos, y la resorción de la matriz de cartílago (195). Los conocimientos actuales revelan que el cartílago humano experimenta atrofia o adelgazamiento cuando se suprimen las cargas externas (p. ej., por inmovilización postoperatoria y paraplejía). Sin embargo, el efecto que el aumento de la carga externa tiene sobre el grosor medio de los cartílagos sigue sin conocerse del todo (46). En cualquier caso, es probable que la contribución genética desempeñe un papel importante en la determinación de la morfología del cartílago.

Respuestas y adaptaciones endocrinas al entrenamiento anaeróbico

Las hormonas desempeñan diversas funciones reguladoras durante el entrenamiento anaeróbico e influyen en los mecanismos homeostáticos que se encargan de mantener las funciones del cuerpo dentro de valores normales en reposo y durante el ejercicio (60, 61, 102, 106, 109), como el desarrollo del músculo, el hueso y el tejido conjuntivo por medio de procesos anabólicos y catabólicos. Como se expuso en el capítulo 4, las respuestas endocrinas al entrenamiento anaeróbico comprenden: (*a*) cambios agudos durante y después del ejercicio; (*b*) cambios crónicos en la respuesta aguda a una sesión de ejercicio; (*c*) cambios crónicos en las concentraciones en reposo, y (*d*) cambios en el contenido de los receptores hormonales.

Respuestas agudas de las hormonas anabólicas

Después del ejercicio anaeróbico (en particular el entrenamiento resistido), se han hallado concentraciones elevadas de testosterona, variantes moleculares de la hormona del crecimiento y cortisol hasta 30 minutos después del ejercicio en el hombre (104, 105,115, 117). Estas fluctuaciones ocurren en poco tiempo y luego se estabilizan rápidamente como respuesta a los retos homeostáticos de las exigencias iniciales del ejercicio intenso (119, 183) y el entrenamiento a más largo plazo (136). La magnitud de la elevación es máxima cuando se practican ejercicios con una gran masa muscular o durante sesiones de ejercicio de intensidad y volumen moderados a altos combinados con intervalos más largos de descanso (111, 115). Por ejemplo, existe una elevada correlación entre el lactato en sangre (de un ejercicio anaeróbico de alta intensidad), la hormona del crecimiento y el cortisol (78), y, por tanto, se cree que la acumulación de iones de hidrógeno tal vez sea uno de los principales factores que influyen en la liberación de cortisol y hormona del crecimiento. También se ha documentado que las elevaciones de la testosterona libre son mayores en hombres que siguen un entrenamiento resistido comparadas con las de hombres que siguen un entrenamiento aeróbico (82, 193), mientras que algunos estudios refieren ligeras elevaciones de la testosterona en mujeres después de ejercicio anaeróbico (149).

La respuesta aguda de las hormonas anabólicas al ejercicio anaeróbico es crítica para el rendimiento físico y las subsiguientes adaptaciones al entrenamiento. La regulación por incremento de los receptores de hormonas anabólicas es importante para mediar los efectos hormonales.

El factor de crecimiento insulinoide tipo I (IGF-I) es el mediador principal de la hormona del crecimiento; actúa de mensajero hormonal que estimula los efectos que potencian el crecimiento en casi todas las células del cuerpo, sobre todo las del músculo esquelético, el cartílago y el hueso. El factor de crecimiento insulinoide tipo I tiene una respuesta diferida al ejercicio y depende de la respuesta aguda de la hormona del crecimiento. Sin embargo, los *factores mecánicos alternativos de crecimiento* se regulan al alza en el músculo esquelético como respuesta a la carga mecánica y actúan independientemente de la hormona del crecimiento (66). En comparación, la secreción de insulina guarda cierto paralelo con los cambios de la glucemia y los aminoácidos, siendo la insulina la que más se ve afectada por la suplementación antes, durante y después del ejercicio, y no por el estímulo

del ejercicio anaeróbico (13). Las catecolaminas (adrenalina, noradrenalina, dopamina) reflejan las elevadas exigencias del ejercicio anaeróbico (22, 56, 105, 111), con concentraciones crecientes e importantes para regular la producción de fuerza, la frecuencia de las contracciones musculares, la disponibilidad de energía y el aumento de otras hormonas (p. ej., testosterona).

Cambios crónicos en la respuesta aguda de las hormonas

El cumplimiento a largo plazo de un programa de entrenamiento resistido produce un aumento de la capacidad de ejercer mayores niveles de fuerza muscular (80) con intensidades relativas de entrenamiento que se incrementan con el tiempo a medida que el cuerpo se adapta y tolera cargas progresivamente mayores. Como consecuencia, las respuestas endocrinas agudas al entrenamiento anaeróbico probablemente reflejen estas mejoras, como se ha demostrado sobre todo con la hormona del crecimiento (34). Los cambios longitudinales en la función endocrina reflejan el incremento del «esfuerzo» físico que tolera el cuerpo como respuesta al incremento de la carga externa. Por tanto, se plantea la hipótesis de que cualquier adaptación crónica de los patrones de las respuestas hormonales agudas aumenta potencialmente la capacidad de tolerar mejor y mantener intensidades superiores de ejercicio prolongado.

Cambios crónicos en las concentraciones hormonales en reposo

Los cambios crónicos en las concentraciones hormonales en reposo tras un ejercicio anaeróbico son improbables, ya que los estudios de investigación refieren que se producen cambios no concluyentes en la testosterona, la hormona del crecimiento, el IGF-I y el cortisol a lo largo del tiempo (115). Por el contrario, las concentraciones en reposo probablemente reflejen el estado actual del tejido muscular en respuesta a cambios sustanciales del programa de entrenamiento (volumen o intensidad) y de los factores nutricionales. Parece que la elevación durante e inmediatamente después de una sesión de ejercicio tal vez presente a los receptores un estímulo suficiente como para influir en la remodelación del tejido sin necesidad de que se

produzcan elevaciones importantes de las concentraciones basales (162). Es importante reparar en que las elevaciones crónicas de una hormona anabólica tal vez sean contraproducentes a largo plazo. Los receptores tienden a regularse a la baja a lo largo del tiempo cuando se exponen constantemente a niveles altos de hormonas. Por ejemplo, en la diabetes mellitus tipo II, la sensibilidad del músculo esquelético a la insulina se reduce debido al nivel elevado y crónico de la insulina en sangre. Por eso, los consumidores de esteroides anabólicos toman repetidamente fármacos cíclicos en lugar de mantener un consumo constante de dosis elevadas.

Cambios en los receptores hormonales

El contenido de receptores es importante para mediar en las adaptaciones estimuladas por cualquier respuesta hormonal. Los receptores androgénicos (RA) han recibido mucha atención en la literatura, y su contenido (es decir, el número de receptores por área en el tejido de destino) depende de varios factores, como el tipo de fibras musculares, la actividad contráctil y las concentraciones de testosterona. El entrenamiento resistido ha demostrado regular al alza el contenido de RA en las 48 a 72 horas posteriores a la sesión de ejercicio (15). El estímulo del ejercicio resistido parece mediar en la magnitud de las modificaciones puntuales de los RA. Ratamess (162) comparó una serie frente a seis series de diez repeticiones de sentadilla y no documentó diferencias en el contenido de RA tras el protocolo de una sola serie; sin embargo, el protocolo de mayor volumen de ejercicio provocó una significativa regulación a la baja del contenido de RA una hora después de la sesión de ejercicio. Este estudio también puso en evidencia que, cuando se alcanza un nivel suficiente, el contenido proteínico de los RA tal vez se regule inicialmente a la baja, antes de la regulación al alza que han documentado otros estudios. Sin embargo, Kraemer (118) ha demostrado que el consumo de un suplemento de hidratos de carbono y proteínas antes y después de la sesión de ejercicio atenúa esta regulación a la baja de los RA.

Respuestas cardiovascular y respiratoria al ejercicio anaeróbico

Tanto las tandas intensas de ejercicio anaeróbico como el entrenamiento anaeróbico a largo plazo tienen un impacto significativo sobre las funciones

cardiovascular y respiratoria. Esto se refleja tanto en los atletas de entrenamiento anaeróbico (51) como en las personas sedentarias (97), en los que la mejora de la función y dimensiones del corazón son evidentes. El entrenamiento resistido con grandes cargas es beneficioso para el sistema cardiovascular, pero de modo diferente al entrenamiento resistido con más repeticiones de cargas ligeras y menos descanso, o un entrenamiento aeróbico de fondo convencional (52). La mejora de la capacidad del corazón, de los pulmones y del sistema circulatorio para funcionar bajo condiciones de elevada presión y producción de fuerza prepara el cuerpo del atleta para las exigencias extremas de la competición deportiva.

Respuestas cardiovasculares agudas al ejercicio anaeróbico

Una tanda intensa de ejercicio anaeróbico aumenta significativamente las respuestas cardiovasculares. La frecuencia cardíaca, el volumen sistólico, el gasto cardíaco y la tensión arterial aumentan significativamente durante el ejercicio resistido. Se han documentado picos de la tensión arterial de 320/250 mm Hg y una frecuencia cardíaca de 170 latidos por minuto durante un ejercicio de *press* de piernas de alta intensidad (95% de 1RM) (134). En general, la respuesta de la tensión arterial experimenta un incremento no lineal con el incremento de la masa muscular activa, y es mayor durante la fase concéntrica de las repeticiones que durante la fase excéntrica, sobre todo en el «punto de máxima dificultad» de un ejercicio. Aunque se hayan documentado elevaciones importantes de la tensión arterial, contamos con datos limitados para demostrar que el entrenamiento resistido tenga efectos negativos sobre la tensión arterial en reposo (31). Además, aumenta la presión intratorácica, y se han registrado reducciones del volumen plasmático de hasta un 22% (157, 162).

El ejercicio anaeróbico intenso provoca un aumento del gasto cardíaco, del volumen sistólico, de la frecuencia cardíaca, del consumo de oxígeno, de la tensión arterial sistólica y del riego sanguíneo de los músculos activos.

Durante una serie de ejercicio resistido, el volumen sistólico y el gasto cardíaco aumentan sobre todo durante la fase excéntrica de las repeticiones, especialmente cuando se emplea la técnica de Valsalva (véase el capítulo 2) (49). Como la fase concéntrica de las repeticiones es mucho más difícil y las

elevaciones de la presión intratorácica e intraabdominal son más destacadas (mediante la maniobra de Valsalva), limitando el retorno venoso y reduciendo el volumen telediastólico, la respuesta hemodinámica al ejercicio resistido se difiere de modo que el gasto cardíaco aumenta más durante la fase excéntrica o durante el período de descanso entre series. Esto ocurre sobre todo en el caso de la respuesta de la frecuencia cardíaca; durante los primeros cinco segundos tras completar una serie, la frecuencia cardíaca es más elevada que durante la serie en sí (160).

El aumento del riego sanguíneo de los músculos ejercitados durante el entrenamiento anaeróbico depende de varios factores, como: (*a*) la intensidad de la resistencia, (*b*) el tiempo que dure el esfuerzo (es decir, el número de repeticiones practicadas), y (*c*) el tamaño de la masa muscular activada. Cuando se levantan resistencias menores pero practicando muchas repeticiones, las respuestas son relativamente similares a las observadas durante el ejercicio aeróbico (64). Sin embargo, el ejercicio resistido con grandes cargas disminuye el riego sanguíneo de los músculos ejercitados como resultado de que el tejido muscular que se contrae pinza y comprime los capilares y provoca una oclusión localizada. Las contracciones musculares que superan el 20% de la contracción voluntaria máxima impiden el riego sanguíneo periférico del músculo durante una serie, si bien este aumenta durante el período subsiguiente de descanso (**hiperemia reactiva**) (116). Resulta interesante que la falta de riego sanguíneo (y el subsiguiente aumento de la presencia de metabolitos como iones de hidrógeno y la reducción del pH) durante el levantamiento de grandes cargas externas sea un potente estímulo para el crecimiento muscular (188). En general, la magnitud de las respuestas cardiovasculares agudas depende de la intensidad y volumen del ejercicio, de la participación de la masa muscular, de la duración del período de descanso y de la velocidad de las contracciones (113, 160).

Adaptaciones cardiovasculares crónicas en reposo

El efecto de las modalidades de entrenamiento anaeróbico sobre la frecuencia cardíaca en reposo todavía no se ha dilucidado por completo. Se ha demostrado que el entrenamiento resistido a corto plazo disminuye la frecuencia cardíaca en reposo entre un 5% y un 12% (53, 57). No obstante, cuando este efecto se estudia longitudinalmente a lo largo del tiempo, se registran respuestas mixtas, como ausencia de cambio en la frecuencia

cardíaca en reposo o reducciones del 4% al 13% (53, 57). En atletas sometidos a un entrenamiento resistido crónico (fisioculturistas, *powerlifters*, halterófilos), se han documentado en reposo tanto frecuencias cardíacas superiores como inferiores a la media (60-78 latidos/min) en comparación con las personas no entrenadas.

Un metaanálisis de la tensión arterial en reposo reveló que tanto la tensión arterial sistólica como la diastólica disminuían de un 2% a un 4% como una adaptación al entrenamiento resistido (95). Parece que la respuesta es máxima en personas que inicialmente tienen la tensión arterial un poco alta. Igualmente, el producto del índice de presión (frecuencia cardíaca por tensión arterial sistólica; una medición del trabajo miocárdico) ha demostrado aumentar su cantidad absoluta, aunque no lo hace respecto al área superficial del cuerpo o a la masa corporal magra (53). Es decir, el volumen sistólico aumentará a medida que se incremente la masa de tejido muscular magro con el entrenamiento resistido a largo plazo. Por último, el entrenamiento resistido tal vez no produzca cambio o sí una ligera disminución del colesterol total y las lipoproteínas de baja densidad, así como un incremento de las lipoproteínas de alta densidad (90). Por tanto, el entrenamiento resistido con grandes cargas hace bien poco para mejorar la función cardíaca en reposo, aunque tal vez haya mayores mejoras por las adaptaciones a un programa de volumen elevado con cortos períodos de descanso (fisioculturismo, entrenamiento en circuito) donde es mucho mayor la continuidad general del esfuerzo durante la sesión de ejercicio.

El entrenamiento resistido crónico también altera las dimensiones del corazón. Se ha documentado el engrosamiento y aumento de masa de la pared del ventrículo izquierdo, aunque este incremento desaparece cuando se expresa en relación con el área superficial del cuerpo o respecto a la masa corporal magra (52, 53). Se cree que este incremento tal vez sea producto de la exposición a tensiones arteriales intermitentemente elevadas y a incrementos de la presión intratorácica, además de los cambios de adaptación funcional derivados del incremento de la masa corporal magra y el tamaño del cuerpo. Los atletas que siguen un entrenamiento resistido con grandes cargas presentan un grosor absoluto mayor de lo normal en la pared del tabique intraventricular y la pared posterior del ventrículo izquierdo (55). Poco o ningún cambio se observa en el tamaño o volumen de la cavidad del ventrículo izquierdo con entrenamiento resistido; esta es una diferencia importante entre el ejercicio resistido y el ejercicio aeróbico. Se han

registrado valores absolutos mayores de lo normal en los volúmenes telediastólico y telesistólico de los ventrículos derecho e izquierdo de fisioculturistas, pero no de halterófilos (55), lo cual revela que el entrenamiento de volumen elevado tal vez derive más en un aumento de los volúmenes absolutos del ventrículo izquierdo. Es importante reparar en que los fisioculturistas con frecuencia incorporan ejercicio aeróbico a sus programas de entrenamiento en un esfuerzo por metabolizar grasa corporal y aumentar el tanto por ciento de masa corporal magra; por tanto, es posible que algunas de estas adaptaciones hayan derivado, en parte, del entrenamiento aeróbico de fondo. Los fisioculturistas y también los halterófilos tienen unas dimensiones internas de la aurícula izquierda —absolutas y relativas— mayores de lo normal (respecto a la masa corporal magra y la superficie corporal), siendo los fisioculturistas los que muestran unas dimensiones significativamente mayores (37).

Adaptaciones crónicas de la respuesta cardiovascular aguda al ejercicio anaeróbico

El entrenamiento resistido crónico reduce la respuesta cardiovascular a una tanda intensa de ejercicio resistido con una intensidad o una carga de trabajo absolutas. Los estudios a corto plazo han documentado que el entrenamiento resistido produce adaptaciones que reducen los incrementos agudos de la frecuencia cardíaca, la tensión arterial y el doble producto causado por la sesión de entrenamiento resistido (139, 169). Por lo demás, los fisioculturistas varones tienen una frecuencia cardíaca y una presión arterial sistólica y diastólica más bajas durante series del 50% al 100% de 1RM, practicadas hasta el fallo muscular momentáneo, comparados con hombres sedentarios y con otros menos entrenados (54). Resulta interesante que el pico del gasto cardíaco y del volumen sistólico de los fisioculturistas sea significativamente mayor que el de los *powerlifters* (49), lo cual demuestra que el volumen sistólico y el gasto cardíaco tal vez sean mayores por carga de trabajo absoluta como resultado del entrenamiento. Se cree que estas adaptaciones son producto de una disminución de la poscarga sobre el ventrículo izquierdo, que a su vez aumenta el gasto cardíaco y disminuye el consumo miocárdico de oxígeno (49). Por último, la captación de oxígeno por lo general no mejora con el entrenamiento resistido usando grandes cargas y un volumen bajo. Mejora en mayor medida con ejercicio aeróbico

continuado o tal vez ligeramente con un programa de entrenamiento resistido con un volumen alto y cortos períodos de descanso (116).

Respuesta ventilatoria al ejercicio anaeróbico

La frecuencia ventilatoria no suele ser limitada por el ejercicio resistido y no resulta afectada o solo mejora moderadamente con entrenamiento anaeróbico. Con ejercicio resistido, la frecuencia ventilatoria se eleva significativamente durante las series, aunque es incluso mayor durante el primer minuto de recuperación (160). Se han registrado frecuencias ventilatorias que superan los 60 L/min (160); la duración del intervalo de descanso tuvo un efecto importante sobre ello, y los intervalos cortos de descanso (30 segundos a 1 minuto) generaron la elevación más sustancial. Las adaptaciones al entrenamiento consistieron en un aumento del volumen corriente y de la frecuencia respiratoria con ejercicio máximo. Con una actividad submáxima, sin embargo, la frecuencia respiratoria se suele reducir, mientras que aumenta el volumen corriente. Parece que tales adaptaciones de la frecuencia ventilatoria son producto de adaptaciones locales, neuronales o químicas en los músculos específicos por medio del ejercicio (14). Adicionalmente, se observa una mejoría de la eficacia ventilatoria, caracterizada por una reducción del **equivalente ventilatorio** para el oxígeno (la relación de aire ventilado y oxígeno usado por los tejidos, $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$), en personas entrenadas frente a otras no entrenadas (14).

Compatibilidad de los modos de entrenamiento aeróbico y anaeróbico

El entrenamiento de la fuerza/potencia y el entrenamiento de fondo-capacidad de trabajo presentan una fisiología divergente que plantea un desafío para la programación a cargo de especialistas en la fuerza y el acondicionamiento físico que se esfuerzan en aportar mejoras en ambas características físicas y fisiológicas. La combinación de entrenamiento resistido y aeróbico de fondo puede interferir con la mejora de la fuerza y la potencia, sobre todo si el entrenamiento aeróbico de fondo es de intensidad, volumen o frecuencia elevados (44, 86, 112). Callister (24) demostró que el entrenamiento simultáneo aeróbico y con esprines disminuía la velocidad de los esprines y la potencia de salto. Posibles explicaciones para este desarrollo

de la potencia poco óptimo comprenden cambios neuronales negativos y las alteraciones de las proteínas presentes en las fibras musculares. Por el contrario, la mayoría de los estudios han demostrado que no hay efectos negativos sobre la potencia aeróbica producto del ejercicio resistido con grandes cargas, a pesar de los esperados cambios celulares causados por este tipo de ejercicio (112). Pocos estudios han registrado que el entrenamiento resistido interfiera con las mejoras del $\dot{V}O_2$ máx (65). Lo interesante es que Kramer (120) acreditó que las mujeres que practicaban ejercicio resistido y entrenamiento aeróbico de fondo mostraban un mayor desarrollo aeróbico que las que solo practicaban un entrenamiento aeróbico de fondo. Estos datos han animado a algunos atletas (p. ej., fondistas) a sumar un entrenamiento resistido suplementario específico para sus deportes al régimen total de entrenamiento. La mayoría de los estudios muestran que el entrenamiento resistido con grandes cargas tiene efectos negativos muy limitados o nulos sobre la potencia aeróbica (197), si bien puede servir para mejorar de veras el rendimiento de los deportes de fondo (172).

En un estudio que examinó la incompatibilidad potencial del ejercicio de fuerza y del aeróbico de fondo, Kraemer (112) aplicó tres meses de entrenamiento simultáneo de gran intensidad de ambos tipos de ejercicio en cinco grupos:

1. Un grupo de combinación (C) practicó el entrenamiento resistido y el aeróbico de fondo.
2. Un grupo (UC) practicó entrenamiento resistido y aeróbico de fondo con el hemicuerpo superior.
3. Un grupo (S) solo siguió un entrenamiento resistido.
4. Un grupo (E) solo siguió un entrenamiento aeróbico de fondo.
5. Un grupo de controles.

El grupo S aumentó más la fuerza de 1RM y la tasa de desarrollo de la fuerza que el grupo C. Las mejoras del consumo máximo de oxígeno no se vieron afectadas por el entrenamiento simultáneo (es decir, hubo mejoras casi idénticas en las marcas obtenidas en la milla [3,2 km]). Por tanto, no hubo un estado de sobreentrenamiento aparente con el entrenamiento aeróbico de fondo.

Un hallazgo fascinante de esta investigación de Kramer (112) fue el cambio en el tamaño de las fibras musculares de la musculatura del muslo.

Estudios previos mostraron disminuciones en el tamaño de las fibras musculares durante un entrenamiento aeróbico de fondo (15, 65). Sin embargo, el estudio de Kramer (112) reveló que la transformación de fibras tipo IIx en IIa fue casi completa en el grupo S (19,1±7,9% de tipo IIx antes del entrenamiento a 1,9±0,8% posentrenamiento) y en el grupo C (14,11±7,2% antes a 1,6±0,8% después). Lo interesante es que los grupos UC y E (que solo siguieron un entrenamiento interválico) también experimentaron una transformación significativa de fibras tipo IIx después del entrenamiento (22,6±4,9% antes a 11,6±5,3% después en el grupo UC, y 19,2±3,6% antes a 8,8±4,4% después en el grupo E). Esto revela que el entrenamiento resistido con grandes cargas recluta más fibras tipo IIx que el entrenamiento aeróbico de fondo con intervalos de gran intensidad. Además, un pequeño número (<3%) de fibras tipo IIa se convirtieron en fibras tipo IIc en el grupo que siguió un entrenamiento aeróbico. El grupo que combinó ambos entrenamientos aumento el tamaño muscular solo de las fibras tipo IIa, mientras que el grupo S mostró incrementos en las fibras tipo I, IIc y IIa. La falta de cambios en el área de las fibras tipo I y el incremento del área de las de tipo IIa en el grupo C parecen representar una adaptación celular que muestra el antagonismo de los estímulos simultáneos aeróbico y de la fuerza, dado que el entrenamiento de la fuerza por sí solo produjo incrementos en las áreas de las fibras musculares tipo I y tipo II. El grupo E mostró una disminución del tamaño de las fibras tipo I y IIc, presumiblemente debido a los niveles de cortisol más elevados (y a la reducción de los niveles de testosterona) y a la necesidad fisiológica entre capilares y células de mejorar la cinética del oxígeno para distancias más cortas.

¿Qué mejoras se producen en el rendimiento tras el ejercicio anaeróbico?

Fuerza muscular

- Una revisión de más de cien estudios ha demostrado que la fuerza media mejora aproximadamente un 40% en los participantes «sin entrenar», un 20% en los participantes «moderadamente entrenados», un 16% en los participantes «entrenados», un 10% en los participantes de nivel «avanzado» y un 2% en los participantes de nivel «de elite» a lo largo de períodos de entre cuatro semanas y dos años (103).
- Con entrenamiento, una transición positiva en los tipos de fibras musculares refleja un

mayor reclutamiento de unidades motoras de orden superior. Las fibras tipo IIx experimentan una transición a fibras tipo IIa y reflejan una mayor resistencia a la fatiga con un producción similar de fuerza absoluta.

Potencia

- La carga óptima para incrementar los picos de producción de potencia en la sentadilla con salto es el 0% de 1RM (es decir, con el peso del cuerpo [31]). Sin embargo, se ha documentado que los picos de producción de potencia alcanzan el máximo en atletas que entrenan la potencia con cargas mayores correspondientes al 30-60% de 1RM de sentadilla (12).
- Los picos de potencia en la sentadilla se elevan al máximo al 56% de 1RM y al 80% de 1RM en la cargada de fuerza (31).
- Para el hemicuerpo superior, los picos en la producción de potencia alcanzan el máximo durante el *press* de banca con lanzamiento balístico usando cargas correspondientes al 46-62% de 1RM de *press* de banca (11).

Tolerancia al ejercicio de la musculatura local

- Los datos del área transversal de la musculatura de atletas que siguen un entrenamiento anaeróbico han mostrado una mejora de la tolerancia muscular y las subsiguientes adaptaciones musculares acordes a la mejora de la capacidad de compensación y oxidativa (100).
- Las adaptaciones del músculo esquelético al entrenamiento anaeróbico de fondo comprenden transiciones de los tipos de fibras, de tipo IIx a tipo IIb, así como incrementos en el número de capilares y mitocondrias, en la capacidad de compensación, en la resistencia al cansancio y en la actividad de las enzimas en el metabolismo (64, 116).

Composición corporal

- El entrenamiento resistido aumenta la masa libre de grasa y reduce la grasa corporal hasta un 9% (116).
- Los incrementos de la masa corporal magra, del índice metabólico y del gasto de energía durante el ejercicio son producto del entrenamiento resistido (53).

Flexibilidad

- El entrenamiento anaeróbico tiene potencialmente un impacto positivo sobre la flexibilidad, y una combinación de entrenamiento resistido y estiramientos parece ser el método más eficaz para mejorar la flexibilidad al aumentar la masa muscular (116).

Capacidad aeróbica

- En personas sin entrenar, el entrenamiento resistido con grandes cargas aumenta el $\dot{V}O_2$ máx de un 5% a un 8%. En personas entrenadas, el entrenamiento resistido no influye significativamente en la capacidad aeróbica (52).

- El entrenamiento en circuito y los programas que aplican un volumen elevado y períodos cortos de descanso (es decir, 30 segundos o menos) han demostrado mejorar el $\dot{V}O_2$ máx (64).

Rendimiento motor

- El entrenamiento resistido ha demostrado aumentar la economía en carrera, el salto vertical, la velocidad en los esprines, la velocidad del saque en el tenis, la velocidad de los balanceos y lanzamientos, y los resultados de las patadas (116).

La mayoría de los estudios utilizan a personas no entrenadas para examinar los efectos de un entrenamiento simultáneo de resistencia de alta intensidad y otro aeróbico de fondo (65, 74, 127, 138). Pocos estudios han examinado el entrenamiento concurrente de la población formada por atletas de elite (172). Varios estudios han documentado cierta incompatibilidad entre el entrenamiento resistido tres días a la semana alternado con otros tres días a la semana de entrenamiento aeróbico de fondo (es decir, seis días seguidos de entrenamiento, o de cuatro a seis días semanales de entrenamiento combinado: resistido de alta intensidad y aeróbico de fondo (16, 44, 112), lo cual confiere credibilidad a la sugerencia de que el inicio de los mecanismos de sobreentrenamiento podría desempeñar cierto papel en estos casos. Cuando ambas modalidades se practican durante la misma sesión (lo cual supone una frecuencia de tres días semanales con al menos un día de descanso entre sesiones), la incompatibilidad no se ha mostrado con tanta frecuencia (127, 137, 138). Una excepción fue un estudio realizado por Sale y colaboradores (168), según el cual cuatro días de entrenamiento (dos días de entrenamiento resistido y dos días de entrenamiento aeróbico de fondo) por semana daban mejor resultado que entrenar dos días (entrenamiento aeróbico de fondo y resistido combinados) por semana para aumentar 1RM en el *press* de piernas (25% frente a 13%). Estos estudios demuestran que incrementar el período de recuperación entre sesiones tal vez reduzca la incompatibilidad, un principio respaldado por un reciente metaanálisis sobre entrenamiento simultáneo a cargo de Wilson y colaboradores (197).

El desarrollo de la potencia parece verse más afectado negativamente que la fuerza durante el entrenamiento simultáneo resistido de alta intensidad y aeróbico de fondo. Häkkinen (74) documentó incrementos similares de la fuerza dinámica e isométrica después de 21 semanas de entrenamiento simultáneo o entrenamiento resistido solo. Sin embargo, el grupo que solo

practicó entrenamiento resistido mostró mejoras en la tasa de desarrollo de fuerza, mientras que el grupo que hizo un entrenamiento simultáneo no igualó ese incremento. Kraemer (112) también demostró que el grupo que solo practicó entrenamiento resistido aumentó su potencia muscular, mientras que el grupo de entrenamiento combinado no lo hizo. El grupo que solo practicó entrenamiento resistido también aumentó el pico de potencia en las pruebas para los hemicuerpos superior e inferior, mientras que no fue así en el grupo de entrenamiento combinado. Parece ser que el desarrollo de la potencia es mucho más susceptible a los efectos antagonistas del entrenamiento combinado de la fuerza y del aeróbico de fondo que el desarrollo de fuerza a velocidad lenta (112). Por último, la secuencia tal vez desempeñe un papel en el grado de adaptación. Leveritt y Abernethy (126) examinaron el rendimiento levantando pesas 30 minutos después de una sesión de ejercicio aeróbico de 25 minutos y hallaron que el número de repeticiones practicadas durante la sentadilla se redujo un 13-36% durante tres series.

Sobreentrenamiento

El objetivo del entrenamiento es imponer una sobrecarga gradual al cuerpo para que las adaptaciones fisiológicas contribuyan con posterioridad a una mejora del rendimiento. El éxito del entrenamiento no solo debe implicar sobrecarga, sino que también debe evitar la combinación de una sobrecarga excesiva con una recuperación inadecuada (140). Cuando la frecuencia, volumen o intensidad del entrenamiento (o alguna combinación de estos) sean excesivos sin suficiente reposo, recuperación e ingesta nutricional, pueden surgir condiciones de cansancio extremo, enfermedad o lesión (o más de una de ellas) (110, 124, 185). Esta acumulación de esfuerzo del entrenamiento puede causar decrementos *a largo plazo* del rendimiento con o sin signos y síntomas fisiológicos o psicológicos asociados de inadaptación, y recibe el nombre de **sobreentrenamiento**. Dependiendo del grado de sobreentrenamiento del atleta, la recuperación del rendimiento requerirá varias semanas o meses (81, 140).

Cuando un atleta se somete a excesivo entrenamiento que deriva en decrementos *a corto plazo* del rendimiento, esta respuesta temporal recibe el nombre de **extralimitación** o **extralimitación funcional (EF)** (58, 163). La recuperación de esta afección se suele producir con unos días o semanas de

descanso; por consiguiente, la extralimitación se puede prescribir como una fase planificada en muchos programas de entrenamiento. La razón es sobreentrenar (empeorar el rendimiento y mejorar la tolerancia) y luego iniciar una disminución progresiva del trabajo para que se produzca una «supercompensación» en el rendimiento. De hecho, se ha demostrado que la extralimitación a corto plazo seguida por un período apropiado de disminución progresiva del trabajo se traduce en mejoras beneficiosas de la fuerza y la potencia (163). Sin embargo, cuando se gestiona mal, puede tener efectos perjudiciales (144).

Cuando la intensificación de un estímulo del entrenamiento prosigue sin adecuada recuperación y regeneración, el atleta puede entrar en un estado de extralimitación excesiva o **extralimitación no funcional (ENF)**. Esta ENF deriva en estancamiento y disminución del rendimiento que se mantendrán durante varias semanas o meses. Cuando un atleta no respeta completamente el equilibrio entre entrenamiento y recuperación, los primeros signos y síntomas de malestar por un entrenamiento prolongado redundan en reducción del rendimiento, aumento del cansancio, disminución del vigor y trastornos hormonales. Cuando esto ocurre, resulta difícil diferenciar una ENF y lo que se ha denominado **síndrome de sobreentrenamiento (SSE).** Básicamente, la definición del SSE es una «inadaptación prolongada» no solo del atleta sino también de varios mecanismos de regulación biológicos, neuroquímicos y hormonales. Se han sugerido muchos términos alternativos para el SSE, como *estar quemado, sobreentrenamiento crónico, agotamiento, síndrome de infrarrendimiento inexplicable* y *cansancio excesivo* (21, 23). La figura 5.6 muestra la progresión que se produce en el continuo del sobreentrenamiento.

El síndrome de sobreentrenamiento puede durar hasta seis meses o más; y en el peor de los casos, el SSE puede arruinar la carrera de un deportista. Se han propuesto dos tipos de SSE: simpático y parasimpático. El **síndrome de sobreentrenamiento simpático** comprende un aumento de la actividad simpática en reposo, mientras que el **síndrome de sobreentrenamiento parasimpático** implica un aumento de la actividad parasimpática en reposo y durante el ejercicio (140). Se cree que el síndrome simpático se desarrolla antes que el síndrome parasimpático y predomina en atletas más jóvenes que entrenan la velocidad y la potencia (58). Al final, todos los estados de sobreentrenamiento culminan en el síndrome parasimpático y en la supresión crónica de la mayoría de los sistemas fisiológicos del cuerpo (140). Como es

posible que haya rebotes, resulta difícil determinar exactamente cuándo el sobreentrenamiento se vuelve crónico. Además, algunos atletas responden positivamente a las estrategias de extralimitación (163), mientras que en otros la extralimitación puede ser el catalizador del SSE.

Un rasgo predominante del SSE es la incapacidad para mantener un ejercicio de alta intensidad cuando la carga de entrenamiento se mantiene o aumenta (141). En muchos casos, el SSE es una consecuencia de una ENF prolongada, lo cual en sí mismo puede ser producto de errores en la prescripción de la carga de entrenamiento y de una administración errónea de las variables agudas del entrenamiento (p. ej., intensidad, volumen, descanso). Un error habitual en los atletas sobreentrenados es una tasa demasiado alta de sobrecarga progresiva. Es decir, aumentar el volumen o la intensidad (o ambos) demasiado rápido durante un período de varias semanas o meses con recuperación insuficiente puede causar mayores daños estructurales a lo largo del tiempo y, potencialmente, sobreentrenamiento. En la tabla 5.3 aparece una revisión teórica del sobreentrenamiento anaeróbico.

Con el propósito de estudiar el sobreentrenamiento, provocar deliberadamente el SSE en un laboratorio no es fácil. Y lo que es más, mientras que los síntomas del SSE por lo general se consideran más graves que los de una ENF, no hay evidencias científicas que confirmen o refuten esta sugerencia (140), lo cual dificulta el confirmar que haya habido SSE. En su lugar, la monitorización longitudinal de los atletas ha sido la forma más práctica de documentar las respuestas fisiológicas y los efectos del sobreentrenamiento sobre el rendimiento. La mayoría de estos estudios se han realizado con deportes de fondo, donde quizá sea más predominante. Sin embargo, una encuesta a atletas sobreentrenados demostró que el 77% de ellos también practicaban deportes que exigían niveles altos de fuerza, velocidad o coordinación (58). Los síntomas de sobreentrenamiento en actividades anaeróbicas (simpáticos) también fueron distintos de los de las actividades aeróbicas de fondo (parasimpáticos) (23, 58).

El sobreentrenamiento de carácter simpático es un poco más difícil de caracterizar que el sobreentrenamiento parasimpático. Se puede especular con que el aumento de la actividad neuronal como consecuencia de una excesiva activación de las unidades motoras tal vez conlleve este tipo de sobreentrenamiento; sin embargo, hay muchos otros factores que, potencialmente, podrían intervenir. Tras adoptar un modelo de ENF a corto plazo (ocho series de sentadillas en máquina con una carga del 95% de 1RM

durante seis días consecutivos), Fry (59) examinó las respuestas a una intensidad específica y registró disminuciones inespecíficas en la producción de torque isocinético, peores marcas en esprines y tiempos más largos en las pruebas de agilidad. Sin embargo, también registró que se conservaba la fuerza de 1RM. En un estudio subsiguiente también a cargo de Fry (62), los sujetos practicaron diez series de 1RM durante siete días con un día de descanso. Esto supuso una disminución significativa (>4,5 kg) de 1RM en el 73% de los atletas. Resulta interesante que algunos sujetos mostraran mejoras y no llegaran a un estado de ENF. Esto demuestra que el curso temporal del inicio de los síntomas de extralimitación o sobreentrenamiento depende en gran medida de las respuestas individuales, del estado de entrenamiento y del legado genético.

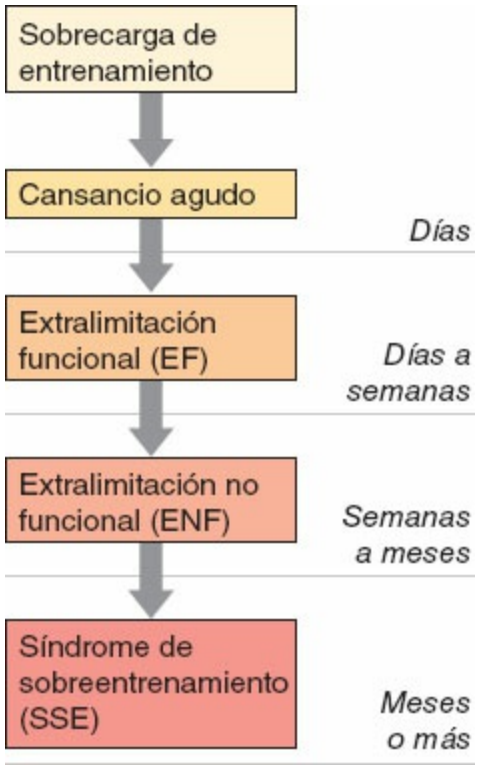


FIGURA 5.6 El continuo del sobreentrenamiento.

TABLA 5.3 Desarrollo teórico del sobreentrenamiento anaeróbico

Fases de sobreentrenamiento	Día(s)	Rendimiento anaeróbico							
		Rendimiento	Neuronal	Musculoesquelético	Metabólico	Cardiovascular	Inmunitario	Endocrino	Psicológico
Cansancio agudo	Día(s)	Sin efecto o **incremento**	Función neuronal alterada	—	—	—	—	—	—
Extralimitación funcional (EF)	Días a semanas	Disminución **temporal**, vuelta a valores basales	Alteración del reclutamiento de unidades motoras	—	—	—	—	Actividad simpática y control hipotalámico alterados	—
Extralimitación no funcional (ENF)	Semanas a meses	**Estancamiento** o disminución	Menor coordinación motora	Mecanismo alterado de excitación contracción	Disminución del glucógeno muscular	Aumento de la tensión arterial y la frecuencia cardíaca en reposo	Alteración de la función inmunológica	Concentraciones hormonales alteradas	Trastornos del estado de ánimo
Síndrome de sobreentrenamiento (SEE)	Muchos meses a años	**Disminución**	—	Descenso de la producción de fuerza	Descenso de la capacidad glucolítica	—	Enfermedad e infección	—	Trastornos emocionales y del sueño

Fuente: Reproducido, con permiso, de Fry *et al.,* 1993 (62); Meeusen *et al.,* 2013 (140).

Errores que pueden derivar en sobreentrenamiento anaeróbico

El estado de sobreentrenamiento se asocia con daños o con alteraciones fisiológicas negativas del sistema neuromuscular. Al igual que con cualquier otra forma de entrenamiento, la estructura de un programa anaeróbico de entrenamiento dicta en último término la naturaleza de las adaptaciones físicas y fisiológicas que se producen como respuesta al estímulo del entrenamiento. Un error en la prescripción de cualquier variable aguda del programa podría, teóricamente, contribuir a una ENF si se repite de forma constante en el curso del tiempo. Esto ocurre a menudo cuando atletas muy motivados emplean un volumen elevado de grandes cargas en el entrenamiento, con una elevada frecuencia y un descanso limitado para recuperarse entre sesiones de ejercicio. El volumen de entrenamiento ha demostrado ser importante para aumentar las mejoras continuas del rendimiento. Por el contrario, un volumen excesivamente alto de ejercicio puede generar un estímulo que supere la capacidad del atleta para recuperarse del esfuerzo y tal vez cause un exceso de dolores musculares y fatiga residual. Por tanto, la periodización del entrenamiento consiste en una cuidadosa planificación que evite el sobreentrenamiento.

Marcadores hormonales del sobreentrenamiento

anaeróbico

La monitorización habitual de los valores del rendimiento es básica para cualquier intento de evitar el inicio de una EFN o un SSE, aunque algunos investigadores han recurrido a marcadores biológicos para intentar caracterizar el sobreentrenamiento anaeróbico. De hecho, desde hace mucho se esgrime la hipótesis de que factores endocrinos median en la disfunción central durante la patogénesis del SSE (140).

Hace mucho que la relación de la concentración plasmática de testosterona y cortisol en reposo se considera un indicador del estado de sobreentrenamiento. Esta relación disminuye en relación con la intensidad y duración del ejercicio; sin embargo, ahora es evidente que solo revela el esfuerzo fisiológico continuo del entrenamiento y no se puede emplear con propósitos diagnósticos (43). Se ha registrado una elevación limitada de las hormonas hipofisarias (hormona adrenocorticotropa [ACTH], hormona del crecimiento, hormona luteinizante, hormona folicular [FSH]) como respuesta a un estímulo estresante (194). Sin embargo, a pesar de esta respuesta hormonal aguda aparentemente uniforme, no es sencilla la explicación de la alteración del sistema neuroendocrino causada por el SSE. El que la circulación periférica de las hormonas metabólicas se pueda usar como un marcador preciso del SSE sigue siendo un tema de continuo debate. En el esfuerzo por predecir las respuestas al sobreentrenamiento de la EF, se ha observado la disminución de las concentraciones en reposo de testosterona y del IGF-I (159); pero, como respuesta al ejercicio resistido, se registran respuestas puntuales aumentadas de los niveles de testosterona en personas entrenadas con exposición previa a extralimitación (61). El *sobreentrenamiento asociado con el volumen del ejercicio* ha demostrado aumentar los niveles de cortisol y reducir las concentraciones en reposo de la hormona luteinizante y las concentraciones de testosterona total y testosterona libre (58). Además, la elevación de la testosterona total inducida por el ejercicio puede ser potencialmente limitado (79).

¿Cuáles son los marcadores de sobreentrenamiento anaeróbico?

Aunque los conocimientos sobre los mecanismos patológicos centrales de la EF hayan aumentado significativamente, sigue habiendo una elevada demanda de medios relevantes para una identificación precoz de la EF. Hasta que se desarrolle un medio

definitivo de evaluación, entrenadores y atletas necesitan recurrir a los decrementos en el rendimiento como una herramienta de verificación de que el sobreentrenamiento es evidente. Se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

1. ¿Experimenta el atleta alguno de los siguientes síntomas?
   - Infrarrendimiento inexplicable.
   - Fatiga persistente.
   - Mayor percepción del esfuerzo durante el entrenamiento.
   - Trastorno de los patrones del sueño.
   - Pérdida del apetito.
2. ¿Son las puntuaciones del atleta en las pruebas de esfuerzo máximo, en las pruebas de rendimiento en un deporte específico o en las evaluaciones previas de los signos vitales (frecuencia cardíaca, tensión arterial) peores que en pruebas anteriores, o peores de lo que se consideran valores normales o basales?
3. ¿Hay errores en el diseño del programa de entrenamiento del atleta?
   - Aumento significativo del volumen de entrenamiento (<5%).
   - Incremento significativo de la intensidad de entrenamiento.
   - Monotonía del entrenamiento.
   - Elevado número o frecuencia de competiciones.
4. ¿Existen otros factores de confusión?
   - Signos y síntomas psicológicos (alteración del Perfil de los Estados de Ánimo [POMS], índice de percepción del esfuerzo [IPE] por encima de lo normal).
   - Factores sociales (familia, relaciones afectivas, finanzas, trabajo, entrenador, equipo).
   - Múltiples o recientes viajes entre husos horarios.
5. ¿Presenta el atleta algún criterio habitual de exclusión?
   - Enfermedades que se confunden con otras.
   - Anemia.
   - Enfermedades infecciosas.
   - Daños musculares (niveles elevados de creatincinasa).
   - Trastornos endocrinos (diabetes, catecolaminas, hormonas suprarrenales, hormona tiroidea).
   - Trastornos graves de la conducta alimentaria.
   - Anomalías biológicas (proteína C reactiva, creatinina, disminución del nivel de ferritina).
   - Lesiones musculoesqueléticas.
   - Síntomas cardiológicos.
   - Asma del adulto.
   - Alergias.

Hay que ser conscientes de que ningún marcador por sí solo se puede tomar como un indicador de una EF inminente. Una plétora de estudios (140, 185, 194) sugieren que la EF es de naturaleza multifactorial y que debería plantearse la monitorización constante de una combinación de variables fisiológicas, bioquímicas, inmunológicas, psicológicas y del rendimiento.

El *sobreentrenamiento asociado con la intensidad del ejercicio* no parece alterar las concentraciones hormonales en reposo (58). Fry (60) no registró cambios en las concentraciones de testosterona circulante, testosterona libre,

cortisol ni hormona del crecimiento durante el sobreentrenamiento anaeróbico de alta intensidad (p. ej., diez series diarias de 1RM del ejercicio de sentadillas durante dos semanas). Resulta interesante que Meeusen (141) haya documentado que el *estado de entrenamiento* de un atleta influye en la reactividad a las hormonas hipotalámicas-hipofisarias, con diferimiento de las respuestas neuroendocrinas exhibidas como respuesta a la EFN. Inicialmente, es probable que los atletas muy entrenados experimenten hipersensibilidad a las hormonas simpáticas, tras lo cual habrá una supresión de las concentraciones de las hormonas circulantes que reflejará una regulación a la baja de la sensibilidad hipofisaria y agotamiento hipofisario a largo plazo (141). Colectivamente, las respuestas endocrinas parecen precisar más de una semana de monitorización para servir de marcadores. Lo que está claro, sin embargo, es que los biomarcadores más eficaces quizá sean los que permitan una detección precoz de la EFN, y es este temprano reconocimiento lo que permitirá la prevención del SSE.

Factores psicológicos en el sobreentrenamiento

Los trastornos del estado de ánimo y los síntomas psicológicos, determinados por el cuestionario «Perfil de los estados de ánimo» (POMS), se han asociado durante muchos años con el SSE en atletas. El entrenamiento resistido con grandes cargas se acompaña de una disminución del vigor, la motivación y la confianza en uno mismo, también de mayores niveles de tensión, depresión, ira, fatiga, confusión, ansiedad e irritabilidad, así como de un empeoramiento de la capacidad de concentración (110). La alteración de las características psicológicas también se relaciona con cambios en los perfiles endocrinos (141). Muchos atletas perciben el sobreentrenamiento por las alteraciones psicológicas asociadas que a menudo se observan antes de que haya una disminución de verdad en el rendimiento. La monitorización del estado mental y del ánimo de los atletas es muy importante para un mayor discernimiento del estado de sobreentrenamiento (111, 140).

Desentrenamiento

Desentrenamiento es el término aplicado a una disminución del rendimiento y a una pérdida de las adaptaciones fisiológicas acumuladas tras el cese del entrenamiento anaeróbico o cuando hay una reducción sustancial de la frecuencia, el volumen y la intensidad, o de cualquier combinación de estas

variables. Según los principios de la *reversibilidad*, las adaptaciones inducidas por el entrenamiento son transitorias y, por tanto, pueden desaparecer cuando la carga de entrenamiento es insuficiente o se suprime por completo. El resultado es una pérdida parcial o completa de las adaptaciones anatómicas, fisiológicas y del rendimiento. La magnitud de estas pérdidas depende de la duración del período de desentrenamiento, así como del estado inicial de entrenamiento del individuo.

Después de la eliminación de un estímulo de entrenamiento hay un tiempo de latencia antes de que se observen plenamente los efectos del desentrenamiento. La fuerza se suele mantener inicialmente hasta cuatro semanas de inactividad; sin embargo, en atletas muy entrenados, la fuerza excéntrica y la potencia en un deporte específico pueden declinar significativamente más rápido (146). En halterófilos entrenados, la eliminación del estímulo de entrenamiento durante 14 días no afectó en grado significativo a la fuerza de 1RM en el *press* de banca (–1,7%), ni en las sentadillas (–0,9%), ni en la fuerza isométrica (–7%) e isocinética durante la extensión concéntrica de la rodilla (–2,3%), ni en los saltos verticales (–1,2%) (88). En el caso de hombres con entrenamiento a nivel recreativo, se aprecian muy pocos cambios durante las primeras seis semanas de desentrenamiento (108). Declives significativamente pronunciados en la fuerza acompañan el cese del entrenamiento durante períodos más largos de atletas que entrenan la fuerza (146), si bien esta pérdida se limita al 7-12% durante períodos de inactividad de entre 8 y 12 semanas. Esta pérdida de fuerza se acompaña de una disminución del promedio de la actividad EMG intramuscular máxima unilateral y bilateral. De hecho, la disminución de la fuerza parece estar relacionada inicialmente con mecanismos neuronales, predominando la atrofia a medida que se extiende el período de desentrenamiento. Resulta interesante que la fuerza muscular conservada pocas veces sea inferior a los valores previos al entrenamiento, lo cual revela que el entrenamiento resistido mantiene un efecto residual cuando se suprime el estímulo. Sin embargo, cuando el atleta vuelve al entrenamiento, el ritmo de recuperación de la fuerza es alto, lo cual respalda el paradigma de la «memoria muscular».

Respecto a las características de las fibras musculares después del cese del entrenamiento, parece que la disrupción fibrilar se mantiene sin cambios durante las semanas iniciales de inactividad, si bien tal vez haya un incremento de las fibras oxidativas en atletas que entrenan la fuerza (y una

disminución en los atletas de fondo) durante las ocho semanas siguientes a la interrupción del entrenamiento (146). En atletas que entrenan la fuerza, se ha documentado que 14 días de inactividad no influyen en la distribución de los tipos de fibras musculares (88). En comparación, el área transversal de las fibras musculares disminuye rápidamente en atletas de fuerza y velocistas (146). En 12 halterófilos entrenados, Hortobagyi (88) observó un declive del 6,4% en el área transversal de las fibras de contracción rápida en un plazo de 14 días. Estos cambios se centraron al principio específicamente en las fibras de contracción rápida, sin cambios significativos inmediatos en las fibras de contracción lenta. Períodos más largos de inactividad conllevan declives en el área transversal de las fibras de contracción rápida y lenta, y en la masa muscular de atletas con entrenamiento anaeróbico. En jugadores de rugby profesionales, el área transversal de las fibras de contracción rápida disminuyó más que la de las fibras de contracción lenta, siendo las primeras un 23% más grandes al final de la temporada competitiva, pero solo un 9% más grandes después de seis semanas sin entrenamiento (8). Después de siete meses sin entrenar, se observó un promedio del 37,1% de atrofia en todos los tipos de fibras de un *powerlifter* (182); en fisioculturistas de elite, tras 13,5 meses sin entrenamiento la disminución de la masa corporal magra, del perímetro del muslo y el brazo, y del área transversal media de las fibras fue, respectivamente, del 9,3%, 0,5%, 11,5% y 8,3% (72).

Conclusión

El ejercicio anaeróbico representa un tipo específico de esfuerzo del entrenamiento que incide sobre la anatomía y diversos sistemas del cuerpo; las adaptaciones consiguientes al entrenamiento anaeróbico son específicas de la naturaleza del ejercicio practicado. También resulta evidente que la edad, nutrición, el nivel previo de forma física y la motivación para entrenar influyen en las adaptaciones. La integración de un programa de entrenamiento que cuente con muchos componentes requiere una cuidadosa planificación y monitorización para reducir al mínimo los casos de incompatibilidad o sobreentrenamiento. El entrenamiento explosivo provoca incrementos acusados en la potencia muscular, mientras que el entrenamiento resistido con grandes cargas —más convencional— sobre todo incrementa el tamaño y la fuerza musculares. El entrenamiento anaeróbico (resistido, esprines, pliometría, agilidad, entrenamiento interválico de alta intensidad)

provoca en general adaptaciones específicas del sistema nervioso que derivan en un mayor reclutamiento, una mayor tasa de activación, más sincronización y mejora de la función muscular, lo que permite mejoras de la fuerza y la potencia.

El entrenamiento anaeróbico también tiene efectos positivos sobre el hueso, el músculo y el tejido conjuntivo asociado; todo el sistema musculoesquelético experimenta una adaptación coordinada al ejercicio. Los atletas que se someten a un entrenamiento con ejercicio agotador experimentan cambios en la capacidad para generar fuerza del músculo, lo cual causa un incremento proporcional y coordinado de la capacidad de carga del hueso y del tejido conjuntivo. El entrenamiento anaeróbico aumenta la masa de músculo esquelético y tal vez provoque sutiles alteraciones del sistema endocrino que mejoren el proceso de remodelación del tejido.

El entrenamiento anaeróbico suele provocar menos respuestas agudas y crónicas de los sistemas cardiovascular y respiratorio, aunque el ejercicio resistido de alto volumen y baja intensidad genera algunas respuestas similares a las del ejercicio aeróbico. Colectivamente, la mejora de la función neuromuscular, musculoesquelética, endocrina y cardiovascular contribuyen a mejorar la fuerza, potencia, hipertrofia muscular y rendimiento motor, todo lo cual contribuye a mejorar el rendimiento físico. Las adaptaciones observadas en atletas están directamente relacionadas con la calidad del estímulo del ejercicio y, por tanto, con los niveles de sobrecarga progresiva, especificidad y variación incorporados en el diseño del programa. La base científica del diseño de programas se aprecia definitivamente en la eficacia con la que el atleta mejora su rendimiento.

TÉRMINOS CLAVE

actina
ángulo de distribución penniforme
carga mecánica
cartílago
  fibroso
  hialino
colágeno
déficit bilateral
densidad mineral ósea (DMO)

desentrenamiento
efecto cruzado
ejercicios estructurales
elastina
electromiografía (EMG)
entrenamiento anaeróbico
equivalente ventilatorio
especificidad de la carga
estímulo osteogénico
extralimitación
    funcional (EF)
    no funcional (ENF)
facilitación bilateral
fractura por sobrecarga
hidroxiapatita
hiperemia reactiva
hiperplasia
hipertrofia
hueso
    cortical
    trabecular
matriz ósea
microfibrilla
miogénesis
miosina
nebulina
osteoblasto
osteoporosis
periostio
pico de masa ósea
principio del tamaño
procolágeno
producto del índice de presión
reclutamiento selectivo
reflejo miotático
reticulación
rigidez del tendón

síndrome
  de sobreentrenamiento (SSE)
  de sobreentrenamiento parasimpático
  de sobreentrenamiento simpático
sistema anaeróbico
  aláctico
  láctico
sobrecarga progresiva
sobreentrenamiento
tensión esencial mínima (TEM)
titina
unidad motora
unión neuromuscular (UNM)

PREGUNTAS DE REPASO

(respuestas en la página 657)

1. Tras un entrenamiento resistido, la fuerza neural aumentada de la musculatura que se ha ejercitado es el resultado de:
   I. Aumento del reclutamiento de la musculatura agonista.
   II. Hipertrofia muscular.
   III. Mejora de la frecuencia de activación.
   IV. Mayor sincronización.
   a. Todo lo anterior.
   b. Solo I y IV.
   c. Solo I, II y III.
   d. Solo I, II y IV.

2. Cuando se practica el ejercicio pliométrico de salto desde una altura de una caja a otra, con el fin de generar suficiente fuerza en un tiempo limitado (<200 ms), ¿qué fibras musculares se puentean gracias al principio del reclutamiento selectivo?
   a. I.
   b. IIa.
   c. IIx.
   d. IIc.

3. ¿Cuál de las siguientes características fisiológicas o del rendimiento NO se suele observar en un estado de extralimitación no funcional (ENF) dentro de la población atlética?
   a. Estancamiento y bajada del rendimiento.
   b. Trastornos hormonales.
   c. Alteraciones del estado de ánimo y depresión.
   d. Incremento de los niveles de fatiga.

4. Después de períodos prolongados de desentrenamiento en atletas de fuerza/potencia de elite, ¿cuál de las siguientes características físicas es probable que muestre la máxima reducción como consecuencia de la supresión de un estímulo de entrenamiento anaeróbico?
   a. Masa adiposa total.
   b. Área transversal de las fibras de contracción rápida.
   c. Área transversal de las fibras de contracción lenta.
   d. Contenido total de fibras musculares tipo I.

5. Después de un período de entrenamiento resistido crónico de alta intensidad, se producen varias adaptaciones fisiológicas en diversos sistemas del cuerpo que favorecen una mejora del rendimiento físico en actividades de fuerza/potencia. Si un atleta de elite se sometiese a 12 semanas de entrenamiento de la fuerza con grandes cargas, ¿cuál de las siguientes adaptaciones NO deberíamos esperar como consecuencia de este tipo de ejercicio anaeróbico?
   a. Una transición de fibras musculares tipo IIx a tipo IIa.
   b. Aumento del ángulo de distribución penniforme.
   c. Reducción de la densidad del retículo sarcoplasmático y de los túbulos T.
   d. Elevada actividad de la Na^+/K^+-ATPasa.

6. ¿En cuál de los siguientes atletas deberíamos esperar niveles limitados de densidad mineral ósea (DMO) como consecuencia de los vectores de fuerza y las exigencias físicas asociadas con este tipo de ejercicio anaeróbico?
   a. Una gimnasta de 16 años que lleva entrenando siete años.
   b. Un liniero ofensivo de 23 años que lleva ocho años levantando pesas.
   c. Un ciclista de pista de 33 años que levanta 159 kg en sentadilla

(1RM).

d. Un nadador de 800 m estilo libre, de 19 años, con un año de entrenamiento.

CAPÍTULO 6

Adaptaciones a los programas de entrenamiento de la resistencia aeróbica

Ann Swank y Carwyn Sharp

A la conclusión del capítulo, el lector:

- Advertirá y especificará las respuestas agudas de los sistemas cardiovascular y respiratorio al ejercicio aeróbico.
- Identificará y describirá el impacto del entrenamiento aeróbico y crónico de fondo sobre las características fisiológicas de los sistemas cardiovascular, respiratorio, nervioso, muscular, endocrino y óseo y del tejido conjuntivo.
- Reconocerá la interacción del entrenamiento de la resistencia aeróbica y optimizará las respuestas psicológicas de todos los sistemas corporales.
- Identificará y describirá los factores externos que influyen en las adaptaciones del ejercicio aeróbico agudo y crónico, incluyendo la altura, el sexo, el dopaje sanguíneo y el desentrenamiento.
- Reconocerá las causas, signos, síntomas y efectos del sobreentrenamiento.

Conocer las respuestas de los sistemas corporales al ejercicio aeróbico agudo y crónico es crucial para el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico que quiere ofrecer un entrenamiento físico eficaz. Este capítulo describe las respuestas agudas de los sistemas cardiovascular y respiratorio al ejercicio aeróbico y a sus variables fisiológicas asociadas que se usan para medir estas respuestas. También se presentan las adaptaciones crónicas que se producen con el entrenamiento de la resistencia aeróbica. El capítulo concluye con la exposición de factores externos, como la altura, el desentrenamiento y el dopaje sanguíneo, que influyen en las respuestas al entrenamiento de la resistencia aeróbica, así como el impacto nocivo del sobreentrenamiento.

Respuestas agudas al ejercicio aeróbico

Una tanda única de ejercicio aeróbico impone una demanda metabólica significativa al cuerpo (véase la tabla 5.1 en el capítulo 5), sobre todo a los sistemas cardiovascular, respiratorio y muscular. La exposición repetida al esfuerzo agudo del ejercicio que ocurre con el entrenamiento crónico provoca muchos cambios en la función y respuestas de todos los sistemas corporales. Tener un conocimiento básico de los efectos agudos del ejercicio aeróbico aporta las bases para descubrir las adaptaciones crónicas que se expondrán en la siguiente sección.

Respuestas cardiovasculares

Las funciones primarias del sistema cardiovascular durante el ejercicio aeróbico son el aporte de oxígeno y otros nutrientes a los músculos ejercitados, y la eliminación de los metabolitos y otros productos de desecho. Esta sección describe los mecanismos cardiovasculares de estas respuestas agudas.

Gasto cardíaco

El **gasto cardíaco** son los litros de sangre bombeados por el corazón y se determina sabiendo la cantidad de sangre expulsada en cada latido (**volumen sistólico**) y la frecuencia cardíaca del bombeo (**frecuencia cardíaca**):

$$\dot{Q} = \text{volumen sistólico} \times \text{frecuencia cardíaca} \qquad (6.1)$$

donde $\dot{Q}$ es el gasto cardíaco. El volumen sistólico se mide en mililitros de sangre por latido, y la frecuencia cardíaca se determina en latidos (contracciones) por minuto (46).

Durante la progresión de un estado en reposo a otro de ejercicio aeróbico en condiciones de lactato estable, el gasto cardíaco aumenta rápidamente al principio, luego de forma más gradual y, con posterioridad, alcanza una meseta. Durante un ejercicio máximo, el gasto cardíaco tal vez se incremente hasta cuatro veces el nivel en reposo, desde unos 5 L/min hasta un máximo de 20 a 22 L/min (4). El volumen sistólico (véase el apartado siguiente) comienza a aumentar al inicio del ejercicio y sigue subiendo hasta que el consumo de oxígeno de la persona es aproximadamente el 40-50% del consumo máximo de oxígeno (4). Al mismo tiempo, el volumen sistólico

comienza a alcanzar una meseta. Las lecturas del volumen sistólico de hombres sedentarios en edad universitaria son máximas, con un promedio de entre 100 y 120 ml de sangre por latido; los valores del volumen sistólico máximo de mujeres de edad universitaria son aproximadamente un 25% menos, debido al menor tamaño del cuerpo, así como a que el músculo cardíaco es más pequeño (99). El efecto del entrenamiento sobre las respuestas al ejercicio es notable, y apreciamos un incremento del volumen sistólico máximo de hombres en edad universitaria de hasta 150 a 160 ml por latido, y de 100 a 110 ml en mujeres de edad universitaria (99).

Volumen sistólico

Dos mecanismos fisiológicos son los responsables de la regulación del volumen sistólico. El primero es un resultado del **volumen telediastólico**, el volumen de sangre disponible para ser bombeada por el ventrículo izquierdo al final de la fase de llenado o diástole. El segundo responde a la acción de las catecolaminas, como la adrenalina y la noradrenalina, que son hormonas del sistema nervioso simpático que producen una contracción ventricular más forzada y un mayor vaciado sistólico del corazón.

Con ejercicio aeróbico, la cantidad de sangre que vuelve al corazón (también llamado **retorno venoso**) aumenta debido a una combinación de venoconstricción (inducida mediante una mayor activación del sistema nervioso simpático) (6), la bomba de músculo esquelético (las contracciones musculares se alían con las válvulas unidireccionales de las venas para «empujar» más sangre al corazón durante el ejercicio [44]) y la bomba respiratoria (aumento de la frecuencia respiratoria y del volumen corriente) (93). Todas ellas provocan alteraciones de la presión dentro de las cavidades del corazón y de la vena cava torácica, y esto favorece el aumento del retorno venoso (93), con lo cual se incrementa significativamente el volumen telediastólico. Con el aumento del volumen, las fibras miocárdicas se estiran más que en reposo, por lo que su contracción es más forzada (es análogo al estiramiento de una banda de goma y a su mayor retroceso elástico), y se incrementa la fuerza de eyección sistólica y el vaciado cardíaco (46). Este principio, llamado **mecanismo de Frank-Starling**, guarda relación con el concepto de que la fuerza de contracción es una función de la longitud de las fibras de la pared muscular. Este incremento del vaciado cardíaco se caracteriza por un aumento de la **fracción de eyección**, la fracción de volumen telediastólico expulsada del corazón (32, 46). Al inicio del ejercicio,

o incluso con la anticipación del ejercicio, la estimulación simpática eleva la contractilidad del miocardio y, por consiguiente, el volumen sistólico (32, 91).

Frecuencia cardíaca

Justo antes y al comienzo de una sesión de ejercicio, un reflejo o estimulación anticipatoria del sistema nervioso simpático causa una elevación de la frecuencia cardíaca. La frecuencia cardíaca aumenta linealmente con incrementos de la intensidad durante el ejercicio aeróbico (32). El ritmo de elevación de la frecuencia cardíaca, la respuesta real de la frecuencia cardíaca y la frecuencia cardíaca máxima alcanzada se relacionan con varias características individuales del sistema humano, como la condición física y la edad, además de la carga de trabajo del ejercicio.

¿Cómo calculan los atletas su frecuencia cardíaca máxima?

Un cálculo sencillo de la **frecuencia cardíaca máxima** consiste en restar la edad de una persona a 220; por ejemplo, la frecuencia cardíaca máxima estimada para una persona de 47 años es:

220 – 47 (edad en años) = 173 latidos/min

La varianza, o desviación estándar, en torno a este cálculo es ±10 a 12 latidos/min; por tanto, se podría esperar que la frecuencia cardíaca máxima real de esta persona oscilase entre 161 y 185 latidos/min. Véanse en el capítulo 20 más cálculos de la frecuencia cardíaca de esfuerzo. Recientemente, un metaanálisis determinó que la ecuación 208 – 0,7 × edad podría usarse en adultos sanos para predecir la frecuencia cardíaca máxima con más precisión (123).

Consumo de oxígeno

El **consumo de oxígeno** es la cantidad de este gas utilizada por los tejidos del cuerpo. La demanda de oxígeno en los músculos ejercitados aumenta durante las tandas agudas de ejercicio aeróbico y está directamente relacionada con la masa de músculo activo, la eficacia metabólica y la intensidad del ejercicio. Es probable que el ejercicio aeróbico que implica una mayor masa muscular o un nivel superior de trabajo se asocie con un consumo total más elevado de oxígeno. El aumento de la eficacia metabólica permite un incremento del consumo de oxígeno, sobre todo con ejercicio máximo.

El **consumo máximo de oxígeno** es la máxima cantidad de este gas que se usa a nivel celular por todo el cuerpo. Se ha documentado que el consumo máximo de oxígeno guarda correlación con el nivel de acondicionamiento físico y se considera la medición más ampliamente aceptada de la capacidad cardiorrespiratoria (32). La capacidad para usar oxígeno guarda sobre todo relación con la capacidad del corazón y del sistema circulatorio para transportar oxígeno, y con la capacidad de los tejidos del cuerpo para usarlo. Se calcula que el consumo de oxígeno en reposo es 3,5 ml de oxígeno por kilogramo de peso corporal por minuto (ml/kg/ min) en una persona normal; este valor se define como 1 **equivalente metabólico (MET)**. Los valores del consumo máximo de oxígeno de personas saludables normales oscilan por lo general entre 25 y 80 ml/kg/min, o de 7,1 a 22,9 MET, y dependen de diversos parámetros fisiológicos, como la edad y el nivel de condición física (46).

El consumo de oxígeno ($\dot{V}O_2$) se calcula con la **ecuación de Fick**, que expresa la relación entre el gasto cardíaco, el consumo de oxígeno y la diferencia arteriovenosa de oxígeno:

$$\dot{V}O_2 = \dot{Q} \times \text{diferencia a-}\bar{v}\,O_2 \qquad (6.2)$$

donde $\dot{Q}$ es el gasto cardíaco en mililitros por minuto y la diferencia $a\text{-}\bar{v}\,O_2$ es la **diferencia arteriovenosa de oxígeno** (la diferencia en el contenido de oxígeno entre la sangre arterial y la sangre venosa) en mililitros de oxígeno por 100 ml de sangre. Si recordamos la ecuación 6.1, podremos calcular el consumo de oxígeno como se muestra en el siguiente ejemplo:

$$\dot{V}O_2 = \text{frecuencia cardíaca} \times \text{volumen sistólico} \times \text{diferencia a-}\bar{v}\,O_2$$
$$\dot{V}O_2 = 72 \text{ latidos/min} \times 65 \text{ ml de sangre/latido} \times 6 \text{ ml de } O_2/100 \text{ ml de sangre} = 281 \text{ ml } O_2/\text{min}$$

Para expresar el consumo de oxígeno en su unidad común (es decir, ml/kg/min), podríamos dividir el resultado por el peso de la persona en kilogramos. Este es un ejemplo de un atleta de 80 kg:

$$\dot{V}O_2 = 281 \text{ ml } O_2/\text{min} \div 80 \text{ kg}$$
$$\dot{V}O_2 = 3{,}5 \text{ ml/kg/min}$$

Tensión arterial

La **tensión arterial sistólica** mide la presión ejercida contra las paredes arteriales cuando la sangre se expulsa forzadamente durante la contracción ventricular (**sístole**); cuando se combina con la frecuencia cardíaca, sirve para describir el consumo miocárdico de oxígeno (trabajo) del corazón. Este cálculo del trabajo del corazón se obtiene con la siguiente ecuación y se denomina **producto del índice de presión** o **doble producto**:

$$\text{Producto del índice de presión} = \text{frecuencia cardíaca} \times \text{tensión arterial sistólica} \quad (6.3)$$

La **tensión arterial diastólica** mide la presión ejercida contra las paredes arteriales cuando no se expulsa forzadamente ninguna sangre a través de los vasos (**diástole**). La tensión arterial diastólica aporta un índice de la resistencia periférica y puede disminuir con el ejercicio aeróbico por la vasodilatación. En la circulación general, la presión es máxima en la aorta y arterias, y disminuye rápidamente en la circulación venosa. Además, como el bombeo del corazón es pulsátil, la presión arterial en reposo, como media, oscila entre un nivel sistólico de 120 mm Hg y un nivel diastólico de 80 mm Hg (valores aproximados). Mientras el riego sanguíneo prosigue por la circulación general, su presión disminuye progresivamente hasta casi 0 mm Hg (presión venosa) cuando llega al término de la vena cava en la aurícula derecha (46).

La **tensión arterial media** es la presión sanguínea media durante el ciclo cardíaco (ecuación 6.4). La tensión arterial media no es la media de la tensión sistólica y de la tensión diastólica, porque la tensión arterial se suele mantener más próxima al nivel diastólico que al nivel sistólico durante una mayor porción del ciclo cardíaco. Por tanto, la tensión arterial media suele ser menor que la media de la tensión sistólica y de la tensión diastólica.

$$\text{Tensión arterial media} = [(\text{tensión arterial sistólica} - \text{tensión arterial diastólica}) \div 3] + \text{tensión arterial diastólica} \quad (6.4)$$

La tensión arterial normal en reposo suele mostrar unos valores entre 110 y 139 mm Hg de tensión sistólica y entre 60 y 89 mm Hg de tensión diastólica. Con un ejercicio aeróbico máximo, la tensión sistólica se eleva normalmente hasta 220-260 mm Hg, mientras que la tensión diastólica se mantiene en el

nivel en reposo o disminuye ligeramente (46, 91).

Control de la circulación local

La resistencia al riesgo sanguíneo también aumenta al incrementarse la viscosidad de la sangre y la longitud del vaso. Sin embargo, estos factores se mantienen relativamente constantes en la mayoría de las circunstancias. La **vasoconstricción** y la **vasodilatación** de los vasos sanguíneos son, por tanto, los mecanismos primarios para regular el riego sanguíneo regional.

Durante el ejercicio aeróbico, la sangre que afluye a los músculos activos aumenta considerablemente mediante la dilatación de las arteriolas locales; al mismo tiempo, el riego sanguíneo a otros sistemas se reduce mediante la constricción de las arteriolas. En reposo, el 15-20% del gasto cardíaco se distribuye por el músculo esquelético, mientras que con un ejercicio vigoroso este valor tal vez se eleve hasta el 90% del gasto cardíaco (32, 91).

El ejercicio aeróbico agudo incrementa el gasto cardíaco, el volumen sistólico, la frecuencia cardíaca, el consumo de oxígeno, la tensión arterial sistólica y el riego sanguíneo de los músculos activos, y causa una bajada de la tensión arterial diastólica.

Respuestas respiratorias

El ejercicio aeróbico genera un impacto máximo sobre el consumo de oxígeno y sobre la producción de dióxido de carbono en comparación con otros tipos de ejercicio, como el entrenamiento de la resistencia anaeróbica. Los significativos incrementos en el aporte de oxígeno a los tejidos, en el dióxido de carbono que vuelve a los pulmones y en la **ventilación minuto** (el volumen de aire respirado por minuto) procuran niveles apropiados de concentración de gas alveolar durante el ejercicio aeróbico (91).

Con el ejercicio aeróbico, el aumento de la ventilación minuto se produce como resultado de una mayor profundidad de la respiración, una mayor frecuencia respiratoria, o ambas. Durante un ejercicio vigoroso, la frecuencia respiratoria de adultos jóvenes y saludables se suele elevar de 12-15 inspiraciones por minuto en reposo a 35-45 inspiraciones por minuto, mientras que en el **volumen corriente** (VC), la cantidad de aire inhalado y exhalado en cada respiración, se eleva respecto a los valores en reposo (de 0,4 a 1 L) hasta 3 L o más. Por consiguiente, la ventilación minuto puede aumentar hasta 15 a 25 veces el valor en reposo, o hasta valores de 90 a 150

L de aire por minuto (32, 46, 91).

Durante el ejercicio aeróbico de intensidad baja a moderada, hay un aumento en la ventilación directamente asociado con el incremento del consumo de oxígeno y la producción de dióxido de carbono. En este caso, el aumento de la ventilación se debe principalmente al aumento del volumen corriente. La relación entre ventilación minuto y consumo de oxígeno se denomina **equivalente respiratorio,** y oscila entre 20 y 25 L de aire por litro de oxígeno consumido. En casos de ejercicio más intenso (por lo general por encima del 45% al 65% del consumo máximo de oxígeno en personas no entrenadas, y del 70% al 90% en personas entrenadas), la frecuencia respiratoria asume un papel mayor. A estos niveles, la ventilación minuto se eleva desproporcionadamente respecto a los aumentos del consumo de oxígeno y comienza de forma paralela a la brusca elevación de los niveles de lactato en la sangre. En este punto, el equivalente respiratorio tal vez se eleve hasta 35 a 40 L de aire por litro de oxígeno consumido con esta actividad de alta intensidad (32, 91).

Con la inspiración, el aire entra en los **alvéolos**, la unidad funcional del sistema pulmonar donde ocurre el intercambio gaseoso. Sin embargo, con la inspiración, el aire también ocupa áreas de las vías respiratorias: la nariz, la boca, la tráquea, los bronquios y los bronquiolos. Esta área no es funcional para el intercambio gaseoso y se llama **espacio muerto anatómico**. El volumen normal de este espacio es aproximadamente de 150 ml en los adultos jóvenes y aumenta con la edad. Como las vías respiratorias se dilatan con la respiración profunda, el espacio muerto anatómico aumenta a medida que también lo hace el volumen corriente (figura 6.1). No obstante, el aumento del volumen corriente con una respiración profunda es proporcionalmente mayor que cualquier aumento del espacio muerto anatómico. Por tanto, el incremento del volumen corriente (respiración más honda) consigue una ventilación más eficaz que el aumento de la frecuencia respiratoria por sí solo (46, 91).

El **espacio muerto fisiológico** hace referencia a los alvéolos porque un deficiente riego sanguíneo, una ventilación escasa u otros problemas con la superficie alveolar alteran el intercambio gaseoso. El espacio muerto fisiológico de los pulmones de personas sanas suele ser insignificante porque todos o casi todos los alvéolos son funcionales. Ciertos tipos de neumopatías reducen significativamente la función alveolar y aumentan el espacio muerto fisiológico hasta diez veces el volumen del espacio muerto anatómico (46,

91).

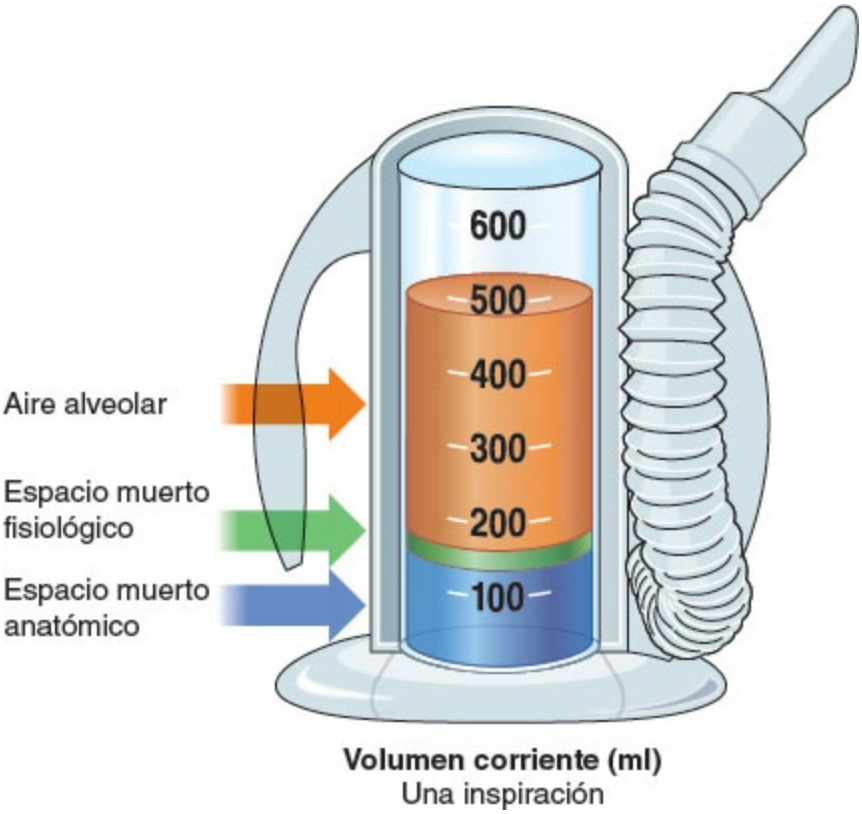


FIGURA 6.1 Distribución del volumen corriente de un atleta sano en reposo. El volumen corriente comprende en torno a 350 ml de aire ambiental que se mezcla con aire alveolar, alrededor de 150 ml de aire en las vías más grandes (espacio muerto anatómico) y una pequeña porción de aire distribuido por los alvéolos mal ventilados o parcialmente llenos de aire (espacio muerto fisiológico).

Durante el ejercicio aeróbico, grandes cantidades de oxígeno se difunden de los capilares a los tejidos; los niveles elevados de dióxido de carbono pasan de la sangre a los alvéolos, y la ventilación minuto aumenta para mantener apropiadas concentraciones alveolares de estos gases.

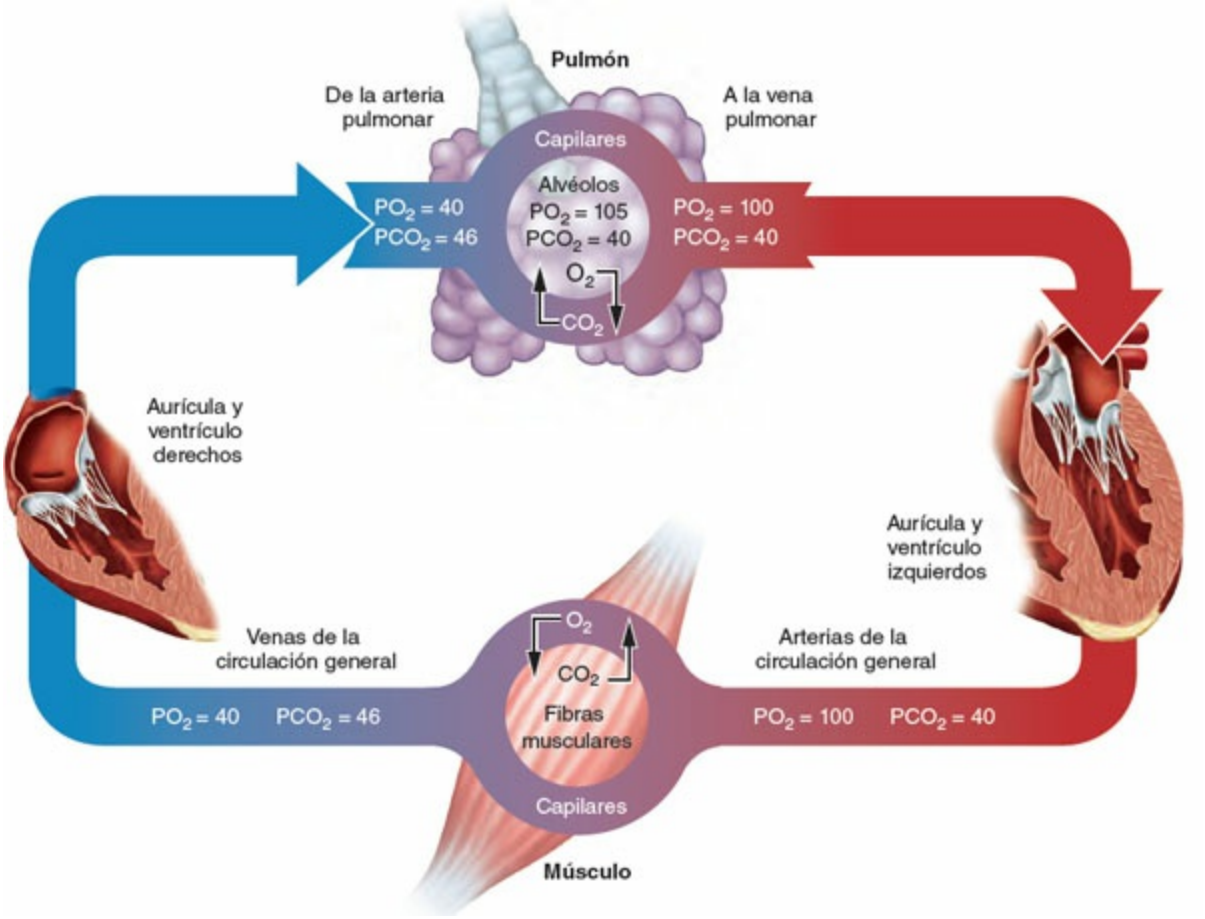


FIGURA 6.2 Gradientes de presión para la transferencia de gases en el cuerpo en reposo. Se muestran las presiones de oxígeno (PO_2) y dióxido de carbono (PCO_2) en el aire alveolar, la sangre venosa y arterial, y el tejido muscular.

Respuestas de los gases

La **difusión** es el movimiento del oxígeno y el dióxido de carbono a través de la membrana celular, y es una función de la concentración de cada gas y de la presión parcial resultante ejercida por el movimiento molecular de cada gas. La difusión se produce por el movimiento de gas de una concentración elevada a otra baja. A nivel tisular, cuando el oxígeno se emplea en el metabolismo y se produce dióxido de carbono, las presiones parciales de estos gases difieren considerablemente en algunos casos de los de la sangre arterial (figura 6.2). En reposo, la presión parcial de oxígeno en el líquido intersticial (líquido situado justo fuera de una célula muscular) baja rápidamente de 100 mm Hg en la sangre arterial a un valor tan bajo como 40 mm Hg, mientras que la presión parcial de dióxido de carbono se eleva por encima del valor de la sangre arterial hasta 46 mm Hg. Durante un ejercicio

aeróbico de alta intensidad, las presiones parciales de estos gases son aproximadamente 3 mm Hg para el oxígeno y 90 mm Hg para el dióxido de carbono. Por consiguiente, estos gradientes de presión causan el desplazamiento de gases por las membranas celulares. Además, las capacidades de difusión del oxígeno y, en concreto, del dióxido de carbono aumentan bruscamente con el ejercicio, lo cual facilita su intercambio (32, 46, 91).

Transporte de gases en la sangre y desechos metabólicos

El oxígeno se transporta en la sangre disuelto en el plasma o combinado con hemoglobina. Como el oxígeno no es inmediatamente soluble en líquidos, solo en torno a 3 ml de oxígeno se pueden transportar por litro de plasma. No obstante, esta cantidad limitada de oxígeno transportado en el plasma contribuye a la presión parcial de oxígeno en la sangre y otros fluidos corporales, con lo cual desempeña un papel en los mecanismos que regulan la respiración y en la difusión de oxígeno por la sangre alveolar y las células de los tejidos corporales (46, 91).

Dada la limitada capacidad del plasma para transportar oxígeno, la mayor parte del oxígeno en la sangre es transportado por la hemoglobina. Los hombres tienen en torno a 15 a 16 g de hemoglobina por 100 ml de sangre, y las mujeres poseen alrededor de 14 g de hemoglobina por 100 ml de sangre. Un gramo de hemoglobina puede transportar 1,34 ml de oxígeno; por tanto, la capacidad transportadora de oxígeno de 100 ml de sangre ronda los 20 ml de oxígeno en los hombres y un poco menos en las mujeres (91).

El dióxido de carbono se elimina del sistema de forma similar a como se transporta el oxígeno, si bien la mayoría del dióxido de carbono se elimina mediante un proceso más complejo. Después de que el dióxido de carbono se forma en la célula, se difunde fácilmente por las membranas celulares y, posteriormente se transporta a los pulmones. Al igual que con el oxígeno, sólo una limitada cantidad de dióxido de carbono — en torno al 5% del producido durante el metabolismo— se transporta en el plasma; de forma parecida a como ocurre con el oxígeno, esta cantidad limitada de dióxido de carbono contribuye a establecer la presión parcial del dióxido de carbono en la sangre. Parte del dióxido de carbono también se transporta en la hemoglobina, pero esta cantidad es limitada (91).

La eliminación de la mayor cantidad de dióxido de carbono (aproximadamente el 70%) responde a una combinación con agua que circula hasta los pulmones en forma de bicarbonato (HCO_3^-). El paso inicial en esta reacción reversible es la combinación de dióxido de carbono con agua en los glóbulos rojos para formar ácido carbónico. La reacción normalmente sería muy lenta, salvo por el impacto de la enzima anhidrasa carbónica, que acelera este proceso en grado significativo. Una vez se forma ácido carbónico, se descompone en iones de hidrógeno e iones de bicarbonato. Como la hemoglobina es un importante amortiguador ácido-básico, los iones de hidrógeno se combinan con hemoglobina. Este proceso ayuda a mantener el pH de la sangre. Los iones de bicarbonato se difunden de los eritrocitos al plasma, mientras que iones de cloruro se difunden en los hematocitos para remplazarlos (46, 91).

El ácido láctico es otro desecho metabólico importante del ejercicio. Durante un ejercicio de intensidad baja a moderada, se dispone de suficiente oxígeno en los músculos activos y el ácido láctico no se acumula, ya que la tasa de eliminación es mayor o equivalente a la tasa de producción. Esta eliminación del lactato incluye el ciclo de Cori, en el que el lactato derivado de los músculos se transporta por la sangre hasta el hígado, donde experimenta gluconeogénesis. Si, a intensidades mayores de trabajo, el metabolismo aeróbico no es suficiente para mantener el mismo ritmo que la formación de ácido láctico, entonces el nivel de ácido láctico en la sangre empieza a subir. El nivel de ejercicio aeróbico al que el ácido láctico (convertido en lactato en sangre en este punto) comienza a mostrar un incremento se denomina comienzo de la acumulación de lactato en la sangre u OBLA (véase el capítulo 3).

Adaptaciones crónicas al ejercicio aeróbico

Es importante conocer los efectos del entrenamiento de la resistencia aeróbica sobre los sistemas del cuerpo para evaluar el rendimiento físico o atlético y para determinar el impacto de los programas de entrenamiento. Esta sección aborda el efecto del entrenamiento de la resistencia aeróbica sobre los sistemas cardiovascular, respiratorio, nervioso, muscular, endocrino, óseo y del tejido conjuntivo (tabla 6.1).

Adaptaciones cardiovasculares

El entrenamiento de la resistencia aeróbica produce varios cambios en la función cardiovascular, como el aumento del gasto cardíaco máximo, el incremento del volumen sistólico y la reducción de la frecuencia cardíaca en reposo y durante un ejercicio submáximo. Además, la densidad capilar de las fibras musculares aumenta como resultado del entrenamiento de la resistencia aeróbica, manteniendo el aporte de oxígeno y la eliminación de dióxido de carbono.

Para un rendimiento óptimo del ejercicio aeróbico, el incremento del consumo máximo de oxígeno tiene una importancia capital, y uno de los mecanismos primarios para aumentarlo es mejorar la función cardiovascular central (gasto cardíaco). La frecuencia de descarga normal del nódulo sinusal (NS) oscila entre 60 y 80 veces por minuto. El entrenamiento de la resistencia aeróbica se traduce en una frecuencia de descarga significativamente menor debido a un incremento en el tono parasimpático. El aumento del volumen sistólico también influye en la frecuencia cardíaca en reposo: se bombea más sangre por contracción, por lo que el corazón necesita contraerse con menos frecuencia para tener el mismo gasto cardíaco. El entrenamiento de la resistencia aeróbica aumenta la capacidad en reposo del corazón para bombear sangre por contracción y, por tanto, tal vez responda de parte de la significativa **bradicardia** (frecuencia cardíaca más lenta) observada en atletas muy entrenados en resistencia aeróbica, cuya frecuencia cardíaca en reposo suele oscilar entre 40 y 60 latidos/min (46, 91).

TABLA 6.1 Adaptaciones fisiológicas al entrenamiento de la resistencia aeróbica

Variable	Adaptaciones al entrenamiento de la resistencia aeróbica
Rendimiento	
Fuerza muscular	Sin cambio
Resistencia muscular	Aumenta con una menor producción de potencia
Potencia aeróbica	Aumenta
Frecuencia máxima de producción de fuerza	No cambia o disminuye
Salto vertical	Sin cambios en la capacidad
Potencia anaeróbica	Sin cambio
Velocidad de esprín	Sin cambio
Fibras musculares	

Tamaño de las fibras	Sin cambio o aumenta ligeramente
Densidad capilar	Aumenta
Densidad mitocondrial	Aumenta
Miofibrillas:	
Densidad	No cambia
Volumen	No cambia
Densidad citoplasmática	No cambia
Proteína miosina de cadena pesada	No cambia o disminuye
Actividad enzimática	
Creatinfosfocinasa	Aumenta
Miocinasa	Aumenta
Fosfofructocinasa	Variable
Lactato deshidrogenasa	Variable
Na^+/K^+-ATPasa	Tal vez aumente ligeramente
Reservas metabólicas de energia	
ATP almacenado	Aumenta
Fosfocreatina almacenada	Aumenta
Glucógeno almacenado	Aumenta
Triglicéridos almacenados	Aumentan
Tejido conjuntivo	
Fuerza ligamentaria	Aumenta
Fuerza tendinosa	Aumenta
Contenido en colágeno	Variable
Densidad ósea	No cambia o aumenta
Composición corporal	
% de grasa corporal	Disminuye
Masa muscular magra	No cambia

ATP = trifosfato de adenosina; ATPasa = adenosintrifosfatasa.

El cambio más significativo en la función cardiovascular con el entrenamiento de la resistencia aeróbica a largo plazo (6-12 meses) es el

incremento del gasto cardíaco máximo, sobre todo producto de la mejora del volumen sistólico. Una frecuencia cardíaca significativamente menor como respuesta a un nivel submáximo estandarizado de trabajo es otro signo característico del entrenamiento de la resistencia aeróbica. Además, la frecuencia cardíaca se eleva más lentamente en atletas entrenados que en personas sedentarias con una carga de trabajo dada (33, 91). Como en realidad la frecuencia cardíaca máxima tal vez disminuya ligeramente con un entrenamiento prolongado (83), quizá como resultado de un aumento del tono parasimpático (11), el tamaño del ventrículo izquierdo (tanto el volumen de la cavidad como el grosor de las paredes) y la fuerza de las contracciones (aumento de la contractilidad) son clave para aumentar el volumen sistólico con ejercicio submáximo y máximo.

Además de transportar oxígeno, nutrientes y hormonas, la circulación capilar proporciona los medios para eliminar el calor y los desechos metabólicos. Se ha observado el aumento de la densidad capilar de las fibras musculares como respuesta al aumento de la densidad de músculo asociada con el entrenamiento de la resistencia aeróbica, que es una función del volumen y la intensidad del entrenamiento. Este incremento de la densidad capilar disminuye la distancia para la difusión de oxígeno y sustratos metabólicos (76).

Adaptaciones respiratorias

Por lo general, la ventilación no limita el ejercicio aeróbico y no resulta afectada o solo moderadamente por el entrenamiento (7, 24). Además, las adaptaciones ventilatorias observadas parecen ser muy específicas de ciertas actividades y del tipo de ejercicio usado en el entrenamiento; es decir, las adaptaciones aparecidas durante el ejercicio de las extremidades inferiores se producen principalmente como resultado de ese entrenamiento. Si este se centra en el ejercicio de las extremidades inferiores, no es probable que se observe ninguna adaptación ventilatoria durante su práctica. Las adaptaciones al entrenamiento comprenden un aumento del volumen corriente y de la frecuencia respiratoria con ejercicio máximo. Con actividades submáximas, la frecuencia respiratoria también se suele reducir y aumenta el volumen corriente. Las adaptaciones ventilatorias son producto de adaptaciones locales, neuronales y químicas en los músculos específicos entrenados durante el ejercicio (7, 24).

Adaptaciones neuronales

Las adaptaciones del sistema nervioso desempeñan un papel significativo en los estadios iniciales del entrenamiento de la resistencia aeróbica (108). Al principio, la eficacia aumenta y se difiere el cansancio de los mecanismos contráctiles. Adicionalmente, la mejoría del rendimiento aeróbico tal vez cause una rotación de la actividad neuronal entre los músculos sinérgicos (en vez de mantener un estado constante de activación, los músculos sinérgicos están activos e inactivos en alternancia para mantener un nivel bajo de producción de fuerza muscular [122]) y entre las unidades motoras del músculo. Por tanto, el atleta genera una locomoción más eficaz durante la actividad con un gasto menor de energía.

Adaptaciones musculares

Una de las respuestas fundamentales de adaptación al entrenamiento de la resistencia aeróbica es un incremento de la capacidad aeróbica de la musculatura entrenada. Esta adaptación permite al atleta rendir con mayor facilidad a una intensidad de ejercicio absoluta. Lo más extraordinario es que, después del entrenamiento, un atleta se puede ejercitar con una mayor intensidad relativa de una potencia aeróbica máxima ahora mayor. Por tanto, la medición del consumo máximo de oxígeno de un atleta solo antes y después del entrenamiento de la resistencia aeróbica tal vez no refleje con precisión su capacidad de rendimiento durante la competición. Por ejemplo, un atleta que corra el maratón a un ritmo correspondiente al 75% del consumo máximo de oxígeno tal vez pueda, con entrenamiento, mantener un ritmo equivalente al 80% de la potencia aeróbica máxima. Esta adaptación ocurre como resultado del ahorro de glucógeno (se usa menos glucógeno durante el ejercicio) y del aumento de la utilización de grasas en el músculo, lo cual prolonga el rendimiento con la misma intensidad (59). Por consiguiente, el OBLA ocurre con un mayor porcentaje (hasta el 80-90%) de la capacidad aeróbica del atleta entrenado. Esta respuesta ventajosa tal vez se deba al tipo de fibras musculares del atleta de resistencia aeróbica, a adaptaciones locales producto del entrenamiento de la resistencia aeróbica que reducen la producción de ácido láctico, a cambios en la liberación de hormonas (sobre todo la liberación de catecolaminas durante un ejercicio de alta intensidad) y a un ritmo más rápido de eliminación del ácido láctico (91).

El componente muscular del programa de entrenamiento de la resistencia

aeróbica implica contracciones musculares máximas a lo largo de un número alto de repeticiones con poco tiempo de recuperación. Por tanto, la intensidad relativa es muy baja y el volumen general es muy alto. Esta forma de entrenamiento favorece incrementos relativos del potencial aeróbico que son parecidos en las fibras tipo I y tipo II (134). Comparadas con las fibras tipo II, las fibras tipo I tienen una mayor capacidad aeróbica inicial, a lo cual se suma el aumento del potencial aeróbico del entrenamiento (43). Por tanto, las fibras tipo I poseen una capacidad oxidativa mayor que las de las fibras tipo II, tanto antes como después del entrenamiento. Sin embargo, si la intensidad es suficiente, como en la práctica repetida de intervalos de 800 metros, las fibras de contracción rápida (sobre todo las fibras tipo IIx) también hacen una aportación significativa al esfuerzo. En tales condiciones, su capacidad aeróbica aumenta con el entrenamiento, aunque el entrenamiento crónico de la resistencia aeróbica reduce la concentración de enzimas glucolíticas y puede reducir la masa muscular general de estas fibras (82).

Por el contrario, la hipertrofia selectiva de las fibras musculares tipo I ocurre (19) por su mayor reclutamiento durante actividades aeróbicas, si bien el diámetro transversal resultante no es tan grande como el apreciado en fibras tipo II adaptadas al ejercicio resistido. Además, el cambio es menor que la hipertrofia de las fibras tipo I con un programa de entrenamiento resistido similar al del fisioculturismo.

Hay pocas pruebas que demuestren que las fibras tipo II cambian a fibras tipo I como resultado del entrenamiento de la resistencia aeróbica, pero es probable que haya una conversión gradual en los dos principales subgrupos de las fibras tipo II: de fibras tipo IIx a fibras tipo IIa (2, 134). Esta adaptación es significativa porque las fibras tipo IIa poseen más capacidad de oxidación que las fibras tipo IIx y tienen características funcionales más parecidas a las de las fibras tipo I. El resultado de esta conversión es un mayor número de fibras musculares que contribuyen al rendimiento en actividades aeróbicas.

A nivel celular, las adaptaciones musculares al ejercicio aeróbico comprenden un aumento del tamaño y número de mitocondrias (56) y un incremento de contenido de mioglobina (21, 52). La **mioglobina** es una proteína que transporta oxígeno a las células. Las **mitocondrias** son los organelos de las células responsables de la producción aeróbica de trifosfato de adenosina (ATP) mediante la oxidación de glucógeno y ácidos grasos libres. Cuando se combina un aumento del número y del tamaño de las

mitocondrias con un incremento de la cantidad de oxígeno accesible a ellas por una mayor concentración de mioglobina, mejora la capacidad del tejido muscular para extraer y usar oxígeno. Esta adaptación es mayor aún cuando se producen incrementos del nivel y actividad de las enzimas implicadas en el metabolismo aeróbico de la glucosa (61) y un aumento paralelo de las reservas de glucógeno (41, 43) y triglicéridos (94).

Adaptaciones óseas y del tejido conjuntivo

La selección de distintas formas de ejercicio aeróbico ha logrado cierto éxito en conseguir mejoras en la masa ósea. Los programas aeróbicos de más éxito en la estimulación del crecimiento óseo implican las actividades físicas de más éxito, como correr y ejercicio aeróbico de alta intensidad (10, 15). La clave del éxito del ejercicio aeróbico para estimular la formación de hueso nuevo es que la actividad sea significativamente más intensa que las actividades diarias que emprende normalmente la persona, para así superar la intensidad mínima del umbral, así como con un esfuerzo cíclico que supere el mínimo y la frecuencia para la formación de hueso (10). La intensidad de la actividad debe aumentar sistemáticamente para seguir sometiendo el hueso a sobrecarga. Al final, tal vez sea difícil sobrecargar el hueso mediante ejercicio aeróbico cuando es más el sistema de transporte de oxígeno que las limitaciones del sistema musculoesquelético el que impide la progresión a una nueva intensidad de ejercicio. El hueso responde a la magnitud y tasa de la carga externa. Por tanto, para mejorar el estímulo del sistema musculoesquelético, también es necesario aumentar la frecuencia de movimiento de las extremidades. El empleo de técnicas de entrenamiento por intervalos de alta intensidad es un método para aportar un mayor estímulo osteogénico al tiempo que prosiguen los beneficios asociados con el ejercicio aeróbico (12, 34).

En adultos, el grado en que crecen y se fortalecen los tendones, ligamentos y cartílago es proporcional a la intensidad del estímulo del ejercicio, sobre todo cuando se trata de actividades en carga (98). Al igual que con el hueso y el músculo, se necesita que la intensidad del ejercicio, que constantemente supera el esfuerzo al que se someten los tejidos conjuntivos durante las actividades diarias normales, genere cambios en el tejido conjuntivo (véase el capítulo 5 para más información).

Un ejemplo de los efectos positivos de las actividades en carga sobre el

cartílago se manifiestan en la articulación de la rodilla, donde las superficies articulares que experimentan la carga en máximo grado son más gruesas que el resto de las superficies en descarga (98). Durante la actividad en carga, el movimiento completo en todo el arco de movilidad probablemente sea esencial para mantener la viabilidad del tejido (119).

Estudios con animales para evaluar los efectos negativos potenciales del ejercicio aeróbico sobre el cartílago han registrado resultados alentadores. Aunque existan estudios que han registrado que una carrera fatigante (20 km por sesión) reduce el grosor del cartílago (66), otros estudios con perros han demostrado que un programa de carreras moderadas (1 hora al día, 5 días semanales durante 15 semanas) aumentaba el grosor del cartílago y estimulaba una remodelación positiva del tejido óseo (67). Correr 40 km por sesión durante un año, o correr con lastre (usando chalecos con un peso equivalente al 130% del peso de los animales) 4 km 5 días semanales durante 550 semanas no conllevó ninguna artropatía degenerativa (15).

Adaptaciones endocrinas

Si bien se acepta la importancia de las respuestas endocrinas al entrenamiento resistido (75), los cambios en la producción de hormonas que contribuyen a la adaptación del cuerpo al ejercicio aeróbico son igualmente importantes (38, 39, 69, 91, 94). La testosterona, la insulina, los factores de crecimiento insulinoides (IGF-I) y la hormona del crecimiento influyen en la integridad del tejido muscular, óseo y conjuntivo, además de ayudar a mantener el metabolismo en unos valores normales (35, 36, 71, 72, 127). Incrementos en la circulación de hormonas y los cambios a nivel de los receptores (tanto el número de receptores como el índice de recambio) son respuestas específicas al ejercicio aeróbico.

El entrenamiento aeróbico de alta intensidad aumenta las tasas absolutas de secreción de muchas hormonas como respuesta al ejercicio máximo, aunque los atletas entrenados han atenuado las respuestas hormonales al ejercicio submáximo (87). Las concentraciones de hormonas de un atleta entrenado equivalen a las de sus pares no entrenados con la misma intensidad relativa submáxima de ejercicio (115). Los patrones de mayor respuesta hormonal al ejercicio máximo parecen aumentar la capacidad del atleta para tolerar y mantener intensidades de ejercicio aeróbico prolongado (138). Cuando la intensidad del ejercicio es muy alta y la duración del ejercicio es muy corta

(de 5 a 10 segundos), solo se producen cambios en la circulación periférica motivados por el «reflejo de lucha o huida» en las concentraciones sanguíneas de hormonas (p. ej., aumentan las concentraciones de adrenalina y noradrenalina) (74).

El entrenamiento aeróbico, sobre todo correr, se suele asociar con un aumento de la degradación neta de proteínas a partir de músculo (124), producida en parte por la secreción de cortisol inducida por el estrés (115, 116), que el cuerpo intenta contrarrestar aumentando las respuestas de las hormonas anabólicas a la testosterona e IGF-1 (128). Sin embargo, evidencias recientes sugieren que se produce la síntesis neta de proteínas en el músculo esquelético de los atletas de fondo y que puede derivar en hipertrofia muscular (68), debido más a las mitocondrias que a las proteínas contráctiles (131, 133).

Adaptaciones al entrenamiento de la resistencia aeróbica

Son muchos los estudios realizados sobre las adaptaciones al entrenamiento asociadas con el ejercicio de resistencia aeróbica (5, 13, 17, 26, 37, 53, 54, 131). El metabolismo aeróbico desempeña un papel vital en el rendimiento humano y es básico en todos los deportes, aunque no sea más que por la recuperación activa (125). Metabólicamente, el ciclo de Krebs y la cadena de transporte de electrones son las vías principales de producción de energía aeróbica. El metabolismo aeróbico produce mucha más energía a partir de ATP que a partir del metabolismo anaeróbico, y emplea grasas, hidratos de carbono y proteínas como fuentes energéticas para generar ATP. Muchos deportes comprenden interacciones entre los sistemas metabólicos aeróbico y anaeróbico y, en consecuencia, requieren un entrenamiento apropiado. Por ejemplo, fútbol, *lacrosse*, baloncesto, hockey sobre hierba y hockey sobre hielo consisten en movimientos continuos (y, por tanto, la demanda aeróbica constante) intercalados con esprines y otras actividades de potencia. El correcto acondicionamiento del sistema aeróbico es vital para la capacidad del jugador para mantener tal actividad y recuperarse adecuadamente en las sesiones de ejercicio, y entre una sesión y la siguiente.

Todos los atletas necesitan un nivel básico de resistencia cardiovascular —si no es con fines deportivos, al menos por razones de salud— que se consigue con gran variedad de modalidades y programas de entrenamiento.

Aparte de los métodos estereotipados de entrenamiento aeróbico submáximo, otro método que consigue mejoras significativas de la condición aeróbica (p. ej., aumento del $\dot{V}O_2$ máx, umbral de lactato) es el entrenamiento por intervalos (14, 37, 80).

Una de las adaptaciones al entrenamiento de la resistencia aeróbica que más se suele medir es el incremento del consumo máximo de oxígeno asociado con el aumento del gasto cardíaco máximo (13, 23, 53, 131). A medida que se incrementa la intensidad del ejercicio, el consumo de oxígeno se eleva hasta niveles máximos. Cuando el consumo de oxígeno ya no puede aumentar para cubrir las demandas, se alcanza el consumo máximo incluso en presencia de una disponibilidad continua de oxígeno. El entrenamiento de la resistencia aeróbica mejora un 5-30% la potencia aeróbica del atleta, dependiendo, en parte, del nivel inicial de forma física, así como del potencial genético de esa persona (5). La mayoría de las adaptaciones del consumo máximo de oxígeno se consiguen en un período de entrenamiento de 6 a 12 meses, pasado el cual los siguientes cambios en la resistencia aeróbica consisten en incrementos de la eficacia en carrera y en una elevación del umbral de lactato (62). Los cambios metabólicos comprenden un aumento de la capacidad respiratoria, menores concentraciones de lactato en la sangre a una intensidad dada de ejercicio submáximo, aumento de la densidad mitocondrial y capilar, y mejora de la actividad enzimática. Tal vez los corredores expertos no experimenten nuevos incrementos en su $\dot{V}O_2$ máx durante el entrenamiento crónico de fondo, pero quizá su rendimiento sí mejore debido a una mayor economía en carrera (13, 54).

La intensidad del entrenamiento es uno de los factores más importantes para mejorar y mantener la potencia aeróbica. Tandas cortas y de gran intensidad de esprines interválicos pueden mejorar el consumo máximo de oxígeno si el período intermedio de descanso es también corto. Callister (17) demostró que largos períodos de reposo junto con esprines mejoraban la velocidad punta sin incrementos significativos de la potencia aeróbica máxima. Por tanto, sesiones de entrenamiento más largas con mayor descanso entre tandas de ejercicio consiguen menos mejoras de la capacidad aeróbica. Varios estudios han demostrado que el uso de períodos de recuperación más cortos entre intervalos de entrenamiento de alta intensidad mejora los diversos procesos metabólicos del músculo esquelético, con lo cual aumenta el rendimiento de fondo (40).

El entrenamiento de la resistencia aeróbica se suele asociar con

alteraciones de la composición corporal, siempre asumiendo que la ingesta nutricional sea apropiada. El entrenamiento de la resistencia aeróbica suele decrecer el porcentaje relativo de grasa corporal, pero tiene poco o ningún efecto significativo sobre la masa muscular magra. Los programas a largo plazo pueden conseguir mayores reducciones del porcentaje de grasa corporal (13, 26, 61) Un entrenamiento excesivo puede derivar en un predominio de la actividad catabólica en el cuerpo y causar un desequilibrio entre los procesos anabólico y catabólico (114).

El entrenamiento de la resistencia aeróbica permite reducir la grasa corporal, eleva el consumo máximo de oxígeno, aumenta la economía al correr, incrementa la capacidad respiratoria, baja las concentraciones de lactato en la sangre durante el ejercicio submáximo, aumenta las densidades mitocondrial y capilar, y mejora la actividad enzimática.

La tabla 6.2 presenta una lista de los cambios fisiológicos que ocurren con el entrenamiento de la resistencia aeróbica a corto plazo (de tres a seis meses) y compara los resultados de personas previamente no entrenadas y de atletas de elite de resistencia aeróbica.

Factores individuales y externos que influyen en las adaptaciones al entrenamiento de la resistencia aeróbica

Diversos factores externos e individuales influyen en las respuestas agudas y en las adaptaciones crónicas de los sistemas cardiovascular y respiratorio al ejercicio. Los efectos de la altura geográfica, la respiración hiperóxica, el tabaquismo y el dopaje sanguíneo (factores externos), así como el potencial genético, la edad y el sexo (factores individuales) se describen brevemente en esta sección.

TABLA 6.2 Variables fisiológicas en el entrenamiento de la resistencia aeróbica

	Sujetos previamente no entrenados		Deportistas muy entrenados o atletas de elite
	Antes	Después	
Frecuencia cardíaca (latidos/min)			
En reposo (104, 109)	76,4	57,0	45
Máxima (104, 109)	192,8	190,8	196
Volumen sistólico (ml)			
En reposo (109, 137)	79	76	94
Máximo (109, 137)	104	120	187
Gasto cardíaco (L/min)			
En reposo (109, 137)	5,7	4,4	4,2
Máximo (109, 137)	20,0	22,8	33,8
Volumen cardíaco (ml) (104, 109)	860	895	938
Tensión arterial (mm Hg) (104, 109)			
En reposo (104, 109)	131/75	144/78	112/75
Máxima (104, 109)	204/81	201/74	188/77
Ventilación pulmonar (temperatura corporal [37 °C] y presión [ambiente], saturada [47 mm Hg]) (L/min)			
En reposo (104, 109)	10,9	12,0	11,8
Máxima (104, 109)	128,7	156,4	163,4
Diferencia arteriovenosa de oxígeno (ml/100 ml)			
En reposo	5,8	7,5	—
Máxima (109, 137)	16,2	17,1	15,9
Consumo máximo de oxígeno (ml/kg/min) (104, 109)	36,0	48,0	74,1
% de fibras tipo I (1)	48	51	72
Área de fibra (μm^2)			
Tipo I (27)	4.947*	6.284*	6.485
Tipo II (27)	5.460*	6.378*	8.342
Densidad capilar			
Número/mm^2 (1, 51)	289	356	640
Número/fibra (1)	1,39	1,95	2,15
Enzimas del músculo esquelético			
Citrato sintasa (µmol/g/min) peso del tejido fresco) (132)	35,9	45,1	—
Lactato deshidrogenasa (µmol/g/min) (27)	843*	788*	746
Succinato deshidrogenasa (µmol/g/min) (27)	6,4*	17,7*	21,6
Fosfofructocinasa (µmol/g/min) (42, 43)	27,13	58,82	20,1
Máxima velocidad de acortamiento de las fibras (longitud de las fibras)			
Tipo I (48, 126)	0,99	1,27	1,65
Tipo II (48, 126)	3,18	3,38	3,72

*Datos no procedentes de un estudio de entrenamiento; los sujetos no estaban entrenados o eran «buenos fondistas».

Fuente: Datos compilados por Carwyn Sharp. A menos que se diga lo contrario, los datos son de Saltin, B; Blomqvist, G, *et al*. (1968). Response to exercise after bed rest and after training. *Circulation*, 38 (Supl. 7):1-78.

Altitud

A alturas superiores a 1.200 m comienza a haber ajustes fisiológicos para compensar la reducida presión parcial de oxígeno de la atmósfera (49). La tabla 6.3 presenta los ajustes inmediatos y a mayor largo plazo a la hipoxia por altura. Dos ajustes que ocurren pronto durante el proceso de aclimatación son especialmente importantes. El primero es un aumento de la ventilación pulmonar (**hiperventilación**) en reposo y durante el ejercicio. Este aumento de la ventilación es sobre todo resultado del incremento de la frecuencia ventilatoria. Con estancias más largas a una altura elevada, el aumento del volumen corriente también contribuye al aumento de la ventilación. La estabilización de la ventilación depende del nivel de altitud y de la duración de esa exposición (64). El segundo es que, en los estadios iniciales de la exposición a la altura, hay un incremento del gasto cardíaco en reposo y durante el ejercicio submáximo, sobre todo debido a la elevación de la frecuencia cardíaca (49, 91). La frecuencia cardíaca submáxima y el gasto cardíaco aumentan un 30-50% a alturas por encima del nivel del mar, y el volumen sistólico es constante o se reduce ligeramente. El aumento del gasto cardíaco submáximo refleja la necesidad de un mayor riego sanguíneo en un momento en que el contenido de oxígeno de la sangre arterial se reduce para mantener una aportación adecuada de oxígeno a los tejidos.

¿Cuáles son las mejoras en el rendimiento con el ejercicio aeróbico?

Los sistemas musculoesquelético, cardiovascular y respiratorio son los sistemas corporales en los que influye el ejercicio aeróbico. Entre las adaptaciones se encuentran las siguientes:

- **Sistema respiratorio.** Disminución de la frecuencia respiratoria submáxima (31).
- **Sistema cardiovascular.** Disminución de la frecuencia cardíaca con cargas de trabajo submáximas fijas (106), asociadas con un incremento del volumen sistólico y del gasto cardíaco. La volemia también se eleva para respaldar el aumento del volumen sistólico y el gasto cardíaco (45).
- **Sistema musculoesquelético.** Aumento de la diferencia arteriovenosa de O_2 asociada con un incremento de la capilarización del músculo (110, 123), aumento de las concentraciones de enzimas oxidativas y aumento del tamaño y densidad de las mitocondrias (58).
- **Potencia aeróbica** (consumo máximo de oxígeno). Discutiblemente, el cambio más significativo de las variables fisiológicas con el entrenamiento aeróbico es un aumento del consumo máximo de oxígeno ($\dot{V}O_2$ máx), a menudo utilizado como variable de criterio de la capacidad cardiovascular. El $\dot{V}O_2$ máx se determina en parte por la genética y en parte por el programa de entrenamiento emprendido por el atleta. Los

atletas de elite tal vez muestren cambios menores en el $\dot{V}O_2$ máx con el entrenamiento (5-10%), mientras que en las personas no entrenadas tal vez su $\dot{V}O_2$ máx aumente hasta un 20% (55, 62). Un $\dot{V}O_2$ máx alto, junto con un incremento del umbral de lactato, permite mejorar el rendimiento en deportes de carrera así como en deportes en que se corran esprines intermitentes (fútbol, baloncesto y otros deportes de equipo).

- **Umbral de lactato.** El entrenamiento aeróbico eleva el umbral absoluto de lactato, permitiendo a las personas muy entrenadas trabajar con un porcentaje más elevado relativo y absoluto de su $\dot{V}O_2$ máx que personas menos entrenadas. Esta mayor tolerancia del lactato se traduce en diversos resultados en el rendimiento, como correr con un porcentaje más alto del $\dot{V}O_2$ máx en una carrera (con lo que mejora la marca), recorrer más distancia durante un partido, mejora de la recuperación para rendir más en la segunda parte y trabajar con intensidades más altas durante todo un evento deportivo. La importancia de tener un umbral de lactato alto se aprecia en el siguiente ejemplo. Dos personas pueden tener el mismo $\dot{V}O_2$ máx, tal vez 50 ml/kg/min; sin embargo, si uno tiene un umbral de lactato equivalente al 80% del $\dot{V}O_2$ máx (es decir, el umbral se alcanza con 40 ml/kg/min), mientras que el otro lo alcanza con el 70% (es decir, 35 ml/ kg/min), el primer individuo podrá mantener un producción de potencia equivalente a 5 ml/kg/min más que el segundo individuo. Si todo lo demás es igual, como la economía de movimiento, la velocidad de movimiento será mayor y, por tanto, el rendimiento será superior.
- **Utilización eficaz de los sustratos.** Los hidratos de carbono son la fuente preferida de combustible para el ejercicio en muchos deportes de equipo. El entrenamiento aeróbico consigue una utilización más amplia de grasas como sustrato para el ejercicio, lo cual permite un ahorro relativo de hidratos de carbono. Con el ahorro de hidratos de carbono, un fondista puede mantener un ejercicio de mayor intensidad durante períodos de tiempo más largos. El ejercicio aeróbico mejora más si cabe mediante diversos métodos de carga de hidratos de carbono con el fin de aumentar las reservas endógenas de glucógeno (16).
- **Adaptaciones de las fibras musculares.** Cuando se examina la sección transversal de las fibras musculares, los fondistas de elite presentan una mayor proporción (porcentaje) de fibras tipo I, y las fibras tipo I disponibles son funcionalmente muy eficaces para el metabolismo aeróbico (aumento de la densidad mitocondrial y de la capacidad de las enzimas oxidativas [57] y de la red de capilares para la distribución de oxígeno). El entrenamiento aeróbico, sobre todo el ejercicio intermitente de larga distancia y de alta intensidad, consigue un incremento de la capacidad oxidativa de las fibras musculares tipo I. Los estudios revelan que las fibras de músculo esquelético pueden alterar su cadena pesada de miosina y sus características internas, lo cual deriva en alteraciones en la clasificación de las fibras y en la observación de que las fibras tipo IIx aumentan en los deportistas de fondo (8, 102). Desde el punto de vista del rendimiento, estos cambios metabólicos y fibrilares se traducen en un empleo más eficaz de la producción de energía aeróbica.
- **Eficiencia en el ejercicio.** La economía del ejercicio es sobre todo una función de la biomecánica y la técnica. Dos atletas de resistencia aeróbica tal vez tengan el mismo consumo máximo de oxígeno y el mismo umbral de lactato, y, sin embargo, no despliegan los mismos resultados en su rendimiento. El atleta más eficiente (es decir, el que precisa menos energía para mantener la misma producción de potencia) será capaz de mantener la misma producción de potencia durante más tiempo, a pesar de

que los dos atletas tengan el mismo $\dot{V}O_2$ máx y el mismo umbral de lactato.

TABLA 6.3 Ajustes a la hipoxia por altura

Sistema	Ajustes inmediatos	Ajustes a largo plazo
Pulmonar	Hiperventilación	Aumento de los estabilizadores de la frecuencia respiratoria
Acido-basico	Los fluidos corporales se vuelven más alcalinos debido a la reducción del CO_2 con la hiperventilación	Excreta de HCO_3^- por los rinones con reducción concomitante de la reserva alcalina
Cardiovascular	El gasto cardíaco aumenta en reposo y durante el ejercicio submáximo Aumenta la frecuencia cardíaca submáxima El volumen sistólico se mantiene igual o disminuye ligeramente La frecuencia cardíaca máxima se mantiene igual o baja ligeramente El gasto cardíaco máximo se mantiene igual o baja ligeramente	Continua elevación de la frecuencia cardíaca submáxima Disminución del volumen sistólico en reposo y con ejercicio máximo y submáximo Frecuencia cardfaca máxima más baja Menor gasto cardíaco máximo
Hematologico		Aumento de la producción de eritrocitos (policitemia) Aumento de la viscosidad Elevación del hematocrito Disminución del volumen plasmático
Tejido local		Aumento de la densidad capilar del músculo esquelético Aumento del número de mitocondrias Aumento del uso de ácidos grasos libres, lo que ahorra glucógeno muscular

En un plazo de 10 a 14 días a cierta altura geográfica, la frecuencia cardíaca y el gasto cardíaco comienzan a volver a valores normales, debido a una respuesta de aclimatación a más largo plazo consistente en un aumento

de la producción de eritrocitos. Por tanto, con la exposición aguda a la altitud, la hiperventilación y el aumento del gasto cardíaco submáximo son respuestas rápidas y relativamente eficaces para paliar los retos de la reducción de la presión parcial de oxígeno. Sin embargo, a pesar de estos ajustes, durante este período agudo, la saturación arterial de oxígeno disminuye y causa reducciones del consumo máximo de oxígeno y del rendimiento aeróbico a alturas por encima de los 1.200 metros. Los cambios derivados de la aclimatación revierten al cabo de un mes tras la vuelta al nivel del mar. Como se indica en la tabla 6.3, los ajustes fisiológicos y metabólicos crónicos que ocurren durante una exposición prolongada a la altitud son:

- Aumento de la formación de hemoglobina (por lo general, un incremento del 5-15%, aunque se han registrado valores más altos) y eritrocitos (incremento del 30-50%).
- Aumento de la capacidad de difusión de oxígeno por las membranas pulmonares.
- Mantenimiento del equilibrio ácido-básico de los fluidos corporales mediante la excreción renal de HCO_3^- y a través de la hiperventilación.
- Aumento de la capilarización.

Todas estas adaptaciones suelen mejorar la tolerancia de la hipoxia relativa a alturas medias y grandes (46, 49, 91) y puede derivar en tener capacidad para ejercitarse casi como al nivel del mar con una adecuada aclimatación. Se necesita un mínimo de tres a seis semanas para adaptarse a una altura moderada (de 2.200 a 3.000 metros). Sin embargo, hay que esperar un bajón del rendimiento, comparado con el que se obtiene a nivel del mar, durante la exposición a la altitud con independencia del período de aclimatación. Se anima a los especialistas en la fuerza y el acondicionamiento físico a que informen a los atletas de las respuestas agudas y de las adaptaciones crónicas esperables tras la exposición a la altitud, para que puedan mantener regímenes de entrenamiento ajustados convenientemente y asumir un enfoque mental positivo ante el impacto de la altura geográfica.

Respiración hiperóxica

Se ha propuesto que respirar mezclas de gas enriquecidas con oxígeno (**respiración hiperóxica**) durante los períodos de descanso o después del

ejercicio influye positivamente en algunos aspectos del rendimiento atlético, aunque no se conocen bien los mecanismos de estos resultados, el procedimiento sigue siendo controvertido y los estudios difieren en sus resultados (117, 118). La respiración hiperóxica tal vez aumente el oxígeno transportado por la sangre y, por tanto, eleve el aporte de oxígeno a los músculos activos. No obstante, el hecho de que personas sanas respiren aire ambiente a nivel del mar se traduce en una saturación de oxígeno de entre un 95% y un 98% de la hemoglobina en sangre arterial. Por tanto, todavía se tiene que dilucidar por completo el potencial de la respiración hiperóxica durante los períodos de descanso o después del ejercicio (46, 103).

Tabaquismo

Se dispone de relativamente pocos estudios sobre tabaquismo y rendimiento deportivo, posiblemente porque los atletas y las personas activas evitan fumar por miedo a que empeore su rendimiento o aumente el riesgo de enfermedad (85, 101). Los fumadores experimentan alteraciones de la función pulmonar y corren más riesgo de neumopatías obstructivas crónicas (88, 120), como bronquitis crónica (65) y enfisema (86). Se han observado decrementos en la tolerancia al ejercicio y en la función cardiopulmonar de adolescentes (85), demostrando que los efectos perniciosos del tabaquismo se producen incluso en fumadores jóvenes en un período relativamente corto de tiempo. Los efectos perjudiciales del tabaquismo son, entre otros:

- Aumento de la resistencia de las vías respiratorias debido a la obstrucción de los bronquiolos relacionada con la nicotina o al aumento de las secreciones de fluidos y al edema del árbol bronquial, debido a la irritación del humo.
- Parálisis de los cilios en la superficie de las vías respiratorias por acción de la nicotina, la cual limita la capacidad para eliminar el exceso de fluidos y partículas extrañas, y eso provoca que los restos se acumulen en las vías respiratorias y aumente la dificultad para respirar.

Por tanto, incluso el fumador ocasional puede sentir dificultad respiratoria durante el ejercicio y experimentar una reducción del nivel de rendimiento (46, 91).

El monóxido de carbono, un componente del humo de cigarrillo, se asocia con alteración de la respuesta hemodinámica al ejercicio y con aumento de la

liberación de catecolaminas. El monóxido de carbono tiene una mayor afinidad con la hemoglobina que el oxígeno. La carboxihemoglobina resultante (monóxido de carbono y hemoglobina) reduce la cantidad de oxígeno transportada por la hemoglobina y, por tanto, reduce el oxígeno que se suministra a los músculos activos. La reducción de la capacidad transportadora de oxígeno tal vez reduzca la capacidad máxima de ejercicio, y es posible que las respuestas cardiovasculares submáximas aumenten en su esfuerzo por aportar suficiente sangre oxigenada a los músculos activos. El aumento de la liberación de catecolaminas eleva la frecuencia cardíaca y la tensión arterial.

Dopaje sanguíneo

La práctica del aumento artificial del hematocrito (**dopaje sanguíneo**) como medio para mejorar el rendimiento atlético se considera inmoral y un riesgo grave para la salud de los atletas (100). No obstante, los estudios de investigación sugieren que esta práctica mejora el rendimiento del ejercicio aeróbico y tal vez la tolerancia a ciertas condiciones ambientales (112).

El dopaje sanguíneo se practica mediante la inyección de los propios glóbulos rojos del individuo o los de otra persona, o mediante la administración de **eritropoyetina (EPO)**, la cual estimula la producción de eritrocitos. La inyección de eritrocitos aumenta rápidamente el hematocrito, pero solo unas semanas (97), mientras que los efectos de la droga EPO conllevan cambios durante semanas y duran mientras se siga administrando la EPO (112). En cualquier caso, se plantea la hipótesis de que el aumento de la masa eritrocitaria puede incrementar la capacidad de la sangre para transportar oxígeno y, por tanto, aumentar la disponibilidad de oxígeno en los músculos ejercitados. Se ha demostrado que el consumo máximo de oxígeno aumenta hasta un 11% con la inyección de eritrocitos o con la administración de EPO (112, 113). Con cargas de trabajo submáximas estandarizadas, el dopaje sanguíneo también se ha asociado con una disminución de la frecuencia cardíaca y del lactato en sangre, así como valores de pH más altos (112).

Los efectos del dopaje en sangre sugieren la posibilidad de disminuir el impacto de distintas condiciones ambientales. Los efectos de la altitud parecen aminorarse con el dopaje sanguíneo, aunque, a medida que aumenta la altura geográfica, se reduce la influencia positiva del dopaje en sangre

(107). Factores ambientales estresantes, como la exposición al calor y al frío, también se ven afectados por el dopaje sanguíneo. Durante la exposición al calor, un atleta dopado tolerará más fácilmente el esfuerzo submáximo del ejercicio (63, 111-113). El aumento de la volemia asociado con el aumento de la masa eritrocitaria permite al cuerpo desviar más sangre a la piel para mejorar la termorregulación pero irrigando con suficiente sangre los músculos activos para suministrar oxígeno. Sin embargo, parece que el dopaje sanguíneo confiere esos beneficios sobre todo a personas que ya están aclimatadas al calor y aporta poca ayuda relativa a la respuesta al calor de los que no están aclimatados (112). Se sabe mucho menos sobre el dopaje en sangre respecto al estrés por frío, y aunque se ha sugerido algún beneficio teórico, esta práctica podría posiblemente aumentar los riesgos para la salud (112).

Los riesgos para la salud asociados con el dopaje en sangre complican más todavía la controversia que rodea esta práctica. En teoría, niveles altos de hematocrito pueden aumentar el riesgo de episodios de embolia como ictus, infarto de miocardio, trombosis venosa profunda o embolia pulmonar. La elevación de la tensión arterial, los síntomas gripales y el aumento de los niveles plasmáticos de potasio tal vez se manifiesten con el consumo de EPO (113). Por último, hay un riesgo asociado con la infusión o transfusión de sangre, aunque en la mayoría de los casos el riesgo es relativamente pequeño (113).

Potencial genético

El límite superior del potencial genético de una persona contribuye significativamente a la magnitud absoluta de las adaptaciones al entrenamiento. La magnitud del cambio también depende del estado actual de entrenamiento de la persona. Cada adaptación del sistema biológico, como la del sistema cardiovascular, tiene un límite superior, y a medida que el atleta se aproxima a ese límite superior, se observan cada vez mejoras más pequeñas. En algunas competiciones de elite (p. ej., natación), pequeñas mejoras en el rendimiento marcan la diferencia entre la medalla de oro y el puesto vigésimo sexto. Por tanto, en una prueba en que la que décimas o centésimas de segundo marcan una gran diferencia, tal vez valga la pena el tiempo adicional de entrenamiento para obtener esa mejora del 0,05% en el rendimiento. Debido a las pequeñas mejoras posibles con el entrenamiento

entre los atletas de elite, el cuidadoso diseño y control de los programas se vuelve más crítico si cabe (26, 70, 77, 135).

Edad y sexo

Las adaptaciones fisiológicas al entrenamiento de la resistencia aeróbica varían de acuerdo con la edad y el sexo (3, 131). La potencia aeróbica máxima disminuye con la edad en los adultos como consecuencia de diversos cambios fisiológicos que acompañan al envejecimiento, por ejemplo, la reducción de la masa muscular y la fuerza (también llamado *sarcopenia*) (79), y el aumento de la masa adiposa (3, 78). Como media, cuando mujeres y hombres se agrupan por la edad, los valores de la potencia aeróbica de las mujeres se sitúan entre un 73% y un 85% de los valores de los hombres (131). No obstante, la respuesta fisiológica general al entrenamiento es parecida en hombres y mujeres (84). Las diferencias en la potencia aeróbica tal vez estén causadas por varios factores, como el mayor porcentaje de grasa corporal y los valores más bajos de hemoglobina en sangre en la mujer, y el mayor tamaño del corazón y la volemia más alta en el hombre (13, 18).

Sobreentrenamiento: Definición, prevalencia, diagnóstico e indicadores potenciales

La mejora del rendimiento deportivo de los atletas de competición mediante programas de entrenamiento diseñados adecuadamente es crucial para el éxito. De la misma importancia para el éxito de los atletas en cualquier deporte es una adecuada recuperación de un entrenamiento intenso. Cuando existe un desequilibrio entre las cargas y la recuperación del entrenamiento, se corre peligro de sufrir **sobreentrenamiento** y desarrollar el **síndrome de sobreentrenamiento (SSE)** (28). Aunque hay un número considerable de estudios sobre el SSE, persiste la controversia sobre cómo definir, evaluar y poner remedio a este síndrome (73, 121).

Recientemente, el Colegio Europeo y el Colegio Americano de Medicina del Deporte publicaron una declaración conjunta de consenso sobre el síndrome de sobreentrenamiento (92). Esta sección del capítulo presenta alguno de los datos de su declaración de consenso, sobre todo en lo referente a las definiciones, marcadores potenciales y prevención.

Para un estudio eficaz del SSE, se necesita una terminología uniforme. Las

recomendaciones de la declaración de consenso proceden de los estudios de Halson (47) y Urhausen (130). En estas definiciones, el sobreentrenamiento se considera un proceso que puede causar una **extralimitación** a corto plazo (**extralimitación funcional**) o una extralimitación extrema (**extralimitación no funcional** [ENF]) o un SSE a largo plazo. Todas estas afecciones causan un decremento del rendimiento deportivo, que es un signo característico de sobreentrenamiento. En el caso de la extralimitación funcional, el entrenamiento se intensifica a propósito para causar un breve decremento del rendimiento seguido por unos días o semanas de recuperación. El resultado es una mejora del rendimiento por supercompensación. Un ejemplo es una sesión final de entrenamiento máximo (que provoca extralimitación funcional) unas pocas semanas antes de una competición, seguida por un período de disminución gradual que termina con una mejora del rendimiento. La extralimitación no funcional se caracteriza por un estancamiento o disminución del rendimiento deportivo, lo que exige la recuperación durante semanas a meses para que el atleta vuelva al nivel previo de rendimiento. Si la intensificación del entrenamiento sigue sin una recuperación adecuada, los atletas pueden terminar con un SSE, en el cual el rendimiento disminuye y se requieren meses de recuperación para que los atletas recuperen el nivel previo de rendimiento. Estas definiciones de sobreentrenamiento asumen un continuo del que el desencadenante habitual de la progresión —desde la extralimitación funcional hasta el SSE— es la continuación de un entrenamiento intensificado sin suficiente descanso. Aunque sea difícil medir la prevalencia del SSE, un reciente estudio (105) ha registrado que en torno al 10% (del 7% al 21%) de los nadadores universitarios y otros atletas de deportes aeróbicos experimentan ENF o SSE.

El síndrome de sobreentrenamiento puede derivar en una brusca caída del rendimiento de todos los atletas; la causa más corriente es la intensificación del entrenamiento sin una adecuada recuperación.

Respuestas cardiovasculares

Mayores volúmenes de entrenamiento asociados con el SSE pueden afectar la frecuencia cardíaca. Resulta interesante que esta disminuya o aumente en caso de SSE (136). La variabilidad de la frecuencia cardíaca disminuye con el inicio del SSE, lo cual manifiesta una reducción de la actividad aferente parasimpática o una excesiva estimulación simpática. Los valores de la

frecuencia cardíaca máxima inducida por el ejercicio disminuyen con el sobreentrenamiento, al igual que las frecuencias cardíacas con una intensidad absoluta del ejercicio submáximo (50). El aumento de los volúmenes de entrenamiento, dentro de un período dado de tiempo, asociados con el sobreentrenamiento no suelen afectar los valores de la tensión arterial en reposo. Sin embargo, el aumento de la intensidad del entrenamiento producirá un aumento de la tensión arterial diastólica en reposo sin afectar la tensión arterial sistólica en reposo.

Respuestas bioquímicas

Un volumen de entrenamiento inusualmente alto puede incrementar los niveles de creatincinasa (CK) y revelar la presencia de daños musculares (30). Las concentraciones de lactato, por su parte, disminuyen o se mantienen igual cuando se eleva el volumen de entrenamiento. La lipemia y las lipoproteínas no se alteran con un sobreentrenamiento por volumen. El glucógeno muscular disminuye con períodos prolongados de sobreentrenamiento, aunque tal vez se deba en gran medida a consideraciones dietéticas. La bajada de los niveles de glucógeno quizá contribuya a un descenso de las respuestas del lactato.

Respuestas endocrinas

En los hombres, el nivel de testosterona total disminuye después de un incremento inicial como respuesta a los estímulos del ejercicio; sin embargo, esto se debe considerar más como una respuesta a un estímulo estresante que como una señal de sobreentrenamiento (92). Las concentraciones de testosterona libre también disminuyen en algunos casos. Estos cambios no parecen estar regulados por la hipófisis, dado que los niveles de la hormona luteinizante no se ven afectados (129). Los cambios en la testosterona libre parecen ser independientes de la capacidad transportadora de las proteínas, porque las concentraciones de la globulina transportadora de hormonas sexuales no se alteran (129). Por lo tanto, la disminución de la relación entre testosterona total y la globulina transportadora de hormonas sexuales, que puede acompañar a mayores volúmenes de entrenamiento, parece deberse a la alteración de los niveles de testosterona total.

El estado anabólico-catabólico de los atletas se cuantifica mediante la relación entre testosterona y cortisol, que disminuye o se mantiene igual con

volúmenes de entrenamiento mayores. La testosterona total tal vez sea más influyente a nivel fisiológico. También se han documentado bajadas del 5% al 50% en la relación entre testosterona y cortisol al aumentar los volúmenes de entrenamiento. Un posible indicador del SSE es una disminución del 30% o más de esta relación.

Con el sobreentrenamiento se produce una bajada de la secreción de la hormona del crecimiento por la hipófisis. Esta y otras respuestas endocrinas a un estímulo del entrenamiento parecen deberse sobre todo a un empeoramiento de la función hipotalámica y no de la función de la hipófisis. Si estas alteraciones endocrinas son responsables de decrementos del rendimiento es un tema abierto al debate. Los niveles de testosterona libre, testosterona total, cortisol y creatincinasa parecen reflejar los volúmenes de entrenamiento. El rendimiento físico real en ocasiones está relacionado con las concentraciones de testosterona total, aunque no en todos los casos.

Las catecolaminas parecen ser muy sensibles a un estímulo de sobreentrenamiento. Las alteraciones de los niveles basales de adrenalina, noradrenalina y dopamina están significativamente relacionadas con la gravedad de las quejas de corredores sobreentrenados. Los cambios en las concentraciones de catecolaminas y cortisol tal vez se imiten unos a otros durante el sobreentrenamiento, aunque el cortisol no es tan sensible al aumento del volumen de entrenamiento como las catecolaminas. La elevación muy brusca de los volúmenes de entrenamiento puede bajar los niveles nocturnos de adrenalina, lo que revela cuáles son los niveles basales. Los niveles preexistentes de adrenalina y noradrenalina en reposo no cambian o aumentan. Una carga absoluta dada de ejercicio causa un aumento de los niveles de adrenalina y noradrenalina en presencia de sobreentrenamiento comparado con antes de que este ocurra, aunque los niveles máximos de adrenalina y noradrenalina no cambian. Los niveles basales de dopamina disminuyen con el sobreentrenamiento por volumen, como las concentraciones de dopamina con la misma carga de trabajo absoluta. Con ejercicio submáximo, las respuestas de la dopamina varían, pero parecen contrarrestar los patrones de la noradrenalina. Aunque a menudo resulta difícil de documentar, el sobreentrenamiento por volumen grave de atletas de resistencia aeróbica produce características del SSE parasimpático, como reducción de la sensibilidad a las catecolaminas, y tal vez derive en casos avanzados de SSE.

Estrategias para la prevención del síndrome de sobreentrenamiento

El síndrome de sobreentrenamiento representa la suma de factores estresantes cuya causa principal es la intensificación del entrenamiento sin suficiente recuperación (92). No obstante, otros factores contribuyentes son, entre otros, falta de sueño, consideraciones ambientales (calor, frío, altura geográfica, contaminación), dificultades interpersonales y viajes. Aunque la identificación definitiva del SSE aún es un poco controvertida, sigue habiendo algunas estrategias que pueden seguir atletas y entrenadores para prevenirlo.

Una táctica eficaz comprende asegurarse de que los atletas siguen unas buenas pautas nutricionales, así como dormir lo suficiente y tener tiempo para recuperarse. Los entrenadores deben trazar el programa de entrenamiento de los atletas, y el programa debería aportar variedad en intensidad y volumen. Llevar un registro exacto del rendimiento de los atletas también sirve para detectar tempranamente en el proceso algún indicador de SSE, a fin de que el entrenamiento se pueda ajustar. Y lo más importante, los atletas deben tener acceso a un equipo sanitario multidisciplinario (entrenador, médico, nutricionista y psicólogo) para debatir cualquier problema relacionado con sus vidas, lo que les permitirá poder acceder desde muy pronto a información que les ayude a evitar el SSE (92).

¿Cuáles son los marcadores del sobreentrenamiento aeróbico?

Varios criterios caracterizan una variable como un marcador fiable del inicio del síndrome de sobreentrenamiento:

- El marcador debe ser sensible a la carga del entrenamiento.
- No le deben afectar otros factores.
- Cambios en el marcador deben preceder al desarrollo del síndrome de sobreentrenamiento.
- El indicador debe ser fácil de medir con precisión.
- La medición no debe ser profundamente invasiva.
- El marcador no debe ser caro ni difícil de medir.

Se han identificado las siguientes variables como potenciales marcadores, pero ninguna satisface todos los criterios enumerados (92).

- Disminución del rendimiento.
- Disminución del porcentaje de grasa corporal.
- Disminución del consumo máximo de oxígeno.

- Alteración de la tensión arterial.
- Aumento de las agujetas.
- Disminución del glucógeno muscular.
- Alteración de la frecuencia cardíaca en reposo y disminución de la variabilidad de la frecuencia cardíaca.
- Aumento de la frecuencia cardíaca durante un ejercicio submáximo.
- Disminución del lactato.
- Aumento de la creatincinasa.
- Alteración de la concentración de cortisol.
- Disminución de la concentración de testosterona total.
- Disminución de la relación entre testosterona total y cortisol.
- Reducción de la relación entre testosterona libre y cortisol.
- Disminución de la relación entre testosterona total y globulina transportadora de hormonas sexuales.
- Disminución del tono simpático (descenso de las catecolaminas en reposo y por la noche).
- Aumento de la respuesta al estrés simpático.
- Cambio en los estados de ánimo.
- Disminución del rendimiento en las pruebas de velocidad psicomotora.

Desentrenamiento

El **desentrenamiento** se define como la pérdida parcial o completa de las adaptaciones inducidas por el entrenamiento como respuesta a un estímulo de entrenamiento insuficiente (95, 96). El desentrenamiento es gobernado por el principio de la reversibilidad del entrenamiento, el cual afirma que mientras que el entrenamiento físico provoca diversas adaptaciones fisiológicas que mejoran el rendimiento atlético, interrumpir o reducir acusadamente el entrenamiento induce una inversión parcial o completa de estas adaptaciones, lo cual compromete el rendimiento atlético. Hay que establecer una distinción entre el cese del entrenamiento, que causa una inversión de las adaptaciones, y la disminución gradual del entrenamiento. La **disminución gradual del entrenamiento** es la reducción planificada del volumen de entrenamiento (por lo general, la duración y frecuencia, pero no la intensidad) que ocurre antes de una competición atlética o de un microciclo planificado de recuperación. Este tipo de reducción del entrenamiento está pensado para mejorar el rendimiento atlético y las adaptaciones.

Las adaptaciones de la resistencia aeróbica son muy sensibles a períodos de inactividad por su base enzimática. Los mecanismos celulares exactos que dictan los cambios por desentrenamiento son desconocidos; se necesitan nuevos estudios de investigación para aclarar las alteraciones fisiológicas fundamentales. Dos artículos de revisión (95, 96) abordan los factores que

contribuyen al rendimiento aeróbico, sobre todo el $\dot{V}O_2$ máx y los factores que determinan el $\dot{V}O_2$ máx (gasto cardíaco y diferencia arteriovenosa de oxígeno) y el impacto del desentrenamiento. Los autores debaten el impacto del desentrenamiento a corto plazo (cuatro semanas) (95) y a largo plazo (más de cuatro semanas) (96). En atletas muy entrenados, el consumo máximo de oxígeno se reduce entre un 4% y un 14% con el desentrenamiento a corto plazo (22, 90), y entre un 6% y un 20% a largo plazo (21, 25, 90). La reducción del $\dot{V}O_2$ máx es sobre todo resultado de la disminución de la volemia (20), la reducción del volumen sistólico (20, 21), la disminución del gasto cardíaco máximo (20, 21) y el aumento de la frecuencia cardíaca submáxima (20, 23, 25, 89). La disminución del $\dot{V}O_2$ máx respalda la pérdida del rendimiento de fondo de carácter aeróbico (20, 21, 23, 25, 60, 89).

Una adecuada variación del ejercicio, la intensidad, los programas de mantenimiento y períodos de recuperación activa protegen adecuadamente contra los efectos graves del desentrenamiento (29).

Conclusión

El ejercicio de resistencia aeróbica genera muchas respuestas respiratorias y cardiovasculares agudas, y el entrenamiento de la resistencia aeróbica genera muchas adaptaciones crónicas. Esta información puede ser de especial valor para desarrollar los objetivos de un programa de acondicionamiento físico y con el fin de aportar una base para la evaluación clínica y la selección de parámetros que se incluirán en tal proceso de evaluación. Conocer las respuestas de los sistemas cardiovascular, respiratorio, nervioso, muscular, endocrino, óseo y del tejido conjuntivo al entrenamiento de la resistencia aeróbica ayuda a los especialistas en la fuerza y el acondicionamiento físico a entender la base científica del acondicionamiento aeróbico y las adaptaciones que hay que esperar y controlar durante el entrenamiento. En el cuerpo ocurren adaptaciones a tipos específicos de estímulos del ejercicio. Las adaptaciones óptimas reflejan un cuidadoso diseño, implementación y rendimiento de los programas de la fuerza y el acondicionamiento físico.

TÉRMINOS CLAVE

alvéolo
bradicardia

consumo
  de oxígeno
  máximo de oxígeno
desentrenamiento
diástole
diferencia arteriovenosa de oxígeno
difusión
disminución gradual del entrenamiento
doble producto
dopaje en sangre
ecuación de Fick
equivalente
  metabólico (MET)
  ventilatorio
eritropoyetina (EPO)
espacio muerto
  anatómico
  fisiológico
extralimitación
  funcional
  no funcional
fracción de eyección
frecuencia cardíaca
  máxima
gasto cardíaco
hiperventilación
mecanismo de Frank-Starling
mioglobin
mitocondria
producto del índice de presión
respiración hiperóxica
retorno venoso
síndrome de sobreentrenamiento (SSE)
sobreentrenamiento
tensión arterial
  diastólica
  media

vasoconstricción
vasodilatación
ventilación minuto
volumen
  corriente
  telediastólico

PREGUNTAS DE REPASO

(respuestas en la página 657)

1. Un corredor de *cross* de 17 años y estudiante de bachillerato ha estado siguiendo un entrenamiento aeróbico durante seis meses como preparación para la temporada por llegar. ¿Cuál de las siguientes adaptaciones se producirá en los músculos durante ese tiempo?
   a. Aumento de la concentración de enzimas glucolíticas.
   b. Hiperplasia de las fibras tipo II.
   c. Transformación de fibras tipo I en tipo II.
   d. Hipertrofia de las fibras tipo I.

2. La cantidad de sangre expulsada del ventrículo izquierdo durante cada latido es:
   a. Gasto cardíaco.
   b. Diferencia $a\text{-}\bar{v}\ O_2$.
   c. Frecuencia cardíaca.
   d. Volumen sistólico.

3. ¿Cuál de los siguientes elementos NO aumenta normalmente durante una sesión de ejercicio aeróbico?
   a. Volumen telediastólico.
   b. Contractilidad cardíaca.
   c. Gasto cardíaco.
   d. Tensión arterial diastólica.

4. La tensión arterial media se define como:
   a. Tensión arterial media durante el ciclo cardíaco.
   b. Tensión arterial sistólica y diastólica media.
   c. Tensión arterial sistólica media durante el ejercicio.
   d. Tensión arterial y frecuencia cardíaca medias.

5. ¿Cuáles de las siguientes son las adaptaciones principales al entrenamiento de atletas de elite con entrenamiento aeróbico?

I. Aumento del consumo máximo de oxígeno.
II. Disminución de la concentración de lactato en la sangre.
III. Aumento de la economía en carrera.
IV. Disminución de la densidad capilar.

a. Solo I y III.
b. Solo II y IV.
c. Solo I, II y III.
d. Solo II, III y IV.

CAPÍTULO 7

Diferencias por edad y sexo, y sus implicaciones para el ejercicio resistido

Rhodri S. Lloyd y Avery D. Faigenbaum

A la conclusión del capítulo, el lector:

- Evaluará las pruebas sobre la seguridad, eficacia e importancia del ejercicio resistido para niños.
- Exponerá diferencias relacionadas con el sexo en la función muscular y sus implicaciones para las mujeres.
- Describirá los efectos del envejecimiento sobre la salud musculoesquelética y comentará la entrenabilidad de los adultos mayores.
- Explicará por qué las adaptaciones al ejercicio resistido varían enormemente entre estas tres poblaciones distintas.

El ejercicio resistido ha demostrado ser un método seguro y eficaz de acondicionamiento físico para personas con diversas necesidades, objetivos y capacidades. Aunque mucho de lo que sabemos sobre el estímulo del ejercicio resistido se ha logrado por medio de la experimentación con las respuestas agudas y crónicas de los hombres adultos a los diversos protocolos de entrenamiento, el ejercicio resistido para niños, mujeres y personas mayores ha recibido cada vez más atención médica y pública. Al diseñar y evaluar los programas de entrenamiento resistido, los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico necesitan entender las diferencias vinculadas con la edad y el sexo en la composición corporal, el rendimiento muscular y la *entrenabilidad**, así como sus implicaciones para cada persona.

Para el propósito de este capítulo, el **ejercicio resistido** se define como un método especializado de acondicionamiento físico por medio del cual las

personas trabajan contra una gran variedad de cargas para mejorar la salud, la condición física y el rendimiento. Este término se debe distinguir de un deporte como la halterofilia, en el que las personas intentan levantar cargas máximas en un marco competitivo, específicamente en los ejercicios de arrancada y dos tiempos. El término **infancia** se refiere al período de la vida antes del desarrollo de las características sexuales secundarias (p. ej., vello púbico y órganos de la reproducción), y el término **adolescencia** se refiere al período entre la infancia y la **adultez**. Para facilitar la exposición, los términos **joven** o **atleta joven** se refieren a los niños y adolescentes. El término **persona mayor** se ha definido arbitrariamente para incluir hombres y mujeres de más de 65 años de edad. En este capítulo, la fuerza muscular se expresa sobre una base absoluta (la fuerza total medida en kilogramos) o relativa (la relación entre la fuerza absoluta y la masa corporal total, la masa de tejido magro o el área transversal del músculo).

Niños

Debido al creciente interés por el entrenamiento resistido para jóvenes, es importante que los especialistas de la fuerza y la condición física conozcan los principios fundamentales del crecimiento, la maduración y el desarrollo. Conocer estos principios y apreciar su influencia sobre las adaptaciones al entrenamiento y cómo pueden confundir la interpretación de los datos de investigación es esencial para el desarrollo y evaluación de programas seguros y eficaces de entrenamiento resistido. Como el entrenamiento de atletas jóvenes es cada vez más intenso y complejo, será necesario tener en cuenta los factores anatómicos, fisiológicos y psicosociales que se puedan asociar con las lesiones agudas y crónicas.

El niño en edad de crecimiento

En esta sección, los términos **crecimiento, desarrollo** y **maduración** sirven para describir cambios que ocurren en el cuerpo durante el curso de la vida. El término *crecimiento* se refiere a un incremento del tamaño corporal o de una parte concreta del cuerpo; *desarrollo* describe la progresión natural desde la vida prenatal hasta la adultez, y *maduración* se refiere al proceso de convertirse en una persona madura y completamente funcional. **Pubertad** se refiere al período de tiempo durante el cual las características sexuales secundarias se desarrollan y los niños experimentan una transición a la

adultez emergente. Durante la pubertad también se producen cambios en la composición del cuerpo y en la ejecución de destrezas físicas, variando estos cambios de forma muy acusada según la persona.

Edad cronológica frente a edad biológica

Debido a la considerable variación en las tasas de crecimiento y desarrollo, no es especialmente exacto definir un estadio de maduración o desarrollo por la edad en meses o años, la llamada **edad cronológica**. Los niños no crecen a un ritmo constante, y hay sustanciales diferencias interindividuales en el desarrollo físico a una edad cronológica dada. Un grupo de niños de 14 años puede tener una diferencia de altura de hasta 23 cm y una diferencia de peso de hasta 18 kg. Además, una chica de 11 años tal vez sea más alta y físicamente más hábil que un chico de 11 años. Estas diferencias se corresponden con variaciones en la duración, la velocidad relativa y la magnitud del crecimiento durante la pubertad (131). El inicio de la pubertad abarca desde los 8 a los 13 años en las chicas y desde los 8 hasta los 15 años en los chicos, soliendo las chicas iniciar la pubertad aproximadamente dos años antes que los chicos.

Los estadios de la maduración, o desarrollo de la pubertad, se evalúan mejor con la **edad biológica**, la cual se mide atendiendo a la edad esquelética, la madurez somática (mental) o la madurez sexual. Por ejemplo, dos chicas de un equipo tienen la misma edad cronológica pero difieren en varios años por lo que respecta a su edad biológica. Una chica puede ser madura sexualmente, mientras que a la otra tal vez le falten varios años para iniciar el proceso de maduración sexual. En las chicas, el inicio de la menstruación (**menarquía**) es un marcador de la maduración sexual, mientras que, en los chicos, los indicadores más próximos de la madurez sexual son la aparición de vello púbico, vello facial y voz más grave. La determinación de la maduración en los niños es importante por varias razones y sirve para evaluar sus patrones de crecimiento y desarrollo. Además, como el grado de maduración está relacionado con las mediciones de la condición física, incluyendo la fuerza muscular y el despliegue de destrezas motoras (114), las técnicas usadas para valorarlo ayudan a garantizar que los niños se agrupen con más ecuanimidad en las pruebas de esfuerzo y en la competición deportiva, en contraposición al agrupamiento por la edad cronológica. En niños correctamente bien nutridos, no hay pruebas científicas de que el entrenamiento físico difiera o acelere el crecimiento o la maduración (72,

135). Además, los beneficios osteógenicos de la actividad física, específicamente las actividades en carga que generan fuerzas de compresión, son esenciales para la remodelación y el crecimiento óseos (215).

La regla de oro para determinar la maduración biológica es la comprobación de la edad esquelética. Esta técnica implica que los radiólogos comparen radiografías de un niño con otras de referencia para determinar el grado de osificación de los huesos de la muñeca izquierda (89, 186, 205-207). La osificación se refiere al proceso por el cual unas células llamadas osteoblastos depositan hueso nuevo. Mientras que la edad esquelética aporta la forma más exacta y fiable de determinar la madurez, los problemas del coste, el equipamiento especial, las limitaciones de tiempo y la necesidad de experiencia en la interpretación de las radiografías hacen este método poco realista para la mayoría de los especialistas que trabajan con jóvenes.

Un método alternativo para evaluar la edad biológica, creado por Tanner (206), consiste en la valoración visual del desarrollo de las características sexuales secundarias identificables: desarrollo mamario en las chicas, desarrollo genital en los chicos y aparición del vello púbico en ambos sexos. La clasificación de Tanner discrimina cinco estadios: el estadio 1 representa el estado preadolescente e inmaduro, y el estadio 5 significa la maduración sexual completa. Aunque ciertas limitaciones metodológicas son aparentes en los estadios de Tanner (131), sus mayores restricciones conciernen a la naturaleza invasiva del procedimiento y a la preocupación inherente de niños y padres. Por consiguiente, esta técnica no se debe usar por los especialistas en la fuerza y el acondicionamiento físico, y solo se hará cuando sea necesario y por parte de médicos cualificados y apropiados. Para la mayoría de los especialistas, el medio más realista y factible para calcular la edad biológica es a partir de evaluaciones somáticas (131). La edad somática refleja el grado de crecimiento de la estatura general o las subdimensiones más pequeñas del cuerpo (p. ej., longitud de las extremidades). Las técnicas disponibles para el especialista comprenden el análisis de la curva del crecimiento longitudinal, los porcentajes y predicciones de la altura final del adulto, y la predicción de la edad a partir del **pico de velocidad de crecimiento (PVC)**, que se define como la edad en la que la tasa de crecimiento es máxima durante el estirón de la pubertad. Las mediciones del crecimiento son relativamente fáciles de recabar, no son invasivas y precisan un equipamiento mínimo. En algunos casos, tal vez sea apropiado medir el crecimiento somático cada tres meses (131).

La sensibilidad a las diferencias individuales en la capacidad, competencia técnica y experiencia pasada es muy importante para evaluar a los niños en la sala de pesas. Una chica de 14 años de madurez precoz tal vez esté lista para entrenar en un deporte como la halterofilia, mientras que un chico de 14 años y maduración tardía puede no estar listo para las exigencias de un ejercicio resistido con grandes cargas. Por lo demás, la **edad de entrenamiento** de los niños (el tiempo que el niño ha seguido un programa de entrenamiento resistido formal y supervisado) influye en las adaptaciones al entrenamiento resistido; la magnitud de las mejoras en cualquier medición vinculada a la fuerza se verá afectada por el grado de adaptación que se haya producido. Por ejemplo, un niño de 12 años con dos años de experiencia en entrenamiento resistido (con una edad de entrenamiento de dos años) tal vez no logre las mismas mejoras en la fuerza durante un período dado de tiempo que otro niño de 10 años sin experiencia en entrenamiento resistido (con una edad de entrenamiento igual a cero). También es importante que los especialistas evalúen y monitoricen la competencia técnica de los jóvenes, ya que dos niños con la misma edad de entrenamiento tal vez presenten diferentes valores de competencia técnica y desarrollen su competencia a distinto ritmo. Los especialistas en la fuerza y el acondicionamiento físico deben tener en cuenta todas estas variables e individualizar el diseño del programa de entrenamiento basándose en la competencia técnica, la edad de entrenamiento y el nivel de madurez de cada niño. Al crear un programa de entrenamiento resistido para jóvenes, los especialistas en la fuerza y el acondicionamiento físico también deben considerar las necesidades psicosociales únicas de cada niño como individuo y luego diseñar, aplicar y revisar los programas de acuerdo con dichas necesidades. Por ejemplo, todo especialista en la fuerza y el acondicionamiento físico necesita usar distintas destrezas interpersonales para entrenar a niños sin experiencia con una edad de entrenamiento baja y con poca confianza en sí mismo frente a un adolescente con experiencia y muy competente al que, simplemente, le falta motivación.

Durante el período de pico de velocidad de crecimiento, los atletas jóvenes tal vez corran más riesgo de sufrir lesiones (143). El pico de velocidad de crecimiento suele darse en torno a los 12 años en las mujeres y en torno a los 14 años en los hombres. Las alteraciones del centro de masa, los desequilibrios musculares y la relativa tirantez de las unidades musculotendinosas que se produce en los huesos en rápido crecimiento son factores de riesgo potenciales de lesiones por uso excesivo en niños durante

el estirón de la pubertad (154, 213). Los especialistas en la fuerza y el acondicionamiento físico tal vez no necesiten modificar los programas de entrenamiento (es decir, reforzar los patrones de movimiento de gran calidad, trabajar las restricciones a la flexibilidad, corregir los desequilibrios musculares o disminuir el volumen o intensidad del entrenamiento, o ambos) durante períodos de rápido crecimiento. Si un atleta joven refiere dolor o molestias durante un estirón, el especialista en la fuerza y el acondicionamiento físico debe considerar la posibilidad de una lesión por uso excesivo antes que etiquetar esas quejas como «dolores de crecimiento»; por eso, tras consultar con los padres o tutores del niño, transferirá el niño a un médico.

Crecimiento muscular y óseo

A medida que los niños crecen, la masa muscular aumenta a ritmo constante durante los años de desarrollo. Al nacer, aproximadamente el 25% del peso corporal del niño es masa muscular, y al llegar a la adultez este porcentaje aumenta hasta un 40% (136). Durante la pubertad, los acusados incrementos de las concentraciones hormonales (p. ej., testosterona, hormona del crecimiento y el factor de crecimiento insulinoide) en los chicos causan un marcado incremento de la masa muscular y el ensanchamiento de los hombros, mientras que en las chicas el aumento de la producción de estrógenos provoca un aumento de la deposición de grasa corporal, el desarrollo de las mamas y el ensanchamiento de las caderas. Aunque la masa muscular siga aumentando en las chicas durante la adolescencia, el incremento ocurre a un ritmo más lento que en los chicos debido a diferencias hormonales (136). Durante este período de tiempo el aumento de la masa muscular en ambos sexos se debe a la hipertrofia de las fibras musculares individuales y no a hiperplasia (136). El pico en la masa muscular ocurre entre los 16 y los 20 años de edad en las mujeres y entre los 18 y los 15 años en los hombres, a menos que se vea influido por el ejercicio resistido, la dieta o ambos aspectos (136).

La mayor parte de la formación de hueso ocurre en la **diáfisis** (centro de osificación primaria), que es el cuerpo central de los huesos largos, y en el **cartílago de crecimiento** (centro de osificación secundaria), que se localiza en tres lugares en los niños: en las láminas epifisarias de crecimiento, en la superficie de las articulaciones y en las inserciones **apofisarias** de las unidades musculotendinosas. Cuando las láminas epifisarias se osifican por

completo, los huesos largos dejan de crecer (figura 7.1). Aunque los huesos se suelen comenzar a fusionar al comienzo de la adolescencia, las chicas por lo general alcanzan la madurez ósea completa dos o tres años antes que los chicos. La edad varía considerablemente, pero la mayoría de los huesos se fusionan antes de los 20 años.

Una inquietud concreta sobre los niños es la vulnerabilidad del cartílago de crecimiento o los traumatismos y el uso excesivo (103). Las lesiones en los cartílagos de crecimiento tal vez interrumpan el riego sanguíneo y el aporte de nutrientes, y causen trastornos permanentes del crecimiento (p. ej., atrofia esquelética, hipertrofia esquelética, defecto de alineación del hueso). Los traumatismos por caídas o esfuerzos repetitivos excesivos que causan una rotura de ligamentos en el adulto tal vez provoquen una fractura de la lámina epifisaria en un niño. Como el pico de incidencias de fracturas de las láminas epifisarias en los niños es paralelo al período del pico de velocidad de crecimiento, parece que los preadolescentes tal vez corran menos riesgo de fractura de las láminas epifisarias que los adolescentes que están dando el estirón (145). Se ha sugerido que las láminas epifisarias de los niños más pequeños son más resistentes y fuertes a las fuerzas de cizallamiento, que tal vez sean la causa de las lesiones del cartílago de crecimiento (145). El riesgo potencial de lesión en las láminas epifisarias durante el entrenamiento resistido se debatirá más adelante en este capítulo.

El cartílago de crecimiento de los niños se localiza en las láminas epifisarias, en las superficies articulares y en las inserciones apofisarias. Los daños en el cartílago de crecimiento afectan en ocasiones al crecimiento y desarrollo del hueso. No obstante, el riesgo de tales daños se reduce con una técnica adecuada de ejercicio, con una progresión sensata en las cargas de entrenamiento y con la instrucción a cargo de especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico cualificados.

Cambios en el desarrollo físico relacionados con la fuerza muscular

A medida que aumenta la masa muscular durante la preadolescencia y la adolescencia, hay un incremento de la fuerza muscular. De hecho, las curvas de crecimiento de la fuerza son parecidas a las de la masa muscular. En los chicos, la elevación de los picos de la fuerza suele ocurrir en torno a 1,22 años después del pico de crecimiento en altura y 0,8 años después del pico de aumento de peso, siendo el peso corporal el indicador más claro (136). Este

patrón sugiere que, durante períodos de rápido crecimiento, los incrementos del músculo ocurren primero en la masa y más tarde en su capacidad para expresar y atenuar altos niveles de fuerza (23). Esto se refleja en un reciente metaanálisis que demuestra que los adolescentes eran capaces de conseguir mejoras en la fuerza muscular casi un 50% mayores que los niños (14). En las chicas, las mejoras de la fuerza también suelen ocurrir después de un pico en la velocidad de crecimiento, aunque hay mayor variación individual en la relación entre fuerza y altura y peso corporal entre las chicas que entre los chicos (136). Aunque la fuerza de chicos y chicas sea esencialmente igual durante la preadolescencia, las diferencias hormonales durante la pubertad son responsables de la aceleración en las mejoras de la fuerza de los chicos y de una meseta general en el desarrollo de la fuerza de las chicas durante la adolescencia (129, 136). Como media, el pico de fuerza se suele alcanzar hacia los 20 años de edad en mujeres desentrenadas y entre los 20 y los 30 años de edad en hombres desentrenados (136).

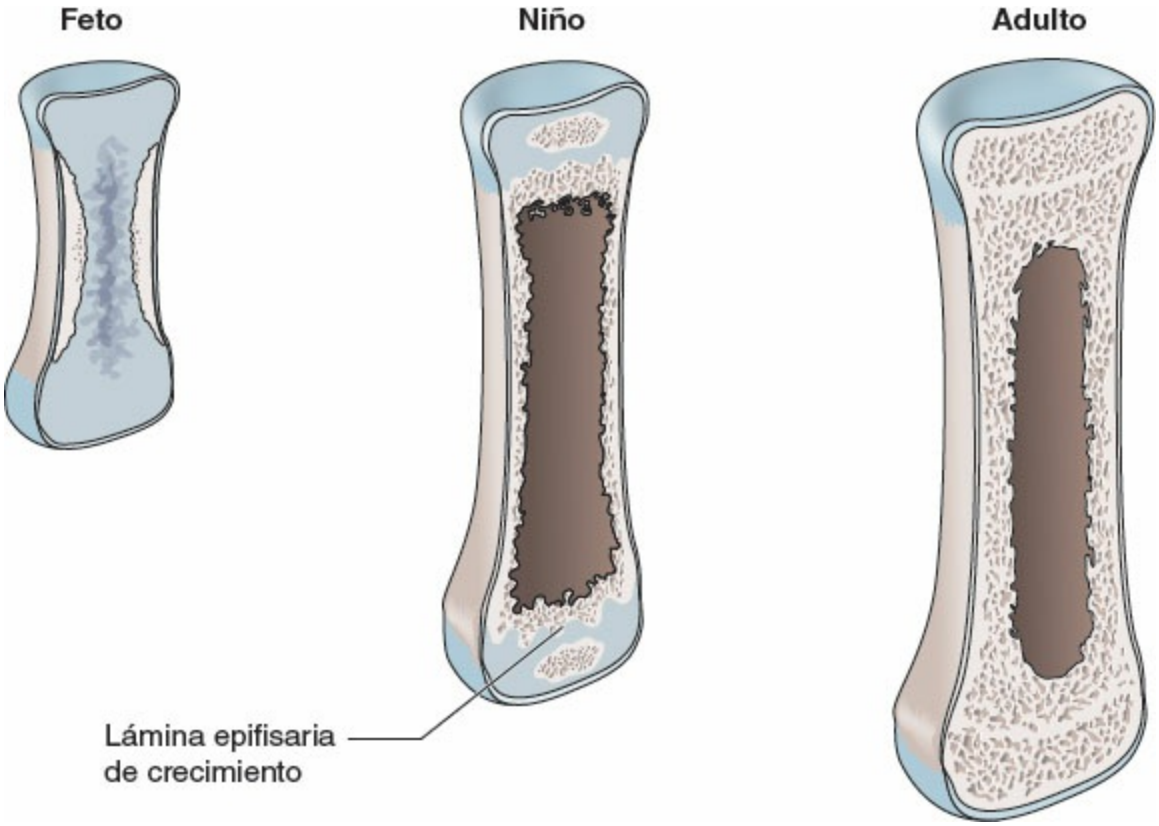


FIGURA 7.1 Formación de hueso como resultado del crecimiento y el desarrollo.

Un factor importante relacionado con la expresión de la fuerza muscular en los niños es el desarrollo del sistema nervioso. Si la mielinización de las

fibras nerviosas (motoneuronas) no se produce o es incompleta, no es posible conseguir con éxito reacciones rápidas ni movimientos diestros, como tampoco alcanzar niveles elevados de fuerza y potencia. A medida que el sistema nervioso continúa desarrollándose con la edad, los niños mejoran su ejecución de destrezas que requieren equilibrio, agilidad, fuerza y potencia. Como la mielinización de muchas motoneuronas es incompleta hasta la madurez sexual, no hay que esperar que los niños respondan al entrenamiento del mismo modo ni alcancen el mismo nivel de destreza que los adultos hasta que alcancen la madurez neuronal completa (121).

Como las funciones fisiológicas están más estrechamente relacionadas con la edad biológica que con la edad cronológica, en cualquier momento dado es probable que un niño de maduración precoz tenga ventaja en las mediciones de su fuerza absoluta cuando se compara con un niño de maduración más tardía del mismo sexo y con menos masa muscular. Hacia el final de la adolescencia, el somatotipo de los jóvenes de maduración precoz tiende a ser **mesomórfico** (hombros más anchos y musculosos) o **endomórfico** (caderas más anchas y redondeadas), mientras que los de maduración tardía tienden a ser **ectomórficos** (más delgados y altos) (136). Está claro que las diferencias físicas en las proporciones corporales influyen en la ejecución de ejercicios resistidos. Por ejemplo, unos brazos cortos y un pecho ancho son una ventaja biomecánica para los ejercicios de *press* con el hemicuerpo superior, mientras que unas piernas largas y un torso largo son una desventaja en los movimientos de sentadilla. Estos factores tienen implicaciones para los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico que intentan estandarizar las pruebas de esfuerzo o desarrollar programas de entrenamiento resistido para un grupo de chicos y chicas cuyo tamaño físico muestra grandes variaciones. Hay que reparar en que, tanto en el ámbito de las pruebas como en el de los entrenamientos, el médico debe usar máquinas adaptadas a los niños y ejercicios con el peso del cuerpo, balones medicinales, bandas elásticas, mancuernas o halteras. Las razones de los programas de entrenamiento individualizados se deben explicar a todos los participantes, y se animará a los que maduran más tardíamente, pues tal vez sean más pequeños y débiles que sus pares de la misma edad cronológica aunque con una madurez biológica más avanzada. Aunque los que maduran más tardíamente al final tienden a estar a la altura de los que maduran más precozmente a medida que transcurre la adolescencia, los atletas jóvenes se deben dar cuenta de que muchos factores, como la motivación, la instrucción

deportiva y la capacidad innata contribuyen al éxito en el deporte.

Entrenamiento resistido para jóvenes

Médicos, entrenadores y científicos del ejercicio coinciden ahora en que el ejercicio resistido es un método seguro y eficaz para lograr el acondicionamiento físico de los niños (12, 19, 54, 57, 64, 66, 74, 121, 129, 130). Un número creciente de chicos y chicas participan en actividades de entrenamiento resistido, y hay grandes organizaciones dedicadas a la medicina del deporte que respaldan la participación de los niños en diversos modos de ejercicio resistido, siempre y cuando los programas estén diseñados y supervisados correctamente por profesionales cualificados (2, 3, 7, 22, 57, 129). Las normas nacionales y los resultados graduados para la educación física comprenden pautas y recomendaciones que reconocen la importancia de las actividades de acondicionamiento físico que mejoran la fuerza de músculos y huesos (199).

Es imperativo que los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico recuerden que los niños no son adultos en miniatura. No importa lo grande o fuerte que sea un niño, los niños son físicamente menos maduros y a menudo experimentan las actividades de entrenamiento por primera vez. Los niños deben recibir un entrenamiento resistido a un nivel que esté a la altura de su nivel de madurez, sus capacidades físicas y sus metas individuales. Los programas para adultos y las filosofías de entrenamiento no se deben imponer a las poblaciones más jóvenes. En tales casos, la intensidad y el volumen del entrenamiento son a menudo demasiado fuertes, y la recuperación entre las sesiones de entrenamiento es insuficiente para permitir que ocurra la adaptación al entrenamiento. Cuando se inicia a los niños en actividades resistidas, siempre es mejor infravalorar sus capacidades físicas y aumentar gradualmente el volumen e intensidad de entrenamiento que superar sus capacidades y arriesgarse a que sufran lesiones y resultados negativos a largo plazo para la salud.

Respuesta de los niños al entrenamiento resistido

Gran parte de la controversia que rodea al entrenamiento resistido para jóvenes surgió del problema de la entrenabilidad de los niños, es decir, del grado de reacción al estímulo del ejercicio resistido. Los primeros estudios no consiguieron demostrar un aumento de la fuerza en preadolescentes que

participaron en un programa de entrenamiento resistido (50, 99). Aunque la falta de datos significativos en estos estudios se pueda explicar por los defectos metodológicos, como la corta duración de los estudios o el volumen o intensidad inadecuados del entrenamiento, los resultados de estos informes se citan en ocasiones como prueba de que el entrenamiento resistido es ineficaz para los niños. Como se explicó previamente, la fuerza muscular normalmente aumenta en la infancia y sigue haciéndolo durante la adolescencia; por tanto, una conclusión más apropiada de estos informes tal vez sea que las mejoras inducidas por el entrenamiento con un programa de corta duración, volumen bajo y baja intensidad no son diferenciables de las mejoras atribuibles al crecimiento y maduración normales.

Otras investigaciones han demostrado claramente que los chicos y chicas aumentan su fuerza muscular más allá de lo que generan el crecimiento y la maduración por sí solos, siempre y cuando la intensidad y volumen de entrenamiento sean adecuados (62, 63, 71, 127, 175, 184, 220). Incluso niños de 5 años se han beneficiado de un entrenamiento resistido (8, 115), y diversas modalidades de entrenamiento han demostrado ser eficaces (129). Aunque se hayan registrado en la literatura mejoras de la fuerza máxima de entre un 10% y un 90% (14), se suele observar mejoras de la fuerza del 30% al 40% en preadolescentes desentrenados que siguen programas de entrenamiento resistido a corto plazo (8 a 20 semanas) (57, 129). Sin embargo, después de un período inicial de adaptación, la tasa de cambio en las mejoras de la fuerza se atenúa a medida que los jóvenes se adaptan al programa de entrenamiento, poniendo así de relieve la necesidad de un entrenamiento progresivo y continuado. La variabilidad de las mejoras de la fuerza tal vez se deba a varios factores, como la edad biológica de los niños, el diseño del programa, la calidad de la instrucción y el nivel de experiencia con la actividad física.

Los niños que participan en programas de entrenamiento resistido es probable que experimenten períodos de entrenamiento reducido o inactividad debido a factores relacionados con el diseño de los programas, la planificación de largos viajes, calendarios muy ocupados, lesiones, la implicación en múltiples deportes, o la disminución de la motivación. Esta reducción o interrupción temporal del estímulo del entrenamiento se llama *desentrenamiento*. En los niños, a diferencia de los adultos, la evaluación de los cambios en la fuerza durante la fase de desentrenamiento se complica por incrementos de la fuerza vinculados con el crecimiento durante el mismo

período de tiempo. No obstante, los datos sugieren que las mejoras de la fuerza inducidas por el entrenamiento en los niños son efímeras y tienden a volver a los valores del grupo de controles no entrenados durante el período de desentrenamiento (56, 70, 108, 211). En un informe, la participación en clases de educación física y deportes organizados a lo largo de un período de desentrenamiento no mantuvo las mejoras de la fuerza inducidas por el entrenamiento de los preadolescentes (70). En otro estudio que comparó los efectos de uno o dos días semanales de entrenamiento resistido sobre los niños, los participantes que siguieron un entrenamiento resistido de un día por semana promediaron un 67% de las mejoras de la fuerza de los participantes que siguieron el entrenamiento dos veces por semana (63). Aunque una reciente revisión sugirió que el incremento de la frecuencia del entrenamiento está relacionada con un mayor efecto del entrenamiento de la fuerza en los jóvenes (14), este dato se debe examinar a la luz de los otros muchos compromisos que suelen adquirir los jóvenes o los atletas jóvenes (p. ej., el calendario de competiciones, los trabajos escolares, el tiempo para interactuar con sus amigos). Colectivamente, estos datos infravaloran la importancia de un entrenamiento continuado para mantener la ventaja adquirida en la fuerza de los niños por las adaptaciones inducidas por el ejercicio. Aunque los mecanismos exactos responsables de la respuesta al desentrenamiento no estén claros, parece probable que los cambios en el funcionamiento neuromuscular sean al menos responsables de ello. Lo interesante es que recientes estudios de investigación sugieren que el efecto del desentrenamiento tal vez no sea homogéneo, mostrando las distintas cualidades neuromusculares de los niños jóvenes respuestas diferentes tras el cese de un programa de entrenamiento (56).

Los cambios en la hipertrofia muscular contribuyen significativamente a las mejoras de la fuerza inducidas por el entrenamiento en los adolescentes y adultos, aunque es improbable que la hipertrofia muscular sea la principal responsable de las mejoras de la fuerza inducidas por el entrenamiento (al menos hasta 20 semanas) en preadolescentes (172, 184). Aunque algunos datos no respalden esta sugerencia (81), los preadolescentes parecen experimentar más dificultad para aumentar su masa muscular por medio de un programa de entrenamiento resistido debido a niveles inadecuados de hormonas circulantes (testosterona, hormona del crecimiento, factor de crecimiento insulinoide). En los preadolescentes, la concentración de testosterona se sitúa entre 20 y 60 ng/100 ml; en contraste, durante la

adolescencia, los niveles de testosterona de los hombres aumentan hasta 600 ng/100 ml, mientras que los niveles de las mujeres se mantienen sin cambio (136).

Parece que los preadolescentes tienen más capacidad potencial para aumentar su fuerza debido a factores neuronales, como los incrementos de la activación y sincronización de las unidades motoras, así como la mejora del reclutamiento y la frecuencia de activación de las unidades motoras (87, 129, 172, 184). También se ha sugerido que las adaptaciones de los músculos intrínsecos, las mejoras del rendimiento derivadas de las destrezas motoras y la coordinación de los grupos musculares implicados podrían ser, en parte, responsables de las mejoras de la fuerza inducidas por el entrenamiento en los adolescentes (184). Tampoco se puede afirmar sin cualificación que el entrenamiento resistido no genera atrofia muscular en los preadolescentes, porque es posible que se necesiten estudios de mayor duración, con volúmenes más elevados de entrenamiento y técnicas de medición más precisas (p. ej., técnicas de exploración mediante equipos de digitalización de imágenes) para descubrir la potencial hipertrofia muscular inducida por el entrenamiento en jóvenes que siguen un programa de entrenamiento resistido. Adicionalmente, a medida que aumenta el ángulo de distribución penniforme con la edad (16), no está claro si el entrenamiento resistido cambia las propiedades arquitectónicas del músculo sin hacer cambios sustanciales en el área transversal general del mismo.

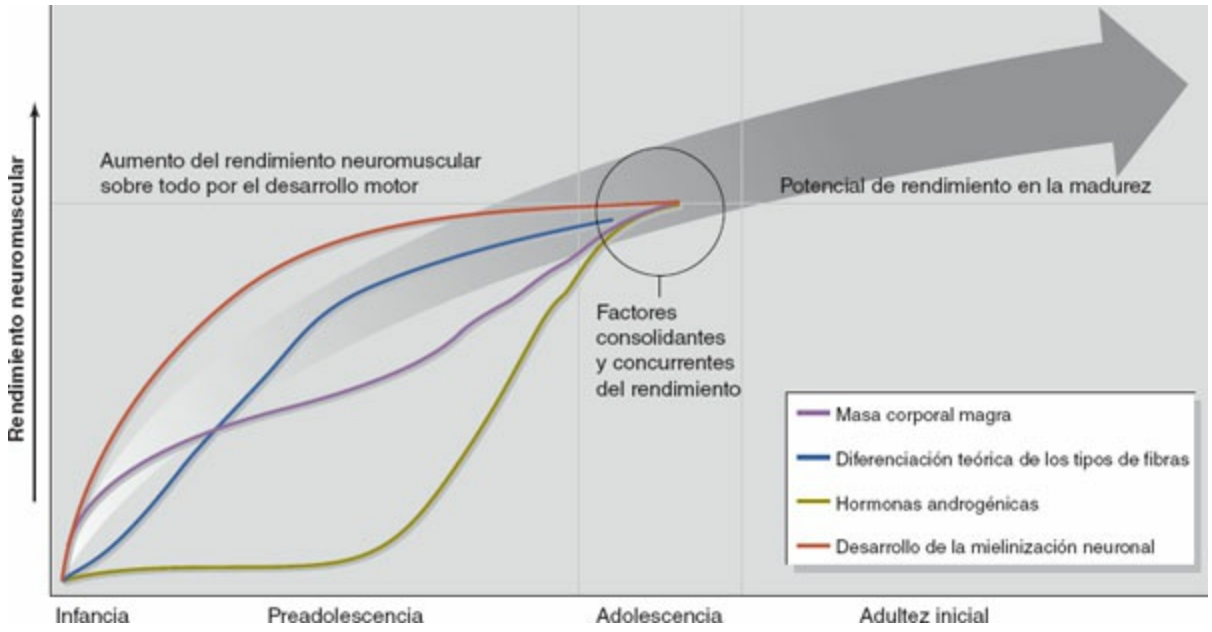


FIGURA 7.2 Modelo interactivo teórico para la integración de los factores del desarrollo físico

relacionados con las adaptaciones potenciales de la fuerza muscular y el rendimiento.

Fuente: Reproducido, con autorización, de Faigenbaum *et al*., 2013 (58).

No obstante, durante y después de la pubertad, las mejoras de la fuerza inducidas por el entrenamiento se suelen asociar con mejoras de la hipertrofia muscular por influencia hormonal. Aunque los niveles más bajos de testosterona en las adolescentes limiten la magnitud de los incrementos de la hipertrofia muscular inducidos por el entrenamiento, otros factores hormonales y del crecimiento (p. ej., hormona del crecimiento y el factor de crecimiento insulinoide) pueden ser, al menos en parte, responsables de su desarrollo muscular (119). La figura 7.2 pone de relieve los factores que contribuyen a desarrollar la fuerza muscular, como la masa magra, las concentraciones de testosterona, el desarrollo del sistema nervioso y la diferenciación de las fibras musculares de contracción rápida y contracción lenta.

Los preadolescentes mejoran significativamente su fuerza más allá de lo que genera el crecimiento y la maduración mediante el entrenamiento resistido. Los factores neurológicos, en contraposición con los factores hipertróficos, son los principales responsables de estas mejoras.

Beneficios potenciales

Además de aumentar la fuerza, la potencia y la tolerancia física musculares, la participación regular de jóvenes en un programa de entrenamiento resistido tiene capacidad potencial de influir en muchas otras mediciones relacionadas con la salud y la condición física (129, 198). El ejercicio resistido tal vez altere favorablemente ciertos parámetros anatómicos y psicosociales seleccionados, reduzca las lesiones en el deporte y en actividades recreativas (212), y mejore las destrezas motoras y el rendimiento motor (13, 68, 203).

Desde una perspectiva clínica, se ha documentado que la participación regular en un programa de entrenamiento resistido provoca una disminución de la grasa corporal, y mejora la sensibilidad a la insulina y la función cardíaca de niños y adolescentes obesos (15, 139, 162, 193, 218, 219). Los indicadores de la participación en actividades físicas de los jóvenes de todo el mundo son bajos, lo cual sugiere que hay pruebas generalizadas de una crisis de inactividad física (210). Los niños obesos o los que llevan una vida sedentaria (p. ej., los que toman el autobús al colegio y ven la tele o juegan a videojuegos a la vuelta del colegio y los fines de semana) no están preparados

para 1 o 2 horas de entrenamiento deportivo cuatro o cinco días semanales. Los datos globales actuales basados en los datos de 183 países revelan que, entre 1980 y 2013, la prevalencia de niños con un índice de masa corporal >25 kg/m^2 aumenta sustancialmente en los países desarrollados y en vías de desarrollo (165). En concreto, en Estados Unidos, los datos de 2011 y 2012 muestran que el 16,9% (95% de intervalo de confianza [IC], 14,9-19,2%) de los jóvenes norteamericanos de 2 a 19 años de edad son obesos (168), y aunque los datos de la prevalencia en la infancia parezcan estar entrando en una meseta, el número de niños obesos o con sobrepeso se mantiene elevado (168). Aunque el tratamiento de la obesidad infantil sea complejo, parece que los jóvenes obesos se benefician del entrenamiento resistido, porque no es exigente para el sistema aeróbico y brinda una oportunidad a todos los participantes de experimentar el éxito y sentirse bien con su rendimiento.

Además de la elevada prevalencia de la obesidad infantil, otras tendencias seculares en la capacidad muscular de los jóvenes son preocupantes respecto a los que emprenden deportes organizados y actividades recreativas. Por ejemplo, los estudios de investigación señalan que, en las diversas cohortes de niños en edad escolar, ciertos valores de la fuerza muscular (p. ej., colgarse con los brazos flexionados, fuerza de prensión manual) (36, 152, 189) y competencias de destreza motora (96, 189) han mostrado una disminución en los últimos años. Por tanto, aunque todos los jóvenes atletas aspirantes probablemente se beneficien del acondicionamiento físico preparatorio con entrenamiento resistido incluido, parece que los que probablemente se beneficien más sean los que estaban menos en forma al empezar.

Si bien el entrenamiento resistido no influye en el máximo genotípico, probablemente tenga una influencia favorable sobre el crecimiento en cualquier estadio de desarrollo, siempre y cuando se sigan unas pautas apropiadas (10, 72). De hecho, está demostrado que la participación habitual en un programa de ejercicio que incluya un entrenamiento resistido y actividad física en carga mejora la densidad mineral ósea de niños y adolescentes (139, 153, 166). Respaldan estas observaciones datos obtenidos con halterófilos adolescentes de elite que entrenaban con regularidad usando grandes pesos mientras practicaban ejercicios poliarticulares y que presentaron niveles de densidad ósea muy por encima de los controles de la misma edad (40, 216). Estos datos tal vez sean especialmente importantes para las chicas, pues corren un mayor riesgo de desarrollar **osteoporosis** en

fases posteriores de su vida, una afección clínica caracterizada por una masa ósea baja y por un aumento de la susceptibilidad a las fracturas.

También se ha sugerido que la participación regular en un programa de acondicionamiento físico de pretemporada que incluya entrenamiento resistido tal vez aumente la resistencia a las lesiones de los jóvenes atletas (52, 103). Todos los años se producen millones de lesiones durante la participación deportiva de niños y adolescentes estadounidenses (146), y se ha calculado que más del 50% de las lesiones por uso excesivo sufridas por niños se podrían prevenir con medidas sencillas, como la formación de los instructores deportivos, el acondicionamiento físico preparatorio y el diferimiento de la especialización (144, 212). Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico desempeñan un papel capital en la preparación de los jóvenes atletas para el deporte y, de ese modo, reducir al mínimo o diferir la incidencia y gravedad de las lesiones deportivas corrientes entre los jóvenes atletas. En muchos casos, los jóvenes de hoy en día que se inscriben en programas de deportes organizados están en baja forma y poco preparados para afrontar las exigencias del deporte elegido.

Aunque algunos entrenadores arguyen que una temprana especialización deportiva es clave para el éxito, es probable que los jóvenes que practican un solo deporte o que se especializan en una posición a edad temprana corran un riesgo mayor de desarrollar desequilibrios musculares, lesiones por uso excesivo, sobreentrenamiento y posiblemente agotamiento físico o mental (2, 21, 49, 212). Además, parece que la especialización tardía y la participación en diversos deportes y actividades durante la infancia tal vez permitan una mejor relación con el éxito deportivo años después (2, 79, 134, 151). Aunque la eliminación total de las lesiones deportivas entre los jóvenes sea una meta poco realista, la adición de entrenamiento resistido al programa de acondicionamiento físico de pretemporada para jóvenes tal vez los prepare mejor para afrontar la duración y magnitud de fuerzas imprevistas en los entrenamientos y en las situaciones del juego (35, 66, 103). Debido a las diferencias individuales en la tolerancia al esfuerzo, hay que prescribir cuidadosamente la intensidad, volumen y ritmo de progreso del entrenamiento resistido, ya que este tipo de entrenamiento se suma a los esfuerzos repetitivos crónicos que se imponen al sistema musculoesquelético de los jóvenes. Una correcta progresión y la variación del programa potenciarán las mejoras, prevendrán el aburrimiento y reducirán el estrés que tal vez derive en sobreentrenamiento. Además, las estrategias de recuperación

adecuadamente planificadas (p. ej., un período adecuado de recuperación activa, una comida o aperitivo después del ejercicio y un sueño adecuado) ayudan a potenciar al máximo las adaptaciones al entrenamiento. Por ejemplo, los estudios de investigación demuestran que los atletas jóvenes responden más favorablemente a una combinación de recuperación activa y terapia de inmersión en agua fría en comparación con regímenes pasivos después del ejercicio, como estiramientos y elevación de las piernas (117).

Como muchos deportes tienen un componente significativo de fuerza o potencia, es fácil asumir que el entrenamiento resistido mejore el rendimiento atlético. Aunque los comentarios de padres y niños respalden esta contención, los informes científicos sobre este tema son limitados. Se han observado mejoras en ciertas destrezas motoras seleccionadas, como el salto de longitud, el salto de altura, los 30 m lisos y la carrera de agilidad, en niños que participaron en un programa de entrenamiento resistido entre 8 y 20 semanas (13, 55, 73, 127, 167, 220). Aunque solo unos pocos informes hayan aportado evaluaciones directas de los efectos del entrenamiento resistido de los jóvenes sobre el rendimiento deportivo (18, 24, 78), un programa eficaz de entrenamiento resistido logrará con toda probabilidad cierto grado de mejora del rendimiento deportivo de los atletas jóvenes (85, 86, 97, 180).

Riesgos potenciales y precauciones

Los programas de entrenamiento resistido para jóvenes correctamente prescritos son relativamente seguros en comparación con otros deportes y actividades en que participan habitualmente niños y adolescentes (95). Paradójicamente, parece que las fuerzas impuestas a las articulaciones de los jóvenes atletas durante la participación deportiva tal vez sean mucho mayores y más difíciles de anticipar que las generadas por los programas de entrenamiento resistido (66). La creencia de que este entrenamiento es peligroso para los niños no es coherente con las necesidades de los niños ni con los riesgos documentados y asociados con este tipo de entrenamiento. Hay niños que se han lesionado en la sala de pesas; sin embargo, tales lesiones son más probablemente accidentales en los niños (158) y suelen ocurrir en casos en que los niveles de supervisión e instrucción, la competencia técnica y las cargas del entrenamiento son inapropiados (66). Esto pone de relieve la necesidad de que los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico sigan unas pautas de seguridad cuando trabajan con poblaciones jóvenes. Aunque se han documentado fracturas de las láminas

epifisarias en adolescentes que seguían un programa de entrenamiento resistido, estos informes fueron estudios de casos y habitualmente implicaron la ejecución de levantamientos por encima de la cabeza de grandes cargas y en un entorno sin supervisión (90, 187, 189). No se han registrado fracturas de las láminas epifisarias en ningún estudio prospectivo del entrenamiento resistido de jóvenes que cumplieron las pautas establecidas para entrenar (66). Digno de destacar es que la prueba de 1 repetición máxima (1RM) con niños y adolescentes ha demostrado ser segura, siempre y cuando se sigan las pautas apropiadas para su ejecución (es decir, períodos adecuados de calentamiento, progresión individual de las cargas y una estrecha supervisión) (61, 65, 100, 123, 192). Si niños y adolescentes aprenden a seguir correctamente un entrenamiento resistido y entienden sus pautas y procedimientos, el riesgo de fractura de las láminas epifisarias será mínimo.

Consideraciones para el diseño de programas para niños

Es importante considerar el entrenamiento resistido como parte de un programa de ejercicio bien facetado para los niños y que también aborda otros objetivos de la condición física. Aunque no haya una edad mínima para la participación en programas de entrenamiento resistido para jóvenes, los niños deben tener suficiente madurez emocional para recibir y cumplir instrucciones y deben querer probar este tipo de actividad (129, 157). No es obligatorio un examen médico previo a la participación en el caso de niños aparentemente saludables; sin embargo, se debe hacer un examen discriminatorio para descartar lesiones o afecciones que puedan limitar o impedir una segura participación en un programa de entrenamiento resistido (2). Las metas de los programas de entrenamiento resistido para jóvenes no se deben limitar a aumentar la fuerza muscular, sino también a que los niños adquieran conocimientos sobre el cuerpo humano, favoreciendo el interés por la actividad física, enseñando las reglas de etiqueta en las salas de pesas y acostumbrando a pasarlo bien. Parece probable que los niños que disfrutan de las actividades físicas y del deporte tengan más posibilidades de ser activos en fases posteriores de su vida (208).

¿Cómo reducir el riesgo de lesiones por uso excesivo entre los jóvenes?

- Antes de plantear una participación organizada o recreativa, un especialista en medicina del deporte tiene que evaluar a los niños y adolescentes con el fin de identificar la existencia de cualquier problema médico.
- Hay que enseñar a los padres los beneficios y riesgos del deporte de competición, y deben entender la importancia del acondicionamiento físico como preparación para los jóvenes aspirantes a atletas.
- Hay que animar a niños y adolescentes a participar en programas de entrenamiento a largo plazo con tiempo suficiente de recuperación entre temporadas para prepararles adecuadamente para las exigencias del deporte y las actividades físicas.
- Los programas de entrenamiento deben ser multidimensionales e incorporar elementos del entrenamiento resistido, destrezas de movimiento fundamentales, velocidad, desarrollo de la agilidad y los ejercicios pliométricos, y estabilización dinámica. Adicionalmente, estos programas deben variar en tipo, volumen e intensidad durante el año y cumplir las necesidades específicas de cada niño en particular.
- Los entrenadores de jóvenes deben aplicar estrategias de recuperación bien planificadas entre sesiones duras y competiciones con el fin de mejorar la recuperación y permitir que se produzcan los procesos de crecimiento y maduración. Este método ayudará a reducir las posibilidades de sobreentrenamiento y cansancio físico y mental de los jóvenes.
- Todos los jóvenes seguirán hábitos de vida saludables (nutrición correcta, buena hidratación y calidad de sueño).
- Los entrenadores de jóvenes participarán en programas continuos para su desarrollo profesional con el fin de aprender más sobre acondicionamiento físico, destrezas deportivas, reglas de seguridad, equipamiento y necesidades psicosociales de los niños, y la fisiología del crecimiento y desarrollo.
- Los entrenadores deben apoyar y favorecer que todos los niños y adolescentes participen, pero sin presionarles en exceso ni por encima de su nivel y capacidades. El bienestar de los niños será siempre prioritario.
- Se animará a los niños a participar en diversos deportes y actividades, y se retrasará una temprana especialización deportiva, hasta la adolescencia si es posible.

Dos áreas importantes de interés en el desarrollo de programas de entrenamiento resistido para jóvenes son la calidad de la instrucción y el ritmo de progresión. Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico deben tener un profundo conocimiento de las pautas del entrenamiento resistido para jóvenes, así como el deseo de enseñar la técnica correcta de los ejercicios, amén de destrezas pedagógicas para hablar con los niños a un nivel que comprendan (59, 129). Los profesionales restarán importancia a la competición entre participantes y se centrarán en la técnica correcta y no en el peso levantado. El uso de diarios de entrenamiento individualizados ayudará a que los niños entiendan el concepto de la progresión individual. Aunque aumentar la resistencia y el número de series sea necesario para obtener mejoras continuas, eso no significa que cada sesión tenga que ser más

intensa o de mayor volumen que la anterior. Aunque sea importante mantener a los chicos interesados en el programa y que les plantee un reto, también hay que brindarles la oportunidad de desarrollar la técnica correcta de ejecución. Cuando se trabaje con jóvenes, es importante centrarse en factores intrínsecos, como mejorar las destrezas, alcanzar éxitos personales y divertirse.

Aunque solo dispongamos de datos limitados sobre la relación entre las repeticiones y los porcentajes seleccionados de 1RM en los niños, parece que el número de repeticiones que se pueden practicar con un porcentaje dado de 1RM es específico del ejercicio dado (69). Por tanto, el umbral de fuerza mínimo, expresado como porcentaje de 1RM, tal vez varíe según los grupos de músculos, posiblemente debido a la cantidad de masa muscular implicada en cada ejercicio. Aunque los médicos han usado con seguridad la prueba de 1RM para determinar los niveles de fuerza de los jóvenes en el marco de la investigación y en el ámbito deportivo, donde esto no es posible (quizá debido a la falta de tiempo, al tamaño de las clases o a la falta de un entrenador experimentado) existen medios alternativos para evaluar la fuerza. Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico usan ecuaciones predictivas para calcular las cargas de 1RM a partir de múltiples repeticiones submáximas (p. ej., 5RM o 10RM) (129). Sin embargo, los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico deben tener en cuenta que tales métodos tal vez aumenten el riesgo para los niños debido al efecto acumulativo que el cansancio tiene sobre la correcta ejecución de múltiples repeticiones. Con el fin de encontrar una medición alternativa de la fuerza muscular sin usar métodos que incluyan repeticiones máximas, los profesionales podrían recurrir a mediciones de campo de distintos protocolos de salto (salto de altura o salto de longitud) o la fuerza de prensión manual, dado que tales mediciones han demostrado mantener, en el caso de los jóvenes, una correlación significativa con los valores de 1RM (30, 149). Con independencia del protocolo usado para medir la fuerza, el niño o adolescente debe ser capaz de ejecutar y mantener una competencia técnica correcta durante toda la prueba bajo la atenta mirada de un profesional cualificado.

Los ejercicios poliarticulares avanzados, como la arrancada y el dos tiempos, se pueden incorporar al programa en el momento apropiado (es decir, después de haber completado progresiones preparatorias de la fuerza y la técnica), pero el interés primario debe ser desarrollar la forma y técnica correctas (25, 67). Una técnica defectuosa generará un estrés anormal en los

tejidos musculoesqueléticos y quizá derive en lesiones. La resistencia disminuirá si no es posible mantener la técnica correcta de los ejercicios. Al aprender nuevos ejercicios, los niños deben practicar con una haltera sin discos de pesas, con una vara larga de madera o con una tubería de PVC para aprender la técnica correcta. La importancia de una retroalimentación correcta nunca se puede sobreestimar en este estadio del desarrollo para garantizar la facilitación del desarrollo de destrezas. El entrenamiento de jóvenes debe consistir en una graduación y evaluación regulares del rendimiento técnico de distintos ejercicios a cargo de un observador especializado, en oposición a una sencilla evaluación de las mediciones del rendimiento (como la carga levantada o la velocidad de movimiento) (60). Tal método se puede usar para formar de manera continuada a jóvenes halterófilos sobre la técnica correcta de los ejercicios, para aumentar la conciencia sobre los errores técnicos habituales, y para ofrecer a entrenadores y profesores una herramienta con que evaluar el aprendizaje durante las prácticas o la educación física. En el recuadro aparece un resumen de las pautas del entrenamiento resistido.

Mujeres atletas

Las mujeres que participan con regularidad en actividades de entrenamiento resistido mejoran su salud, reducen el riesgo de enfermedades degenerativas (p. ej., osteoporosis) y las tasas de lesiones, y mejoran su rendimiento deportivo en general. Si bien en el pasado las mujeres tal vez se preguntasen por el valor del entrenamiento resistido o incluso evitasen este tipo de ejercicio por culpa de estigmas sociales, la evidencia revela claramente que las mujeres son capaces de tolerar y adaptarse a los esfuerzos del ejercicio resistido y que los beneficios son sustanciales (122, 161). Por lo demás, para mejorar la salud y la condición física y reducir las tasas de lesiones, ahora se sugiere que el entrenamiento resistido sea un componente esencial de cualquier programa de entrenamiento que sigan las mujeres (155, 159, 204).

Diferencias sexuales

Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico tienen que conocer y entender las diferencias vinculadas al sexo en el físico, la composición corporal y las respuestas fisiológicas al ejercicio resistido a la hora de diseñar y evaluar los programas de entrenamiento resistido para

mujeres. Conocer estas diferencias y las áreas de interés que son exclusivas de las atletas ayuda a mejorar el rendimiento y a reducir el riesgo de lesiones vinculadas con el deporte.

Tamaño y composición corporales

Antes de la pubertad no hay diferencias esenciales en la altura, peso y tamaño corporal entre niños y niñas. Al iniciarse y avanzar la pubertad, las discrepancias antropométricas vinculadas al sexo se vuelven más evidentes, sobre todo por los cambios hormonales. Durante la pubertad, la producción de estrógeno en las chicas aumenta la deposición de grasa y el desarrollo de las mamas, mientras que la producción de testosterona en los chicos aumenta la formación de hueso y la síntesis de proteínas. Aunque el estrógeno también estimula el crecimiento óseo, los chicos tienen un período de crecimiento más largo e inician la pubertad en un estadio posterior, y, por tanto, los hombres adultos tienden a alcanzar una mayor altura general que las mujeres adultas. Como media, las mujeres adultas tienen más grasa corporal, menos músculo y menos densidad mineral ósea que los hombres adultos. Además, las mujeres suelen tener menos peso corporal que los hombres. Aunque algunas atletas presentan un porcentaje de grasa más bajo que los hombres no entrenados, porcentajes de grasa acusadamente bajos en mujeres tal vez se asocien con consecuencias adversas para la salud (171, 221). Las mediciones antropométricas de los adultos revelan que los hombres tienden a presentar hombros más anchos respecto a las caderas, y las mujeres tienden a mostrar caderas más anchas respecto a la cintura y los hombros. Los hombros más anchos de los hombres les permiten contener más tejido muscular y también proporcionan una ventaja mecánica a los músculos que actúan en el hombro.

Pautas del entrenamiento resistido para niños

- Todos los niños deben comprender los beneficios y riesgos asociados con el entrenamiento resistido.
- Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico que sean competentes y cuidadosos deben diseñar y supervisar las sesiones de entrenamiento.
- El entorno en que se practican los ejercicios debe ser seguro y libre de peligros, y el equipamiento se debe ajustar al tamaño de cada niño.
- Los ejercicios dinámicos de calentamiento se practicarán antes del entrenamiento resistido.
- Cuando sea apropiado, los ejercicios de estiramientos estáticos se practicarán después del entrenamiento resistido.

- Se monitorizará cuidadosamente la tolerancia de cada chico al esfuerzo del ejercicio.
- Se empezará con cargas ligeras que permitan establecer ajustes apropiados.
- Se aumentará gradualmente la resistencia (p. ej., del 5% al 10%) a medida que mejore la técnica y la fuerza.
- Dependiendo de las necesidades y objetivos individuales, se practicarán de una a tres series de 6 a 15 repeticiones de diversos ejercicios monoarticulares y poliarticulares.
- Los ejercicios poliarticulares avanzados, como la arrancada y el dos tiempos, tal vez se incorporen al programa, siempre y cuando se usen cargas apropiadas y la competencia técnica sea un resultado clave.
- Se recomiendan dos o tres sesiones de entrenamiento no consecutivas por semana; sin embargo, los jóvenes con más experiencia de entrenamiento podrán participar en sesiones de entrenamiento resistido más frecuentes por semana.
- Cuando sea necesario, los vigilantes adultos estarán próximos para ayudar activamente a los niños en el caso de una repetición fallida.
- El programa de entrenamiento resistido se periodizará sistemáticamente a lo largo del año para asegurarse de que el niño o adolescente se expone a un estímulo de entrenamiento variado y secuenciado con recuperación y descansos apropiados entre ciclos de entrenamiento.

Fuente: Adaptado, con autorización, de Faigenbaum, A. *et al*. (1996). Youth resistance training position statement paper and literature review. *Strength and Conditioning* 16(6):71.

Producción de fuerza y potencia

Al comparar los cambios inducidos por el entrenamiento en la fuerza muscular entre sexos, es importante distinguir entre mediciones absolutas y relativas. En términos de fuerza absoluta, las mujeres suelen tener unos dos tercios de la fuerza de los hombres (124). La fuerza absoluta del hemicuerpo inferior de las mujeres se aproxima más a los valores de los hombres, en comparación con los valores absolutos de la fuerza del hemicuerpo superior. Las diferencias vinculadas con el sexo en la composición corporal, las características antropométricas y la distribución de la masa magra (las mujeres suelen tener menos masa muscular por encima de la cintura) explican en parte estas diferencias vinculadas con el sexo, que son aparentes en personas que siguen un entrenamiento recreativo así como en atletas muy entrenados (17).

Al estudiarse sobre una base relativa, las diferencias de la fuerza muscular vinculadas con el sexo se reducen mucho. Como los hombres y las mujeres normales difieren considerablemente en el tamaño corporal, es útil comparar las diferencias motivadas por el sexo en la fuerza respecto al peso corporal, la masa magra y el área transversal del músculo. Cuando se expresa respecto al peso corporal, la fuerza del hemicuerpo inferior de las mujeres es parecida a la de los hombres, mientras que la fuerza del hemicuerpo superior de aquellas

sigue siendo un tanto inferior (105). Si se establecen comparaciones respecto a la masa magra, las diferencias de fuerza entre hombres y mujeres tienden a desaparecer (105). Merece la pena reparar en que hay datos limitados que sugieren que la fuerza excéntrica tal vez sea más parecida entre hombres y mujeres que la fuerza concéntrica en comparación con la masa magra (37, 196).

Cuando la fuerza se expresa respecto al área transversal del músculo, no existe ninguna diferencia significativa entre ambos sexos, lo que revela que la calidad del músculo (pico de fuerza por área transversal) no es específica del sexo (29, 148). Aunque las fibras musculares de hombres y mujeres también sean parecidas en cuanto a la distribución y características histoquímicas de los tipos de fibras, los hombres suelen tener un área transversal de las mismas más grande que las mujeres. Pese a la importancia de estas observaciones, los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico tienen que recordar que hay un amplio abanico de capacidades de la fuerza y que en algunos casos las diferencias entre dos mujeres (o dos hombres) son mayores que las diferencias entre un hombre y una mujer.

En términos de fuerza absoluta, las mujeres son por lo general más débiles que los hombres por la menor cantidad de músculo. Respecto al área transversal del músculo, las diferencias de fuerza entre sexos se reducen, lo que indica que la calidad del músculo no es específica del sexo.

Las diferencias vinculadas al sexo respecto a la producción de potencia son parecidas a las de la fuerza muscular. Las mediciones que comparan la producción de potencia de los halterófilos competitivos revelan que, durante el movimiento de tracción completo de la arrancada y la cargada, la producción de potencia de las mujeres respecto al peso corporal total es alrededor del 63% de la de los hombres (83). Se obtuvieron datos parecidos sobre la producción de potencia en mujeres presumiblemente no entrenadas (118). Los valores máximos en el salto vertical y el salto de longitud sin carrerilla también tienden a ser menores en las mujeres que en los hombres (38, 45, 137); sin embargo, cuando se expresan respecto a la masa magra, la distancia entre ambos sexos tiende a estrecharse. Aunque los hombres siguen rindiendo mejor en general que las mujeres, parece que las diferencias en la masa magra no son responsables por completo de las observadas en la producción de potencia. Aunque los datos sean equívocos, las diferencias vinculadas con el sexo en la tasa de desarrollo de la fuerza (182, 183) y en la

estrategia de reclutamiento de la activación muscular (173) podrían explicar en parte estos datos (191).

Entrenamiento resistido para mujeres atletas

A pesar de las diferencias vinculadas con el sexo, hombres y mujeres responden de forma parecida al ejercicio resistido a partir de los niveles basales previos al entrenamiento. Aunque tal vez difieran un tanto las magnitudes de los cambios en las variables elegidas, las tendencias generales sugieren que el valor del ejercicio resistido de las mujeres se extiende mucho más allá de un aumento de la fuerza muscular e incluye cambios favorables en otras mediciones importantes de la salud y la forma física (122).

Grado de reacción de las mujeres al entrenamiento resistido

Mediante la participación en un programa de entrenamiento resistido, las mujeres aumentan aparentemente su fuerza al mismo ritmo que los hombres o más rápido. Aunque las mejoras absolutas de la fuerza a menudo sean mayores en los hombres, los incrementos relativos (porcentaje) son casi iguales o mayores en las mujeres (156). Sin embargo, esto tal vez refleje que los niveles neuromusculares de referencia son menores como media en las mujeres (156). Aunque las adaptaciones del sistema nervioso contribuyen claramente al desarrollo de la fuerza, no se debería pasar por alto la influencia de los factores hipertróficos en las mujeres. Cuando se usan técnicas sofisticadas (p. ej., tomografía computarizada) para medir con precisión los cambios en el área transversal del músculo, las mejoras relativas a corto plazo (hasta 16 semanas) de la hipertrofia muscular son parecidas entre ambos sexos (43, 93).

A juzgar por el desarrollo muscular de las halterófilas, fisioculturistas y practicantes de atletismo que no han consumido esteroides anabólicos, es evidente que la hipertrofia muscular es posible en las mujeres que participan habitualmente en programas de entrenamiento de alto volumen y alta intensidad, aunque estas mejoras sean menores que en los hombres. Aunque se precisan nuevos estudios, es posible que las concentraciones de testosterona en las mujeres varíen con el entrenamiento y que las mujeres con niveles relativamente elevados de testosterona tal vez tengan más capacidad potencial para experimentar un aumento del tamaño y fuerza musculares (42, 94). Por otra parte, es posible que la complejidad del movimiento del

ejercicio usado durante el entrenamiento influya en el grado de hipertrofia muscular (33). Los movimientos poliarticulares más complejos como la sentadilla, el dos tiempos y la arrancada (en comparación con ejercicios monoarticulares como las flexiones de bíceps) quizá requieran un período de adaptación neuronal relativamente más largo, con lo cual se difiere la hipertrofia muscular del tronco y las piernas (33). La disposición genética al desarrollo de una gran masa muscular también es un factor concurrente (201).

Tríada de las deportistas

Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico que trabajan con mujeres atletas deben ser conscientes de las posibles consecuencias negativas para la salud asociadas con la **tríada de las deportistas** (6). La tríada, que hace referencia a las interrelaciones entre la disponibilidad de energía, la menstruación y la densidad mineral ósea, es un riesgo para la salud de las atletas que entrenan durante períodos prolongados de tiempo con una ingesta calórica insuficiente para cubrir el elevado gasto de energía del entrenamiento y las adaptaciones (6, 47). En casos en que la disponibilidad de energía de las atletas es baja (debido a los elevados volúmenes o intensidad del entrenamiento, o a ambos, y a una ingesta dietética insuficiente), es más probable que haya casos de osteoporosis (47). Además del mayor riesgo de osteoporosis, el bajo nivel de energía también puede derivar en trastornos menstruales subclínicos. **Amenorrea** se define como la ausencia del ciclo menstrual durante más de tres meses seguidos (6) y es causada por una reducción de la frecuencia de secreción de la hormona luteinizante por la hipófisis. La amenorrea puede influir negativamente en la salud y bienestar de las mujeres, siendo las fracturas por sobrecarga, las complicaciones endocrinas y gastrointestinales y los decrementos del rendimiento deportivo más habituales en las mujeres que experimentan una prolongada supresión de la función menstrual (47).

El entrenamiento resistido ofrece multitud de beneficios a las mujeres, como la atenuación del declive de la densidad mineral ósea por la edad (116). Específicamente, el esfuerzo de la carga mecánica aplicada mediante el entrenamiento resistido aumenta directamente la magnitud de la remodelación esquelética y, por tanto, de la masa ósea. Los datos muestran que en las mujeres el entrenamiento resistido aumenta la densidad mineral ósea de diversas regiones esqueléticas del cuerpo (116). También se sabe que mayores intensidades en el entrenamiento resistido favorecen mayores grados

de osteogénesis (133), y que la preadolescencia es un momento oportuno para participar en actividades en carga que mejoren la densidad mineral ósea (91, 104).

Sin embargo, al prescribir programas de entrenamiento resistido para mujeres, los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico deben asegurarse de que la ingesta nutricional respalda la prescripción de ejercicio con el fin de estimular la adaptación y facilitar la recuperación. Por ejemplo, una mediofondista que no consuma suficientes niveles de calcio, vitamina D y proteínas tal vez corra el riesgo de entrar en un equilibrio energético negativo y experimente un inicio precoz de la tríada de las deportistas. Las atletas que se considera que corren riesgo de sufrir déficits nutricionales se deberían someter a una evaluación nutricional por parte de un dietista colegiado y especializado en nutrición para el deporte (47). Hay que reparar en que una ingesta insuficiente de energía tal vez simplemente refleje una falta inadvertida de impulso biológico para cubrir el gasto de energía inducido por la actividad, o podría atribuirse a trastornos de la conducta alimentaria que son más prevalentes en las atletas (6). Las mujeres con alto riesgo de sufrir este tipo de trastornos probablemente sean las que practican deportes o actividades que se basan en un tipo de puntuación subjetivo basado en valores estéticos (p. ej., la danza y la gimnasia rítmica); en tales casos, estas mujeres se deberían derivar a profesionales médicos y dietistas especializados.

Consideraciones sobre el diseño de programas para mujeres

Como las características fisiológicas del músculo son iguales en ambos sexos, no hay razón por la que los programas de entrenamiento resistido para mujeres tengan que ser distintos de los de los hombres. De hecho, como los grupos musculares implicados en un deporte o actividad física son evidentemente los mismos para hombres y mujeres, los programas de entrenamiento resistido se diseñarán con el fin de mejorar el rendimiento de los músculos necesarios para el éxito deportivo y para las actividades diarias, con independencia del sexo. La única diferencia real entre los programas de entrenamiento para hombres y mujeres suele ser el grado de resistencia absoluta de cada ejercicio, puesto que se basa en la capacidad individual de cada persona. Es especialmente importante que las atletas jóvenes practiquen

con regularidad algún tipo de ejercicio resistido para alcanzar en la edad adulta su potencial genético de fuerza y potencia musculoesqueléticas. Los datos registrados según los cuales gimnastas femeninas de elite son capaces de completar 40 mentones y halterófilas competitivas pueden levantar dos veces el peso de su cuerpo en dos tiempos demuestran que es posible.

Desarrollo de la fuerza del hemicuerpo superior

Dos áreas de interés respecto a la prescripción de programas de entrenamiento resistido para mujeres guardan relación con el desarrollo de la fuerza del hemicuerpo superior y con la prevención de lesiones deportivas, sobre todo las que afectan a la rodilla. Como la fuerza absoluta del hemicuerpo superior de las mujeres tiende a ser inferior a la de los hombres (122), hacer hincapié en el desarrollo de este es especialmente valioso para las atletas que practican deportes que exigen fuerza y potencia de la parte superior del cuerpo. La adición de uno o dos ejercicios para este hemicuerpo o una o dos series extra tal vez sea beneficioso para las mujeres que tienen problemas en la ejecución de ejercicios poliarticulares con pesas libres (p. ej., movimientos variados, parciales y completos, de la arrancada y la cargada) debido a las limitaciones de la fuerza del hemicuerpo superior. Las atletas se beneficiarán al incorporar diversos movimientos derivados de la halterofilia, como la arrancada, la cargada y otros, en sus programas de entrenamiento porque las adaptaciones derivadas de estos ejercicios poliarticulares ejecutados con una gran masa muscular se transfieren bien al rendimiento en actividades deportivas y recreativas. Además, el coste calórico de practicar estos levantamientos puede ser relativamente alto (84), lo que ayuda a mantener una composición corporal saludable.

Lesiones del ligamento cruzado anterior en la mujer

Es importante que los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico sean conscientes del aumento de la incidencia de lesiones de rodilla en las atletas, sobre todo en deportes como el fútbol y el baloncesto (6, 34, 73). Según varios informes, las atletas corren un riesgo seis veces mayor de sufrir la rotura del **ligamento cruzado anterior (LCA)** que los atletas masculinos (39, 102, 111, 147, 160). Sobre la base de estos hallazgos, algunos observadores sugieren que hay que esperar anualmente más de 15.000 lesiones de rodilla debilitantes entre las deportistas universitarias (103).

Aunque es posible que el número creciente de lesiones de rodilla simplemente reflejen un aumento de la participación de las mujeres en deportes organizados, otros han sugerido la existencia de factores responsables. Es posible que la laxitud articular, la alineación de las extremidades, la interacción entre zapatillas y suelo, el nivel de destreza técnica, los cambios hormonales, el uso de tobilleras y los déficits en el entrenamiento contribuyan a la diferencia observada en el número de lesiones de rodilla entre los atletas y las atletas (9, 101, 150, 194, 224). Aunque factores anatómicos y hormonales tal vez contribuyan al aumento del riesgo de lesiones del LCA en las mujeres, se cree que el factor causante más significativo es un déficit neuromuscular, que termina causando una anomalía biomecánica (aumento del valgo dinámico de la rodilla al entrar en contacto el pie con el suelo) (159). Las evidencias sugieren que, con el fin de reducir el riesgo de lesión del LCA, las jóvenes deben participar en programas preparatorios de acondicionamiento físico antes de la pubertad para potenciar las adaptaciones al entrenamiento (159). Para reducir el riesgo de lesión es aconsejable la práctica de un programa de acondicionamiento físico bien equilibrado (que incluya entrenamiento resistido, pliometría y entrenamiento de la agilidad y el equilibrio), el cual haya sido diseñado y aplicado por un profesional cualificado, para fortalecer el músculo y los tejidos conjuntivos, así como para mejorar el control neuromuscular de la articulación de la rodilla antes de la participación deportiva (1). Como la mayoría de las lesiones del LCA de las mujeres ocurren por mecanismos sin contacto (p. ej., desaceleración, giro o aterrizaje laterales [20]), la participación regular en un programa de acondicionamiento diseñado para mejorar la fuerza de las estructuras sustentantes y el aumento del control neuromuscular de la articulación de la rodilla tal vez reduzcan el número de lesiones deportivas (52, 103). Es importante, asimismo, que las atletas consuman suficiente energía y se haga hincapié en la calidad de las proteínas y en el consumo de grasas saludables dentro de un plan dietético bien diseñado con el fin de potenciar las adaptaciones al entrenamiento (47). Aunque se necesiten ensayos clínicos adicionales para determinar el mejor método para reducir la incidencia de lesiones del LCA en las atletas y mejorar el cumplimiento de estos protocolos de entrenamiento, las estrategias enumeradas en el cuadro podrían resultar eficaces.

¿Cómo pueden las atletas reducir el riesgo de lesión

del ligamento cruzado anterior?

Para que las atletas reduzcan el riesgo de lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA), los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico deberían hacer lo siguiente:

- Recomendar que se sometan a un examen antes de la participación deportiva a cargo de un médico. Dicho examen debería incluir la identificación de factores de riesgo de lesionarse, además de pruebas musculoesqueléticas.
- Animar a las atletas a participar en un programa de acondicionamiento físico durante todo el año que comprenda pliometría y entrenamiento de la tolerancia física, la velocidad, la agilidad y la flexibilidad. Este programa debe cubrir las necesidades específicas de cada mujer atleta e ir avanzando siguiendo una periodización que permita que se manifiesten continuamente las adaptaciones al entrenamiento.
- Garantizar que las atletas aprendan y puedan ejecutar repetidamente la mecánica correcta de los movimientos (p. ej., salto, aterrizaje, giro y recorte) en diversos entornos.
- Antes de toda sesión de ejercicio realizar un calentamiento dinámico general y un calentamiento específico usando movimientos que se parezcan a los implicados en la actividad y que provoquen la activación de los grupos musculares clave (p. ej., grupos musculares de la cadena posterior).
- Proporcionar retroalimentación suplementaria con las sesiones de entrenamiento para optimizar la transferencia de las destrezas y mejorar la biomecánica relacionada con las lesiones del LCA.
- Alentar a las niñas a participar en programas para la prevención de lesiones (que incluyan entrenamiento de resistencia progresiva para desarrollar componentes de la condición física vinculados con la salud y las destrezas); una temprana intervención parece aumentar la eficacia de estos programas (159).
- Recomendar que las atletas lleven ropa y calzado apropiados durante los entrenamientos y los partidos.

Adultos mayores

El número de hombres y mujeres de más de 65 años está creciendo y parece que los atletas mayores tienen ahora más oportunidades para la participación deportiva, desde correr maratones hasta levantar pesas. Aunque la capacidad cardiovascular y la fuerza muscular de los competidores mayores o de los atletas de categoría máster son realmente excepcionales, incluso los atletas más entrenados experimentan un declive en el rendimiento pasados los 30 años de edad. Por ejemplo, ha quedado demostrado que la capacidad competitiva en la halterofilia declina con la edad a un ritmo aproximado del 1-1,5% al año hasta aproximadamente los 70 años, pasado lo cual se produce un declive más brusco (140). Los atletas mayores que no practican ninguna actividad física suelen experimentar un mayor decremento de varias mediciones del rendimiento físico y un aumento del riesgo de sufrir lesiones debilitadoras (174). Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento

físico deben conocer los cambios fisiológicos que ocurren con la edad y el grado de entrenabilidad de las personas mayores. Además, hay que tener en cuenta los riesgos potenciales para la salud asociados con la actividad física de las personas mayores.

Cambios de la salud musculoesquelética relacionados con la edad

Los cambios significativos en la composición corporal que se producen a edades avanzadas pueden provocar la aparición de alteraciones funcionales físicas y también lesiones. La pérdida bien documentada de hueso y músculo con la edad no solo vuelve más difíciles actividades de la vida diaria como levantarse de una silla o abrir una ventana, sino que también aumenta el riesgo de sufrir caídas, fracturas y discapacidad a largo plazo (34, 105, 106). Los huesos se vuelven frágiles con la edad por una disminución del contenido mineral óseo que causa un aumento de su porosidad. El contenido mineral óseo y la microarquitectura del hueso se pueden deteriorar hasta tal grado que aumenta el riesgo de fractura ósea, sobre todo de la cadera, de la columna vertebral o de la muñeca durante las caídas (5). La **osteopenia** se define por una densidad mineral ósea con desviaciones estándar (DE) entre –1 y –2,5 de la media de los adultos jóvenes; la osteoporosis se define por una densidad mineral ósea con una DE inferior a –2,5 respecto de la media de los adultos jóvenes (112). Estas patologías, que degradan la densidad y resistencia de los huesos, son problemas graves para las personas mayores (especialmente las mujeres), pues elevan el riesgo de fractura esquelética y perjudican la salud de los huesos (5). La lenta pero progresiva pérdida de hueso con la edad se ha vinculado con la inactividad física y con factores hormonales, nutricionales, mecánicos y genéticos (51).

La edad avanzada también se asocia con la pérdida de masa y fuerza musculares, lo cual recibe el nombre de **sarcopenia** (5). La tomografía computarizada ha revelado que, pasados los 30 años de edad, se produce una disminución del área transversal de los músculos, de la densidad muscular y de la flexibilidad de los tendones, y un aumento de la grasa intramuscular (5, 107). Estos cambios parecen ser una consecuencia predecible de la edad avanzada y son más pronunciados en las mujeres (107). La atrofia muscular observada con el envejecimiento parece el resultado de la inactividad física y de una denervación gradual y selectiva de las fibras musculares (126, 181,

213). La disminución de la masa muscular causa una pérdida de fuerza muscular. Según un informe, el 40% de las mujeres entre 55 y 64 años, el 45% de las mujeres entre 65 y 74 años y el 65% de las mujeres entre 75 y 84 años no eran capaces de levantar 4,5 kg (110). La reducción del tamaño y número y la denervación gradual de las fibras musculares también deriva en una disminución de la capacidad de los músculos para generar potencia (es decir, para ejercer fuerza con rapidez) (11, 92, 181); de hecho, con el envejecimiento disminuye la potencia a un ritmo más rápido que la fuerza muscular (142). Como las actividades diarias requieren cierto grado de producción de potencia, la disminución de la capacidad de los músculos para producir fuerza con rapidez tal vez influya negativamente en la capacidad de los adultos mayores para practicar con seguridad actividades como subir escaleras y caminar. Factores que tal vez contribuyan al declive vinculado a la edad de la fuerza y la potencia musculares son reducciones de la masa muscular, cambios del sistema nervioso, cambios hormonales, nutrición deficiente e inactividad física (48, 98, 170). Las consecuencias funcionales de estos cambios relacionados con la edad son significativas debido a que la magnitud y ritmo del cambio influyen en la edad a la que una persona se vuelve funcionalmente dependiente (es decir, incapaz de realizar tareas domésticas o levantarse de una silla) o llegar a un umbral de discapacidad. En la tabla 7.1 aparece un resumen de las adaptaciones al envejecimiento y al entrenamiento resistido.

La edad avanzada se asocia con una pérdida de masa muscular, que en gran medida es atribuible a la inactividad física. Un resultado directo de la reducción de la masa muscular es la pérdida de fuerza y potencia musculares.

TABLA 7.1 Efectos del envejecimiento y el entrenamiento resistido

Variable física o fisiológica	Efecto del envejecimiento	Efecto del entrenamiento resistido
Fuerza muscular	Disminución	Aumento
Potencia muscular	Disminución	Aumento
Resistencia muscular	Disminución	Aumento
Masa muscular	Disminución	Aumento
Tamaño de las fibras musculares	Disminución	Aumento
Capacidad metabólica	Disminución	Aumento

muscular		
Índice metabólico en reposo	Disminución	Aumento
Grasa corporal	Aumento	Disminución
Densidad mineral ósea	Disminución	Aumento
Función física	Disminución	Aumento

Cambios de la función neuromotora vinculados con la edad

Las personas mayores son las que corren mayor riesgo de sufrir caídas, que tienen graves consecuencias económicas, psicosociales y para la salud, pues influyen negativamente en la calidad de vida en general. En concreto, las caídas pueden causar síndromes álgicos, luxaciones articulares, fracturas óseas, limitaciones para las actividades funcionales diarias y una pérdida de confianza en sí mismos (113). Las caídas también causan discapacidades permanentes, el internamiento en instituciones sanitarias y defunciones (26). Factores intrínsecos que aumentan el riesgo de caídas en personas mayores son los decrementos de la fuerza y potencia musculares (177) y las reducciones del tiempo de reacción (5), así como alteraciones del equilibrio y la estabilidad ortostática (188). La activación muscular antes (**preactivación**) e inmediatamente después (**cocontracción**) del contacto con el suelo es un mediador importante del frenado y de la estabilización dinámica de las personas jóvenes y mayores. El aumento de la preactivación ayuda a aumentar la rigidez de la extremidad usando reflejos de rápido estiramiento a fin de estar mejor preparados para que la extremidad entre en contacto con el suelo. La cocontracción es una estrategia de control motor que estabiliza dinámicamente la articulación; sin embargo, debido a la activación simultánea de los grupos de músculos agonistas y antagonistas que cruzan la misma articulación, los movimientos articulares netos y la producción de fuerza agonista se reducen (223). Los estudios de investigación demuestran que los adultos mayores dependen cada vez más de unos niveles más elevados de cocontracción muscular como mecanismo compensador para paliar unos problemas de equilibrio cada vez mayores y para evitar en lo posible el balanceo postural (164). Intuitivamente, estos estudios sugieren que los adultos mayores deberían emplear diversos modos de entrenamiento específicamente diseñados para evitar o paliar estas reducciones naturales de

la preactivación. Estos métodos son, entre otros, ejercicios pliométricos de baja intensidad, ejercicios de equilibrio y de estabilización dinámica, y entrenamiento de la propiocepción para desarrollar la capacidad de reacción con más eficacia al contacto con el suelo (88, 176).

Los estudios de investigación muestran que las intervenciones con actividad física son eficaces para mejorar la función neuromotora y para prevenir caídas en los mayores (209). No obstante, parece que solo con aumentar la actividad física *per se* no se previenen las caídas, sino que los mayores tienen que emprender y cumplir programas multidimensionales que incorporen elementos de resistencia y equilibrio (209). Además, las pautas sugieren, que al igual que sucede con cualquier otra población, los programas de entrenamiento para mayores deberían imponer una sobrecarga progresiva para que el entrenamiento genere un desafío; también se practicarán con cierta frecuencia para que los participantes experimenten una dosis suficiente de entrenamiento (209). Debemos reparar en que el entrenamiento resistido como método de entrenamiento por sí solo no parece prevenir el riesgo de caídas (197), pues parece que es necesario acompañarlo de un entrenamiento del equilibrio y la flexibilidad para conseguir el estímulo necesario para reducir el riesgo de caídas. No obstante, no se puede pasar por alto la relativa importancia y la capacidad del entrenamiento resistido para aumentar la fuerza y potencia musculares y la densidad mineral ósea, amén de sus muchos otros beneficios para la salud de los mayores.

Entrenamiento resistido para adultos mayores

El envejecimiento no parece mejorar ni reducir la capacidad del sistema musculoesquelético para adaptarse al ejercicio resistido. Se ha observado la aparición de mejoras significativas de la fuerza, potencia y masa musculares, de la densidad mineral ósea y de las capacidades funcionales (p. ej., la velocidad de la marcha) en adultos mayores que participaron en programas de entrenamiento resistido progresivo (5, 34, 106, 132). En el caso de los adultos mayores, estas mejoras potencian el rendimiento durante los ejercicios, disminuyen el riesgo de lesión, favorecen un estilo de vida independiente y mejoran la calidad de vida. Debido a los cambios relacionados con el envejecimiento en la salud musculoesquelética, el ejercicio resistido es un modo beneficioso de entrenamiento para la población mayor que necesita mejorar la fuerza y potencia musculares, así como afrontar los decrementos

de la masa muscular, de la densidad mineral ósea y de las capacidades funcionales. Los datos también muestran que la fuerza muscular es un factor importante para reducir la mortalidad de los mayores (41, 128).

Grado de reacción de las mujeres al entrenamiento resistido

Ha sido mucha la atención prestada a las estrategias para mejorar la salud musculoesquelética de las personas mayores. Debido al estado de desentrenamiento de muchos ancianos, es posible obtener cambios deseables en la función y fuerza musculares mediante diversos programas de entrenamiento resistido, sobre todo durante las primeras semanas de entrenamiento (82). Hombres mayores previamente sedentarios mostraron más del doble de fuerza en los músculos extensores de la rodilla y del triple de la fuerza de los músculos flexores de la rodilla después de 12 semanas de entrenamiento resistido (32). En un estudio se demostró la capacidad de hombres y mujeres muy mayores (de 87 a 96 años) para mejorar la fuerza muscular después de solo ocho semanas de entrenamiento resistido (75). Las mejoras de la velocidad de la marcha, la capacidad para subir escaleras, el equilibrio y las actividades espontáneas en general también se han asociado con mejoras de la fuerza inducidas por el entrenamiento en poblaciones mayores (34, 76, 132). Las evidencias también sugieren que el entrenamiento resistido específico para el desarrollo de potencia tal vez aumente las capacidades funcionales de los adultos mayores (5, 88, 98, 170), y que el entrenamiento de la potencia quizá sea tan eficaz como el entrenamiento resistido tradicional para desarrollar la arquitectura muscular y las propiedades de la activación neuromuscular de las extremidades inferiores (217). En algunos casos se ha sugerido que el entrenamiento de la potencia a gran velocidad tiene más influencia sobre la capacidad para generar fuerza explosiva que el entrenamiento tradicional de resistencia progresiva (88, 179). Por ejemplo, Fielding (77) mostró que los adultos mayores que completaban un entrenamiento resistido a gran velocidad conseguían mayores mejoras de los picos de potencia y mejoras similares de la fuerza máxima en comparación con adultos mayores que entrenaron a velocidades menores durante un período de 16 semanas. Reid (185) registró resultados similares; en su estudio, los adultos mayores que completaron un programa de entrenamiento resistido a gran velocidad y elevada potencia obtuvieron mejoras significativamente mayores en el pico de potencia en el ejercicio de *press* de piernas que personas que siguieron un programa de entrenamiento

resistido progresivo a velocidad lenta. Aunque se desconozca el protocolo de entrenamiento óptimo para mejorar la fuerza y potencia musculares de los mayores, parece que existe una relación de dosis y respuesta entre el entrenamiento de la intensidad y las mejoras de la fuerza y potencia musculares (48), siendo el entrenamiento resistido de alta intensidad más eficaz para desarrollar la fuerza muscular máxima que un entrenamiento de intensidad baja o moderada (200).

La participación regular en un programa de entrenamiento resistido también parece tener profundos efectos anabólicos en la población mayor (32, 75, 80). La tomografía computarizada y el análisis de biopsias musculares han mostrado evidencias de hipertrofia muscular en hombres mayores que participaron en un programa de entrenamiento resistido de alta intensidad (80); y otras investigaciones con adultos mayores han registrado que el entrenamiento resistido mejora la retención de nitrógeno, que tiene un efecto positivo sobre el metabolismo de las proteínas en el músculo (28, 225). El entrenamiento resistido también ha mostrado tener un efecto positivo sobre el equilibrio de energía de los mayores, como demuestra el aumento de la tasa metabólica en reposo de hombres y mujeres que practicaron un entrenamiento resistido (27). Vale la pena reparar en que las modificaciones de la dieta (un cambio en la ingesta total de alimentos o de nutrientes seleccionados), además del entrenamiento resistido, favorece una mayor respuesta hipertrófica que la práctica aislada de un entrenamiento resistido por hombres mayores (141).

Aunque en la respuesta del hueso al ejercicio resistido influye la interacción completa de muchas variables (p. ej., el estado hormonal, la historia previa de actividad física y la nutrición), se ha documentado que el ejercicio resistido tiene un efecto positivo sobre la salud ósea de los mayores (44, 125, 163). Un entrenamiento resistido practicado con regularidad retrasa el declive relacionado con el envejecimiento de la salud ósea gracias a que mantiene o aumenta la densidad mineral ósea. El entrenamiento resistido tal vez también reduzca el riesgo de fractura por osteoporosis al mejorar el equilibrio dinámico, la masa muscular y el nivel general de actividad física (5). Aunque no hay duda de que el ejercicio resistido mejora la salud ósea de los mayores, la interacción del ejercicio con factores hormonales y nutricionales influye en el grado de los beneficios del programa de ejercicio. Además, los huesos solo retienen los efectos del ejercicio mientras siga el entrenamiento. Durante períodos de inactividad, la densidad ósea tiende a

volver a los niveles previos al ejercicio (109).

Aunque el envejecimiento se asocie con diversos cambios poco deseables de la composición corporal, los adultos mayores conservan su capacidad de conseguir mejoras significativas de la fuerza y la capacidad funcional. Los ejercicios aeróbicos, resistidos y de equilibrio son beneficiosos para los mayores, aunque solo el entrenamiento resistido aumenta la fuerza, la potencia y la masa musculares.

Diseño de programas y consideraciones para los adultos mayores

Si bien hace muchos años que se lleva recomendando el ejercicio aeróbico como medio para aumentar la capacidad cardiovascular, el entrenamiento resistido se considera actualmente un componente importante de cualquier programa completo de acondicionamiento físico para adultos mayores (5, 34, 82, 120, 122). Como las pérdidas relacionadas con el envejecimiento de fuerza, potencia y masa musculares tal vez sean casi universales, hay que participar en programas cuyo fin sea mantener o mejorar la salud musculoesquelética de los adultos mayores. La participación continuada en un programa de entrenamiento resistido no solo retrasa alguna de estas pérdidas relacionadas con el envejecimiento, sino que también ayuda a los mayores a mantener un estilo de vida activo y de gran calidad.

Los principios fundamentales del diseño de programas de entrenamiento resistido para mayores y jóvenes son básicamente los mismos, aunque hay varios aspectos que los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico deben conocer cuando trabajan con adultos mayores. Hay que prestar atención a cualquier enfermedad médica preexistente, a la experiencia previa con el ejercicio y al estado nutricional antes de iniciar un programa de entrenamiento resistido que predisponga a los mayores a un riesgo elevado de lesiones o enfermedades inducidas por el ejercicio. Aunque las poblaciones mayores conserven la capacidad de adaptarse a niveles crecientes de actividad física, siempre hay que seguir unas pautas seguras y eficaces para la ejecución del ejercicio.

Antes de participar en un programa de ejercicio, los mayores deben completar una anamnesis y un cuestionario de factores de riesgo (4). A partir de esta información se determinarán las limitaciones potenciales y las posibles restricciones a la actividad física. En algunos casos se necesita autorización médica antes de iniciar un programa de ejercicio moderado o

vigoroso (4), por ejemplo, con pacientes en rehabilitación cardíaca o pacientes que han sobrevivido a un cáncer. Cualquier duda respecto al estado médico de un participante (p. ej., cardiopatías, hipertensión, artritis, osteoporosis o diabetes mellitus) tendrá que ser descartada por un profesional de la salud. Una vez obtenida esta información, se practicará una evaluación previa al programa a fin de documentar las mediciones basales y evaluar las respuestas a modalidades específicas de ejercicio. Aunque se suela practicar una prueba de esfuerzo sobre una cinta sin fin para evaluar las respuestas cardiovasculares al ejercicio aeróbico, se hará una prueba de fuerza (preferiblemente con material usado en el entrenamiento) para evaluar las respuestas al ejercicio resistido y ayudar a la prescripción de ejercicio. Hay que reparar en que, aunque se pueden usar máquinas de resistencia en las fases iniciales de los programas de entrenamiento con adultos mayores debido a las limitaciones que presentan en su equilibrio y flexibilidad, cuando sea apropiado, los adultos mayores usarán pesas libres y ejercicios resistidos poliarticulares, pues ofrecen un mayor estímulo general de entrenamiento y exigen más trabajo a la estabilidad ortostática. Es posible utilizar diversos métodos para evaluar la fuerza muscular, como el test de la repetición máxima, con poblaciones mayores, siempre y cuando se sigan las pautas apropiadas para la prueba (195). Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico deben ser conscientes de los riesgos potenciales de aguantar la respiración (maniobra de Valsalva) para los adultos mayores. Aunque esta maniobra ayuda a estabilizar el tronco y la columna vertebral durante la ejecución de diversos ejercicios de entrenamiento resistido, debido a la repentina elevación de la tensión arterial diastólica que provoca esta técnica, por lo general se desaconseja a los adultos mayores (4, 178). Esto es sobre todo cierto en el caso de los adultos con antecedentes de enfermedad cardiovascular (arritmias cardíacas, angina de pecho) o enfermedades cerebrales (p. ej., accidente cerebrovascular, vértigo).

Las investigaciones sugieren que el entrenamiento resistido es seguro para los mayores cuando se cumplen las pautas y el entrenamiento es apropiado (53, 138, 222). Por su parte, los programas mal diseñados sí que son potencialmente peligrosos. Por ejemplo, si no se contemplan suficientes períodos de descanso entre series y entre ejercicios, programar ejercicios técnicamente complicados o aumentar la intensidad del ejercicio (por lo general la carga externa con la que se ejercita el individuo) eleva la posibilidad de lesión. De forma parecida a lo que sucede con jóvenes y

mujeres, el estímulo del entrenamiento resistido nunca se debe incrementar a expensas de la competencia técnica.

Los mayores no entrenados que inician un entrenamiento resistido comenzarán con un volumen e intensidad relativamente bajos, y la prescripción de ejercicio será individualizada. Aunque algunos mayores con experiencia en el entrenamiento resistido toleren volúmenes e intensidades más elevados, la fase inicial del programa de entrenamiento se encaminará al aprendizaje de la técnica correcta de los ejercicios reduciendo el riesgo de que experimenten agujetas o lesiones. Un entrenamiento menos intenso durante las primeras semanas de un programa de ejercicio tal vez también sea beneficioso para los mayores que sienten aprensión de participar en un programa de entrenamiento resistido. Pasado el período inicial de adaptación, el programa de entrenamiento irá avanzando gradualmente, siempre y cuando se atiendan los problemas médicos y las necesidades de todas las personas. En el entrenamiento de personas mayores, es especialmente importante centrarse en la interacción de los principales grupos de músculos utilizados en las actividades diarias, como el acarreo de pesos y la subida de escaleras.

Una vez que los participantes dominen la ejecución de los ejercicios básicos, se incorporarán al programa otros más avanzados y exigentes, como ejercicios en bipedestación con pesas libres (halteras y mancuernas), ejercicios multidireccionales con balón medicinal y entrenamiento avanzado del equilibrio (giros en círculo y mantenerse en pie sobre una sola pierna). Los mayores deben avanzar progresivamente de una serie de 8 a 12 repeticiones con una intensidad relativamente baja (p. ej., 40-50% de 1RM) a volúmenes e intensidades mayores (p. ej., tres series por ejercicio al 60-80% de 1RM). También se incorporarán de forma gradual ejercicios de potencia a gran velocidad, siempre y cuando los mayores hayan completado con éxito un programa de entrenamiento resistido general. Las recomendaciones actuales para aumentar la potencia de mayores sanos comprenden la ejecución de una a tres series por ejercicio con un carga ligera a moderada (40-60% de 1RM) y entre 6 y 10 repeticiones a gran velocidad (120).

Recomendaciones de seguridad para el entrenamiento resistido de adultos mayores

- Los deportistas mayores se someterán a pruebas de detección sanitaria, puesto que muchas personas mayores padecen diversas enfermedades médicas relacionadas con el envejecimiento. Si fuera necesario, se buscará consejo médico sobre el tipo de

actividad más apropiada.

- Los practicantes deben calentar durante 5 a 10 minutos antes de cada sesión de ejercicio. Un calentamiento aceptable contiene ejercicios calisténicos y una actividad aeróbica de intensidad moderada.
- Los mayores deben practicar ejercicios de estiramiento estático antes o después —o antes y después— de las sesiones de entrenamiento resistido.
- Los deportistas mayores emplearán una resistencia que no grave en exceso el sistema musculoesquelético.
- Los adultos mayores evitarán practicar la maniobra de Valsalva durante el entrenamiento resistido con el fin de que no se produzca una elevación anormal de la tensión arterial.
- Se concederán a los adultos mayores de 48 a 72 horas de recuperación entre sesiones de ejercicio.
- Se practicarán todos los ejercicios dentro de un arco de movilidad indoloro.
- Al igual que con cualquier persona que practica un entrenamiento resistido, los adultos mayores deben recibir instrucción para la ejecución de los ejercicios por parte de monitores cualificados.

Todo programa de entrenamiento resistido para personas mayores debe variar de volumen e intensidad a lo largo del año para limitar la posibilidad de sobreentrenamiento y garantizar el progreso durante el período de entrenamiento. Como la recuperación de una sesión de entrenamiento tal vez lleve más tiempo en las poblaciones mayores, se recomienda una frecuencia de entrenamiento de dos días por semana, al menos durante el período de adaptación inicial. Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico deben mostrarse abiertos a las preocupaciones de estas personas y ser capaces de modificar un programa de entrenamiento basándose en los antecedentes personales fisiológicos y en los objetivos de cada persona. Con instrucción competente y el respaldo de amigos, las personas mayores ganarán confianza en su capacidad para seguir un entrenamiento resistido, lo cual será suficiente para garantizar que no abandonen el programa. No obstante, como la mayoría de los adultos mayores no practican esta clase de actividades (31, 202), los especialistas tal vez inicialmente necesiten conseguir que sean más conscientes de los beneficios para la salud asociados con el ejercicio resistido y tratar los problemas o preocupaciones que las personas mayores puedan tener sobre la participación en un programa de entrenamiento de este tipo.

Una consideración adicional relacionada con el entrenamiento resistido de las personas mayores es que sigan una nutrición apropiada. La calidad y cantidad de la ingesta de una persona (o tal vez de nutrientes seleccionados) tal vez signifique la diferencia entre perder o ganar masa muscular. En

particular, parece que cantidades adecuadas de proteínas son esenciales para que se produzca la hipertrofia muscular en personas mayores (169). Por lo demás, ingestas insuficientes de macronutrientes (grasas, proteínas e hidratos de carbono) y micronutrientes (vitaminas y minerales) se asocian con consecuencias potencialmente negativas para la salud, como fatiga, déficit de la función inmunitaria y retraso en la recuperación de lesiones. En las personas mayores, una adecuada ingesta de alimentos no solo mejora la salud, sino que también potencia las adaptaciones al entrenamiento resistido.

Conclusión

Los estudios de investigación muestran que el ejercicio resistido es un método seguro y eficaz de acondicionamiento físico para hombres y mujeres de todas las edades y capacidades. Los beneficios potenciales son multifactoriales, como efectos positivos sobre diversas variables del rendimiento físico (p. ej., la fuerza y la potencia), indicadores de salud (p. ej., la composición corporal y la función cardíaca) y el desarrollo psicosocial (p. ej., la imagen propia y la confianza en uno mismo). Por si fuera poco, la participación regular en un programa de entrenamiento resistido reduce el riesgo de lesiones deportivas o relacionadas con actividades físicas en los atletas y favorece que los ancianos lleven una vida independiente. Aunque los principios fundamentales del entrenamiento resistido sean parecidos para las personas de ambos sexos y todas las edades, existen aspectos únicos y específicos de cada población. Conocer las diferencias relacionadas con la edad y el sexo es esencial para el desarrollo y evaluación de programas de entrenamiento resistido seguros y eficaces. Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico deben ser conscientes de que las respuestas individuales al ejercicio resistido pueden variar mucho, y estarán atentos a las necesidades individuales de todos los participantes.

Durante las últimas décadas, entrenadores, médicos y científicos del ejercicio han ampliado los conocimientos sobre las diferencias vinculadas al sexo y la edad, así como las implicaciones que tienen para el ejercicio resistido. Su labor ha cuantificado el impacto del entrenamiento resistido sobre hombres y mujeres de todas las edades, y han sentado las bases para las recomendaciones sobre el diseño de programas de fuerza y acondicionamiento físico. La información recogida en este capítulo y en otros ayudará a los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico a

entender y apreciar las diferencias relacionadas con la edad y el sexo, y mejorará su capacidad para desarrollar programas de entrenamiento resistido seguros y eficaces para niños, mujeres y adultos mayores por igual.

---

* La *entrenabilidad* es la capacidad de mejorar el rendimiento con el entrenamiento, entendido como un proceso de ejercicio que persigue una mejora en los objetivos deportivos (N. del E.).

TÉRMINOS CLAVE

adolescencia
adultez
amenorrea
apofisario
atleta joven
cartílago de crecimiento
cocontracción
crecimiento
desarrollo
diáfisis
ectomorfo
edad
  biológica
  cronológica
  de entrenamiento
ejercicio resistido
endomorfo
infancia
jóvenes
ligamento cruzado anterior (LCA)
maduración
menarquía
mesomorfo
osteopenia
osteoporosis
persona mayor
pico de velocidad de crecimiento (PVC)

preactivación
pubertad
sarcopenia
tríada de las atletas

PREGUNTAS DE REPASO

(respuestas en la página 657)

1. Un niño de 8 años aumenta de forma espectacular la fuerza del hemicuerpo superior después de seguir durante seis meses un programa de entrenamiento resistido. ¿Cuál de los siguientes factores es el MÁS probable responsable de esta mejoría?
   a. Aumento del número de fibras musculares.
   b. Aumento del área transversal.
   c. Una mayor densidad muscular.
   d. Mejora del funcionamiento neuromuscular.

2. El cartílago de crecimiento se localiza en los niños en todos los siguientes puntos EXCEPTO:
   a. La diáfisis.
   b. La lámina epifisaria.
   c. La superficie articular.
   d. La inserción apofisaria.

3. La patología caracterizada por una densidad mineral ósea con una DE inferior a –2,5 respecto de la media de los adultos jóvenes se denomina:
   a. Sarcopenia.
   b. Osteopenia.
   c. Osteoporosis.
   d. Escoliosis.

4. ¿Cuál de los siguientes aspectos se debería evaluar PRIMERO cuando se diseña un programa de entrenamiento para una tenista de competición de 68 años?
   a. Capacidad cardiovascular.
   b. Fuerza del hemicuerpo inferior.
   c. Equilibrio y agilidad.
   d. Historial médico.

5. Las atletas universitarias desentrenadas que practican deportes como baloncesto y fútbol parecen correr mayor riesgo de sufrir lesiones de:
   a. Espalda.
   b. Rodilla.
   c. Muñeca.
   d. Cuello.

CAPÍTULO 8

Psicología de la preparación y el rendimiento atlético

Traci A. Statler y Andrea M. DuBois*

A la conclusión del capítulo, el lector:

- Comprenderá los conceptos psicológicos de la estimulación emocional, la motivación, el centro de atención y la confianza, y será capaz de determinar su impacto sobre el rendimiento físico.
- Sabrá los términos relevantes de áreas psicológicas de interés, como la ansiedad, la atención, el estado ideal para el rendimiento, la competencia percibida, la visualización y el establecimiento de objetivos.
- Conocerá diferentes formas de manipular los programas de ejercicios, como la práctica de las partes frente a la práctica del todo, la práctica aleatoria y la práctica variable, así como el modo de aplicar esos programas para facilitar el aprendizaje y la adquisición de destrezas.
- Entenderá los distintos tipos de instrucciones y retroalimentación, así como su aplicación en el marco de los entrenamientos y la competición.

* Las autoras agradecen la significativa aportación de Bradley D. Hatfield y Evan B. Brody en la redacción de este capítulo.

La excelencia en el rendimiento atlético es resultado de un entrenamiento fiable de la condición física y las destrezas, acompañado de ciclos óptimos de descanso y recuperación, y también de una dieta apropiada. En cualquier estadio concreto de la madurez biológica, el desarrollo fenotípico del potencial genético del atleta representa un techo relativamente estable del rendimiento, aunque la expresión de ese hábil desempeño varía a veces

tremendamente de una competición a la siguiente, e incluso de un instante a otro. El papel de la psicología del deporte es ayudar a que los atletas alcancen niveles más constantes de rendimiento próximo o con todo su potencial físico mediante una cuidadosa gestión de sus recursos físicos con técnicas y estrategias psicológicas apropiadas. A través de estas estrategias y técnicas, los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico diseñan programas de entrenamiento específicos para cada deporte e incluso para las distintas posiciones en el terreno de juego, cuyo objetivo final es potenciar al máximo el rendimiento.

Después de presentar los conceptos básicos, abordaremos el modo en que la mente, a través de cogniciones, influye en el rendimiento físico; luego describiremos el **estado ideal de rendimiento**, la meta que persiguen todos los deportistas. Dicho estado está marcado en parte por la **eficacia fisiológica** y la psicológica (es decir, por la aplicación de la energía física y mental necesaria para la ejecución de la tarea). Hablaremos de las influencias psicológicas primarias —motivación, atención y activación— sobre la adquisición y ejecución de destrezas, y citaremos varias teorías sobre el modo en que estos fenómenos cambian el aprendizaje psicomotor y el rendimiento atlético. Por último, hablaremos de las técnicas, como el establecimiento de objetivos, la gestión de la energía y la relajación, la visualización y el desarrollo de la confianza, que se emplean para mejorar el rendimiento general en el ámbito de la fuerza y el acondicionamiento físico, así como en otros campos del rendimiento.

Papel de la psicología deportiva

Los atletas son personas que se mueven en un marco de comparación social (la competición) donde se contraponen destrezas psicomotrices y la capacidad física (o ambas) en un marco institucionalizado, por lo general bajo evaluación y escrutinio públicos. La esencia de la competición atlética radica en compararse con otros y dejar expuestos el ego y la autoestima en un contexto sometido a reglas y normas. Los atletas bien preparados psicológicamente se caracterizan por la eficacia con la que piensan y actúan. La eficacia se suele asociar con la habilidad de la actuación, cuando las acciones son gráciles y fluidas. El concepto también se puede extender a la actividad psicológica; los atletas eficaces asumen un centro de atención relevante para el cometido, sin malgastar la atención en procesos irrelevantes

para el cometido como preocuparse, o pensar en otras cosas como el entrenador o las críticas del público.

La **psicología del deporte** es una disciplina con muchas facetas, basada en constructos de la ciencia del ejercicio y en principios psicológicos, cuyo cometido es comprender la influencia de los procesos de la conducta y las cogniciones sobre el movimiento. La psicología del deporte se suele clasificar como un campo de estudio científico incluido en la medicina del deporte y con tres objetivos principales:

- Medir los fenómenos psicológicos.
- Estudiar las relaciones entre las variables psicológicas y el rendimiento.
- Aplicar los conocimientos teóricos para mejorar el rendimiento atlético.

Mediante la aplicación de la información adquirida con el discernimiento de los principios de la psicología del deporte, los atletas mejoran la gestión de sus recursos físicos, con lo que sus actuaciones son más eficaces. En realidad, muchos atletas llegan al ámbito del entrenamiento con algunas destrezas mentales firmes en su repertorio, aunque esto en apariencia «suceda sin más», sin comprender apenas el curso de evolución de estas destrezas, o ni siquiera el mejor modo de usarlas para rendir con más eficacia. A lo largo de este capítulo estableceremos una estructura mediante la cual poder entender las relaciones, no solo entre las destrezas mentales, sino también entre las destrezas mentales y las destrezas físicas, técnicas y tácticas que se desarrollan en la sala de pesas y en el campo de entrenamiento. Debemos reparar, sin embargo, en que estas destrezas solo resultan eficaces de verdad si se comprenden, si se practican y se aplican en el ámbito de las actuaciones. Al igual que los conceptos físicos, técnicos y tácticos descritos en el resto del libro, las destrezas mentales también se tienen que enseñar, practicar, integrar en la actuación y evaluar su eficacia.

Estado ideal de rendimiento

El estado ideal de rendimiento ha sido estudiado desde varias perspectivas. Williams y Krane (42) enumeraron las siguientes características que suelen describir los atletas sobre este estado:

- Ausencia de miedo: no hay miedo al fracaso.
- No se piensa ni analiza la actuación (acorde con el estadio de

automatismo motor).
- Un centro de atención estrecho y concentrado en la actividad en sí.
- Una sensación de ausencia de esfuerzo: una experiencia involuntaria.
- Una sensación de control personal.
- Una distorsión del tiempo y el espacio, en la cual el tiempo parece transcurrir con más lentitud.

En cierto sentido, este estado ideal de rendimiento representa todo lo que intentan o favorecen los programas aplicados de psicología del deporte. No hay una voz interior negativa, pero sí una poderosa sensación de eficacia, un centro de atención adaptativa que atiende las claves relevantes para el cometido. Un aspecto importante es que los atletas confían en su habilidad y nivel de forma física y dejan que «salga sin más», sin interferencias de procesos asociativos negativos en la corteza cerebral.

Kobe Bryant, uno de los mejores jugadores de la National Basketball Association, describe este estado del siguiente modo:

> Cuando uno se encuentra en esa zona, se tiene una confianza absoluta en que vas a encestar todas las canastas. No se trata de «si», ni de esto [o] aquello. Van a entrar y punto. Todo transcurre más despacio. Todo se ralentiza y se tiene una confianza absoluta. Cuando esto sucede, uno no intenta centrarse en lo que ocurre porque… se podría perder ese estado en un segundo. Todo converge en un solo sonido y no se presta atención a ninguno más Uno solo intenta permanecer en el presente y no dejar que nada interrumpa ese ritmo. Una vez más, siempre y cuando uno se mantenga ahí, se hallará ajeno a todo lo demás. No se piensa en lo que nos rodea ni lo que hace el público o el equipo. Uno está como encerrado en sí mismo Hay que mantenerse en el presente y no dejar que nada rompa ese ritmo.

La descripción de Bryant enriquece muchos de los conceptos expuestos en este capítulo. Es importante recordar que su estado mental depende en gran medida de un programa fiable de entrenamiento físico y de su historial de éxitos. Bryant realiza extraordinarias proezas físicas, esprinta a velocidad del rayo, entrena en la cancha y levanta pesas fuera de temporada. Combinado con su rendimiento superior en la pista de baloncesto, este esfuerzo físico preparatorio contribuye mucho a ese estado psicológico centrado y con plena

confianza.

Gestión de la energía: Activación, ansiedad y estrés

Con el fin de que los atletas actúen con eficacia, necesitan aprender a gestionar sus niveles de energía física y mental. Los atletas que agotan su energía por las preocupaciones, rabia, frustración o ansiedad tienen más posibilidades de distraerse y perder confianza en sí mismos, además de contar con menos energía para cuando quieran rendir de veras (11). Por tanto, la capacidad de mantener el autocontrol y gestionar la energía en el ámbito de la actuación es una destreza crítica para cualquier deportista.

La energía mental se genera, mantiene, agota y renueva por medio de las emociones. Las **emociones** son estados anímicos temporales que sobrevienen como respuesta a acontecimientos que poseen componentes fisiológicos y psicológicos (10). Dichas emociones afectan a la energía física y mental y, en consecuencia, tienen efectos beneficiosos o perniciosos para el rendimiento humano, a menudo dependiendo de cómo se interpreten. Las emociones son beneficiosas para el rendimiento cuando nos estimulan, nos motivan, aumentan nuestra confianza y refuerzan nuestro nivel de compromiso. Sin embargo, las emociones son negativas cuando se experimentan por exceso o por defecto (cuando el deportista está demasiado exaltado o, por el contrario, apático) o cuando perdemos el control de las emociones y dejamos de actuar con eficacia en el ámbito de actuación (p. ej., un atleta que no controla su rabia o frustración). Enseñar a los atletas a nutrirse de sus emociones para generar o elevar el nivel de energía, pero manteniendo el control de las emociones, para que no interfieran en la actuación, es clave para generar el estado ideal de rendimiento (40).

Al pertrechar a los atletas con herramientas mentales para combatir los pensamientos inapropiados, aumentar la confianza y reforzar la motivación y el compromiso, los entrenadores están aportando muchas de las destrezas necesarias para que los atletas mantengan la compostura.

Activación

El ámbito del entrenamiento aporta diversas experiencias nuevas y poco conocidas que brindan múltiples oportunidades para ponerse uno a prueba y evaluar su eficacia. Por ello, en el rendimiento atlético influye con frecuencia la activación, la ansiedad y el estrés. Estos términos a menudo se usan como

intercambiables, cuando, en realidad, son distintos aspectos del mismo concepto.

La **activación** no es más que una mezcla de reacciones fisiológicas y psicológicas, y hace referencia a la intensidad de la motivación en cualquier momento (40). Por ejemplo, un atleta mentalizado puede experimentar un grado tremendo de activación mental caracterizado por pensamientos positivos y una poderosa sensación de control, mientras que un atleta apático experimentará una activación mínima caracterizada por pensamientos erráticos y una sensación de aburrimiento. La activación siempre está presente en cierto grado en las personas, en un continuo entre estar dormido profundamente, o comatoso, y estar exaltado; sin embargo, ni *per se* ni en sí se asocia automáticamente con acontecimientos agradables o desagradables. Es sencillamente una medida de la activación y como tal se clasifica atendiendo a la frecuencia cardíaca, la tensión arterial, la electroencefalografía (EEG), la electromiografía (EMG) y los niveles de catecolaminas, o con instrumentos que uno mismo puede usar, como la lista de verificación de activación-desactivación (39). La activación óptima requerida para un rendimiento eficiente depende de varios factores que se abordarán más adelante en el capítulo.

Ansiedad

La **ansiedad** es una subcategoría de la activación por el hecho de que es un estado emocional considerado negativo y que se caracteriza por nerviosismo, preocupación, aprensión o miedo, y se asocia con una activación fisiológica del cuerpo (40). Como la ansiedad requiere que el individuo perciba negativamente una situación, lo que hace es incorporar un componente cognitivo, llamado **ansiedad cognitiva**, así como una reacción física, o **ansiedad somática**, manifiesta por síntomas físicos como tensión muscular, taquicardia (el corazón late con rapidez) y trastorno estomacal.

El término *ansiedad* se usa a menudo de manera confusa para referirse a un constructo estable y duradero de la personalidad, pero también para describir un estado de ánimo cambiante y de corta duración. Estos son, de hecho, distintos constructos dentro del estado emocional conocido como ansiedad. La **ansiedad transitoria** es una experiencia subjetiva de aprensión e incertidumbre que se acompaña de elevación del flujo neuronal voluntario y vegetativo, y de un aumento de la actividad endocrina (36). La ansiedad

transitoria es una experiencia generalmente negativa, aunque sus efectos sobre el rendimiento atlético pueden ser positivos, negativos o indiferentes, dependiendo de factores como el nivel de destreza del atleta, su personalidad o la complejidad de la tarea realizada.

La ansiedad transitoria es distinta aunque está relacionada con la **ansiedad crónica**, una variable de la personalidad o disposición relacionada con la posibilidad de que uno perciba un entorno como amenazador. En esencia, la ansiedad crónica es el punto de partida para que los atletas experimenten ansiedad transitoria (37). La ansiedad crónica también influye en el nivel apropiado de activación. Las personas con niveles altos de ansiedad crónica tienden a abrumar su capacidad de atención con datos irrelevantes para la tarea, como ideas de fracaso, sentimientos catastrofistas o preocupaciones concernientes al yo. Durante la toma de decisiones complejas, estos datos o claves que distraen la atención comprometen la atención selectiva del jugador. El atleta con ansiedad crónica baja es capaz de lidiar con niveles elevados de presión debido a la menor posibilidad de incurrir en esa mentalidad catastrofista.

La ansiedad transitoria es la experiencia real de aprensión y activación incontrolada. La ansiedad crónica es una característica de la personalidad que representa una disposición latente a percibir ciertas situaciones como amenazadoras.

En un estado de tranquilidad, la activación es un proceso que el atleta controla y que aumenta o disminuye a voluntad. El atleta bien preparado psicológicamente conoce la zona apropiada en la que su rendimiento será óptimo y la encamina en consecuencia. En un estado de ansiedad, la activación está relativamente incontrolada. Por lo general, la activación es demasiado elevada durante los períodos de ansiedad transitoria ineficaz; los músculos esqueléticos están tensos, el corazón está desbocado y se infiltran pensamientos negativos. Esta falta de **eficacia psicológica** y física se suele iniciar por la incertidumbre ante un acontecimiento presente o anticipado. Al menos suele haber presentes tres factores importantes:

- Un alto grado de implicación del yo personal, por el cual el atleta quizá perciba amenazas contra su autoestima.
- Una discrepancia percibida entre la propia capacidad y las exigencias del éxito deportivo.

- Miedo a las consecuencias del fracaso (como la desaprobación de los compañeros de equipo, del entrenador, de la familia o de los amigos).

Como estos conceptos de ansiedad y activación son complejos y están interrelacionados, la figura 8.1 ofrece un resumen de las interrelaciones de componentes tales como la activación, la ansiedad crónica y la ansiedad transitoria, así como entre la ansiedad cognitiva y los componentes somáticos.

Estrés

El **estrés** se define como un desequilibrio sustancial entre exigencia (física, psicológica o ambas) y capacidad de respuesta en condiciones en las que no cubrir esa exigencia tiene importantes consecuencias (31). Un **factor estresante** es un acontecimiento ambiental o cognitivo que precipita la aparición de estrés (es decir, la respuesta al estrés). El estrés se describe como un estado negativo (***distress***) o positivo (**eutrés**). Ambos generan activación, pero solo cuando la percepción de ese factor estresante es negativa (*distress*) también genera ansiedad. Por tanto, el *distress* comprende una ansiedad cognitiva y somática, mientras que el eutrés comprende energía mental positiva y activación fisiológica.

Influencia de la activación y la ansiedad sobre el rendimiento

Una vez se han adquirido conocimientos sobre conceptos generales como activación, ansiedad y estrés, el siguiente paso consiste en la deconstrucción del modo en que estos elementos emocionales influyen en el rendimiento. ¿Por qué la activación influye beneficiosamente en unos atletas y no en otros? Esta sección analiza varias teorías y modelos que intentan explicar esta relación entre activación y actuación. Empieza por el constructo más sencillo —la teoría del impulso de Hull (35)— y luego se adentra en la teoría de la U invertida de Yerkes y Dodson (50), que describe las influencias mediadoras del nivel de destreza, la complejidad de las tareas y la personalidad. También se describen otras teorías afines que ahondan en esa relación, como las zonas individuales de funcionamiento óptimo (ZIFO) de Hanin (12), la teoría de las catástrofes de Fazey y Hardy (13) y, por último, la teoría de la inversión de Kerr (17).

Teoría del impulso

Cuando los investigadores examinaron por vez primera la relación entre activación y actuación, creyeron que seguía una progresión lineal y directa. La **teoría del impulso** de Hull (35) postula que, cuando aumenta la activación o ansiedad transitoria de una persona, también lo hace el rendimiento. Por tanto, cuanto más mentalizado está un atleta, mejor es su rendimiento. Quizá esto sea cierto cuando un atleta pasa de niveles relativamente bajos de activación a otros un tanto más elevados; sin embargo, la mayoría reconoce que más activación no siempre es mejor, ya que los atletas pueden estar demasiado «entusiasmados» como para tener una buena actuación. Dependiendo de los niveles de experiencia y destreza, de la complejidad de la actividad, o de ambas cosas, más activación puede resultar beneficiosa, pero también puede ser perjudicial. Cuando se ejecutan destrezas sencillas o bien aprendidas, un nivel más alto de activación beneficia el rendimiento. Sin embargo, cuanto más compleja sea la destreza, o cuanto menor sea la experiencia de un atleta con esa destreza, una mayor activación se puede traducir en resultados catastróficos (40).

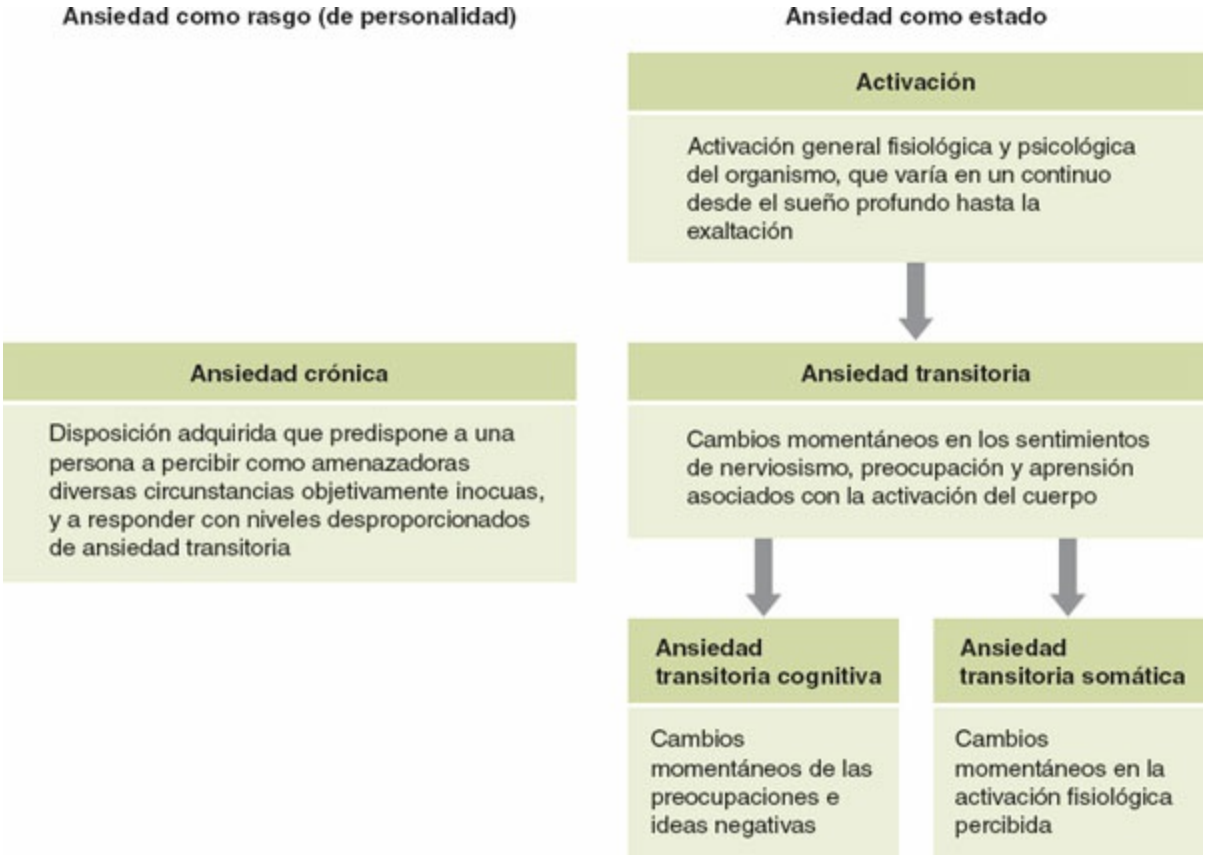


FIGURA 8.1 Interrelaciones de la activación, la ansiedad crónica y la ansiedad transitoria. Fuente: Reproducido, con autorización, de Weinberg y Gould, 2015 (40).

Nivel de destreza

El nivel de destreza de un atleta aumenta la latitud de activación óptima; es decir, cuando más desarrollada esté la destreza, mejor actuará el atleta durante estados de activación por debajo o por encima del nivel óptimo (40). En las fases iniciales de aprendizaje de una destreza, el atleta atraviesa una fase de análisis o cognición (9). Esto significa que tiene que pensar en las acciones que ejecuta. Por ejemplo, un jugador novato de fútbol tiene que ser consciente de la pelota mientras regatea y tiene que dedicar cierta atención a la tarea. Con cierto nivel de activación, los pensamientos de preocupación compiten con la capacidad de atención ya ocupada en los detalles del rendimiento motor (el regateo). Si se produce de repente una situación nueva, la mente del novato ya estará ocupada y tal vez no la perciba.

El punto óptimo de activación es menor para los atletas menos diestros que para los jugadores de nivel avanzado. Por tanto, los entrenadores deben disminuir la activación y las responsabilidades de la toma de decisiones por

parte de los atletas en formación o fuera de temporada (jugadores que son muy diestros pero carecen de experiencia competitiva), y hacer que se centren en asignaciones sencillas para prevenir la sobrecarga de atención. Al entrenar a halterófilos olímpicos durante una competición importante, las instrucciones para los competidores novatos deben ser sencillas, claras y directas. Cuando experimentan el éxito, la autoconfianza derivada tal vez reduzca las ideas negativas y el sentido de incertidumbre que suele caracterizar a estos deportistas.

Complejidad de la tarea

Un segundo factor que influye en el nivel apropiado de activación para lograr un rendimiento óptimo es la complejidad de la tarea (26). La mayoría de las destrezas físicas son muy complejas desde una perspectiva biomecánica, si bien la complejidad más interesante se relaciona con la toma de decisiones conscientes. Por ejemplo, correr es una tarea muy compleja en lo que concierne al control motor y la anatomía funcional, aunque los atletas por suerte no tienen que dedicar mucha atención consciente a la acción coordinada. De hecho, la acción se puede alterar y resultar ineficaz si piensan demasiado en ella, porque cambian las secuencias neuronales para el inicio del movimiento. Desde una perspectiva de la atención, las destrezas sencillas o bien asimiladas se ven menos afectadas por un alto grado de activación, porque cuentan con menos claves relevantes para la tarea a las que prestar atención (40). Por suerte— y en consecuencia—, la activación fisiológica, que suele acompañar la activación emocional, tal vez sea beneficiosa. Sin embargo, la situación se invierte dramáticamente en el caso de destrezas que necesitan un esfuerzo consciente en la toma de decisiones, como las que precisan un portero de fútbol o un receptor de béisbol que se enfrentan a un lanzamiento endemoniado. En tales circunstancias, la activación se mantendrá relativamente baja por la necesidad de mantener un centro de atención más amplio con el fin de identificar claves relevantes.

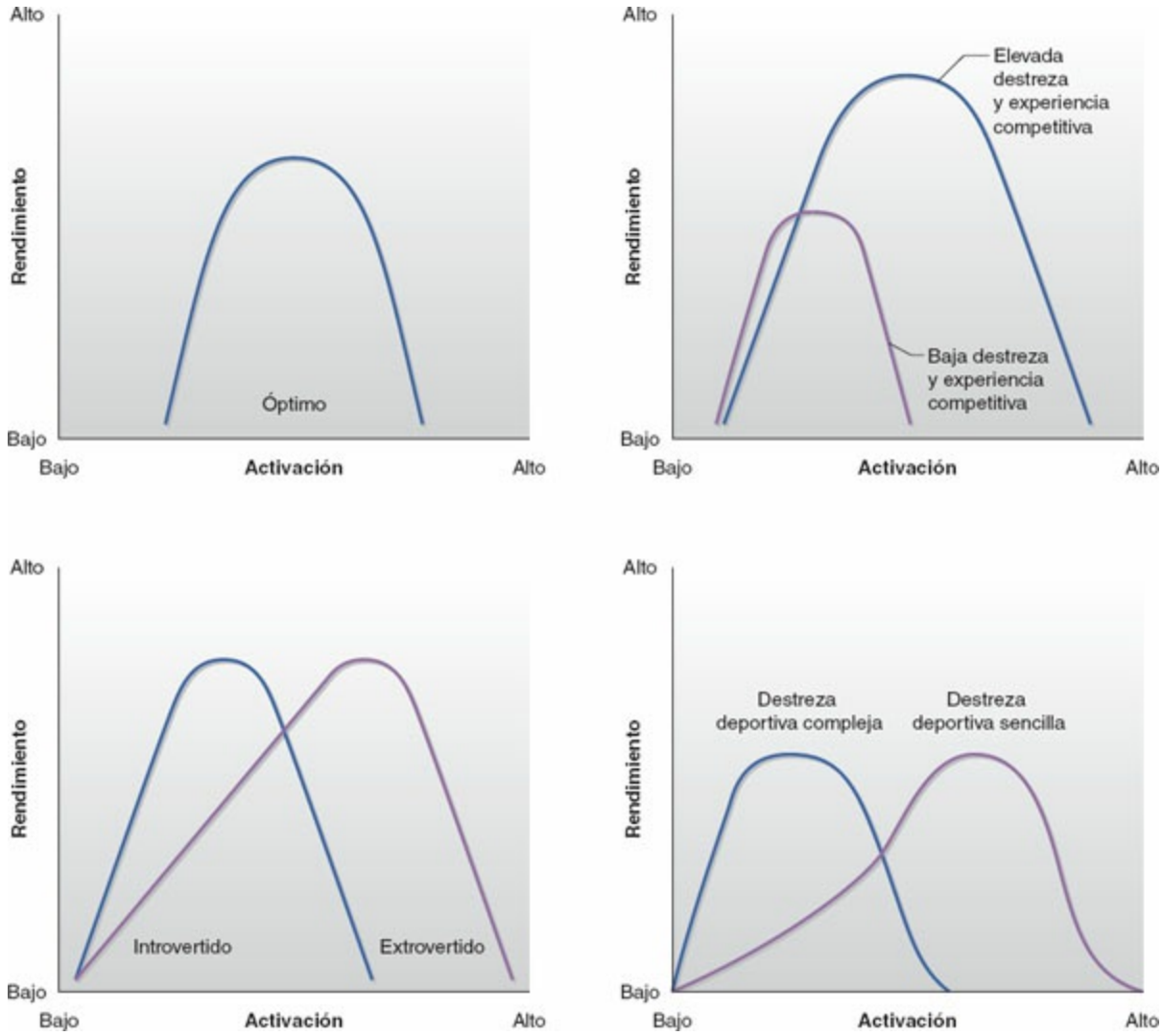


FIGURA 8.2 Teoría de la U invertida y sus modificaciones.

Reproducido, con autorización, de Hatfield y Walford, 1987 (14).

Teoría de la U invertida

Basándose en la relación básica puesta de manifiesto en la teoría del impulso, Yerkes y Dodson (50) propusieron uno de los grandes principios de la relación entre activación y rendimiento: la **teoría de la U invertida**. Básicamente, esta teoría establece que la activación facilita el rendimiento hasta un nivel óptimo, superado el cual, una mayor actuación se asocia con una reducción del rendimiento. La figura 8.2 muestra esta relación en cuatro gráficas. La mayoría de entrenadores y atletas aceptan esta hipótesis intuitivamente, dado que todos han tenido malos resultados estando decaídos o desaprovechados, así como cuando se han sentido demasiado «exaltados» o

«fuera de control». El concepto de la U invertida ayuda a entrenadores y atletas a entender por qué la activación influye en el rendimiento y posibilita adquirir un mayor control sobre el nivel apropiado de activación para cada atleta y en un deporte dado. Sin embargo, hay que reparar en que la forma genética de la curva en esta relación ha sido objeto de diversas críticas basadas en lo que se sabe sobre las influencias individuales de la destreza, la capacidad, la experiencia y la complejidad de la tarea, tal y como se describió previamente (11).

Zonas individuales de funcionamiento óptimo

Hanin (12) reparó en las interacciones de los factores individuales que influyen en la activación óptima y, en consecuencia, en el rendimiento, y desarrolló la teoría de las **zonas individuales de funcionamiento óptimo**. Hanin sostiene que distintas personas, en diferentes tipos de actuaciones, rinden mejor con niveles muy distintos de activación. Esta teoría difiere doblemente de la hipótesis de la U invertida: (1) el rendimiento ideal no parece que ocurra siempre en el punto medio del espectro de activación, y (2) en vez de haber un único punto de activación definido, esa mejor actuación se puede dar con un nivel bajo o amplio de activación. Por otra parte, Hanin propuso que existen emociones positivas y negativas (excitación, nerviosismo) que a veces mejoran el rendimiento, al igual que hay emociones positivas y negativas (sentirse cómodo, estar enojado) que debilitan el rendimiento. Esta proposición es importante porque tiene en cuenta que cualquier emoción específica puede ser percibida positivamente por un atleta y negativamente por otro. En la práctica, los atletas tienen que recordar *a posteriori* la activación asociada con varias de sus actuaciones de distinta calidad. A continuación, pueden monitorizar sus emociones y niveles de actuación antes de una competición importante e introducir ajustes para aumentar las posibilidades de situarse en esa zona individual óptima.

Teoría de la catástrofe

Según Hardy (13), la evaluación de las dimensiones somática y cognitiva de la activación permite aguzar la habilidad para predecir (y, por tanto, controlar) su impacto sobre el rendimiento. Las primeras suposiciones asociadas con la teoría de la U invertida sostenían que, cuando la activación superaba el nivel óptimo, se producía un declive gradual y proporcionado del

rendimiento. Sin embargo, la experiencia nos dice que este no siempre es el caso. Un atleta puede experimentar un declive profundo y demoledor en vez de un declive gradual o curvilíneo gradual en su rendimiento; el hecho de que recupere la calma no se traduce obligatoriamente en que recupere el nivel de rendimiento exhibido antes del declive. En este modelo, la **teoría de la catástrofe**, la activación somática despliega una relación curvilínea de U invertida con el rendimiento físico, mientras que la ansiedad cognitiva muestra una relación negativa constante con el rendimiento. Cuando se produce un incremento de la activación fisiológica en presencia de ansiedad cognitiva, se manifiesta un bajón repentino, y no gradual, del rendimiento. La implicación práctica de esta teoría es que los constructos de la activación se tienen que delinear más claramente como ansiedad cognitiva, activación fisiológica, ansiedad somática o alguna combinación de ellos.

Teoría de la inversión

La interpretación que Kerr (17) hace de la **teoría de la inversión** postula que el modo en que la activación y la ansiedad influyen en el rendimiento depende de la interpretación que cada uno haga de esa activación. En esencia, un atleta podría interpretar niveles altos de activación como emoción, o como una señal de estar preparado para actuar, mientras que otro atleta, que experimente la misma emoción con el mismo nivel de activación, quizá interprete esa sensación como desagradable y como un reflejo de su falta de confianza. Esta idea implica que los atletas poseen la capacidad de invertir su interpretación de la activación que experimentan; en vez de percibir una activación poderosa como intimidante y preocupante, pueden optar por invertir su percepción e interpretar la activación como un reflejo de su emoción y anticipación. Esta teoría es importante porque pone de relieve que la propia interpretación de la activación, y no solo su grado, es significativa. Además, muestra que el modo en que la activación y la ansiedad influyen en el rendimiento —de forma beneficiosa o perjudicial— está bajo el control voluntario de los atletas.

Motivación

Como se mencionó al comienzo de este capítulo, la motivación es uno de los principales factores psicológicos para la adquisición y eficaz ejecución de destrezas motoras. La **motivación** se define como la intensidad y dirección

del esfuerzo (40). En las secciones siguientes se describen aspectos seleccionados de los fenómenos relacionados con la motivación. Primero hablaremos de las motivaciones intrínseca y extrínseca, que influyen profundamente en el deseo de entrenar y competir de los atletas. A continuación hablaremos de la motivación para el éxito, que ayuda a explicar las diferencias individuales en la competitividad. Por último, explicaremos los refuerzos positivo y negativo, y su aplicación en el aprendizaje y ejecución de destrezas.

Motivaciones intrínseca y extrínseca

La **motivación intrínseca** es importante para todos los atletas. Deci (7) definió este concepto como un deseo de ser competente y determinante. Con motivación intrínseca, los atletas se impulsan por su amor al juego y por la recompensa inherente que sienten durante la participación. Esta es la motivación que sale de dentro del atleta y que se manifiesta con independencia de la existencia de una recompensa material o de un castigo. Los atletas con motivación intrínseca se centran en el disfrute o diversión que experimentan durante la actividad y, por lo general, en el deseo de aprender y mejorar debido a su afición por la conducta en sí y *per se* (40). ¿Cómo se estimula o mantiene ese estado tan deseable? La respuesta está implícita en la definición de Deci (7), que hace hincapié en el éxito (competencia) y en «recurrir a los propios recursos» (autodeterminación). Metas apropiadas, sobre todo las metas de proceso y de actuación, aumentan la competencia percibida. Además, otorgar al atleta cierto grado de libertad en la toma de decisiones aumenta la autodeterminación percibida (7). Aunque a veces el deporte exija una conducta autoritaria, y pese a que se necesitan unas directrices claras en situaciones de mucho estrés y competitividad, la completa falta de delegación de responsabilidades podría causar una pérdida de la iniciativa y el impulso en los atletas (40).

En contraste, la **motivación extrínseca** procede de alguna fuente externa y opuesta a la motivación interna. Existen numerosos ejemplos, puesto que se basa en un concepto individualizado de recompensa; ejemplos de recompensas extrínsecas habituales en el ámbito del deporte son los premios en metálico, los trofeos, los elogios de entrenadores y compañeros de equipo, la aceptación social y el miedo al castigo. Sin embargo, en muy pocas ocasiones los atletas presentan una motivación completamente intrínseca o

extrínseca, sino que exhiben grados variables de motivación dependiendo de la actividad, de sus percepciones de la competencia, del nivel de importancia de la actividad y de todo un abanico de distintas variables (5, 7, 23, 40, 42).

Motivación para el éxito

Dentro del concepto general de la *motivación* hallamos un tipo más específico llamado **motivación para el éxito**, que se refiere a los esfuerzos de una persona por dominar una tarea, por alcanzar la excelencia, por superar obstáculos e implicarse en la competición o en la comparación social. Si todo esto se mantiene igual entre dos atletas, aquel cuya motivación para el éxito sea mayor será el mejor atleta, porque tendrá un mayor apetito competitivo.

McClelland (23) planteó la teoría de que todo individuo tiene rasgos opuestos de la personalidad: la **motivación para alcanzar el éxito (MAE)** y la **motivación para evitar el fracaso (MEF)**. La MAE guarda relación con la capacidad de experimentar orgullo por los propios logros y se caracteriza por el deseo de imponerse retos y evaluar las propias capacidades. Por su parte, la MEF se relaciona con el deseo de proteger el propio yo y la autoestima. No obstante y pese a su nombre, en el caso de la MEF no se trata de evitar el fracaso en sí. Es más cuestión de evitar la sensación de vergüenza que acompaña al fracaso.

En general, los atletas dominados por la MAE se plantean más dudas ante situaciones de incertidumbre o complicadas, teniendo aproximadamente un 50% de probabilidades de éxito (40). Así se crean oportunidades para evaluar las propias capacidades. Por otra parte, los jugadores dominados por la MEF se sienten más cómodos ante situaciones en que resulta muy fácil vencer (y evitar la vergüenza), o tremendamente difícil y en las que no hay expectativas de ganar (con lo cual, de nuevo, se elimina la posibilidad de sentir vergüenza) (40). A niveles superiores de implicación deportiva, es poco probable que los atletas se vean dominados por la MEF, aunque sin duda mostrarán diversos grados de competitividad. Enfrentados a un reto muy complicado, como ganar una cantidad significativa de peso en músculo magro durante la fase de hipertrofia de un ciclo de la periodización, las personas dominadas por la MEF tal vez reduzcan el esfuerzo por miedo al fracaso o por la amenaza a la autoestima (y tal vez también afirmen que el objetivo es inalcanzable), mientras que los atletas dominados por la MAE podrían elevar su esfuerzo intentando responder al reto y no percibir ninguna amenaza.

Aspectos motivacionales implicados en el aprendizaje de destrezas (práctica autocontrolada)

Además de aportar información para la adquisición de destrezas, prácticas, instrucciones y retroalimentación, también actúan como factores motivacionales para mejorar el rendimiento. Los programas de prácticas que abordan las necesidades psicológicas fundamentales de la autonomía, la competencia y las relaciones sociales influyen en la motivación (47). Actualmente, la literatura dedicada al aprendizaje motor está interesada por el papel de la **práctica autocontrolada** para mejorar la motivación, el rendimiento y el aprendizaje de destrezas. La práctica autocontrolada exige al atleta tomar decisiones relacionadas con la estructura de las prácticas, como cuándo recibir retroalimentación o qué destreza practicar; también implica preguntar a los atletas cómo piensan que lo están haciendo (4-6, 47). Esto favorece una mayor implicación activa en las sesiones prácticas y mejora los sentimientos de competencia y autonomía (5, 6). Como resultado de esa mayor motivación, el aprendizaje y el rendimiento mejoran (5, 6). La implicación de los atletas en algunas decisiones relacionadas con el programa de prácticas es una forma fácil pero eficaz de que se ayuden a sí mismos a alcanzar sus metas de actuación en el deporte. Los conceptos de instrucción, retroalimentación y programa de prácticas se abordan en mayor profundidad más adelante en este capítulo.

Refuerzos positivos y negativos en la instrucción deportiva

Para los entrenadores también es útil conocer los conceptos de refuerzo negativo y positivo, y los conceptos de castigo positivo y negativo, por estar vinculados con la motivación (22). **Refuerzo positivo** es el acto por el cual se incrementa la posibilidad de que se manifieste una conducta dada (una conducta deseada, como un movimiento correcto de pies en el baloncesto, que recibe el nombre de **operante**) al acompañarla de una acción positiva, un objeto o incluso un elogio, una calcomanía en el casco, o premios y recompensas. Todo **refuerzo negativo** también aumenta la probabilidad de que se dé un operante dado, pero se consigue mediante la supresión de un acto, objeto o acontecimiento que suele ser desagradable. Por ejemplo, si el equipo mostró gran entusiasmo y causó mucho bullicio (el operante es el

entusiasmo y el bullicio), entonces el entrenador podría anunciar que no se realizarán esprines al final de la sesión. Este refuerzo por parte del entrenador centra la atención en lo que el atleta hace correctamente.

Por otra parte, el castigo está pensado para disminuir la recurrencia de un operante dado, es decir, de conductas negativas, como cometer errores o no esforzarse. El **castigo positivo** es la presentación de un acto, objeto o acontecimiento tras una conducta que podría disminuir la manifestación de otra. Un ejemplo es reprender a un jugador después de un error u obligarle a hacer flexiones o esprines después de una pérdida de balón. Un **castigo negativo**, o la supresión de algo valioso, pueden consistir en revocar privilegios o limitar el tiempo de juego y dejar al jugador en el banquillo. Aunque los entrenadores recurren a una mezcla de recompensas y castigos, los refuerzos (es decir, las recompensas) —el abordaje positivo— son discutiblemente mejores porque se centran en lo que los atletas deben hacer y en lo que hicieron bien (*retroalimentación positiva específica*). El refuerzo (tanto positivo como negativo) potencia la atención centrada en la tarea en vez de la atención centrada en los miedos y preocupaciones. Una atención centrada en la tarea acelera el tiempo de reacción y de la toma de decisiones. Con refuerzos, los atletas también atesoran recuerdos a largo plazo de éxitos, autoestima, autoeficacia y confianza. Las experiencias exitosas probablemente dan color a la imagen que los atletas tiene de la competición, volviéndola deseable y convirtiéndola en una oportunidad para dar lo mejor de sí mismos. Por supuesto, los entrenadores tal vez castiguen faltas de esfuerzo indeseables, pero parece ineficaz castigar a los atletas por sus errores si se están esforzando por actuar correctamente.

Atención y centro de atención

La capacidad del atleta para concentrarse se entiende mejor con el concepto de la atención. La **atención** se define como el procesamiento de elementos internos y ambientales de los que nos hacemos conscientes. La atención consciente de un deportista se ve constantemente bombardeada por variedad de estímulos externos y pensamientos en los que puede reparar. La capacidad de anular la percepción de ciertos estímulos, para así procesar otros, se denomina **atención selectiva** y suprime toda información irrelevante para la tarea (p. ej., presencia de gente en las bandas del terreno de juego, aviones sobrevolando el estadio) con el fin de procesar la información que sí es

relevante para la tarea dentro de un espacio de atención limitada. En el caso de un lanzador de béisbol, la información relevante podrían ser las tendencias del bateador y la localización de los corredores en la base.

La atención selectiva, a la cual los atletas se suelen referir como *nivel de atención*, es la supresión de estímulos y pensamientos irrelevantes para la tarea.

Los entrenadores de fútbol americano a menudo explotan el potencial estratégico de la atención selectiva de sus contrarios pidiendo un tiempo muerto justo antes de un intento de gol de campo. Durante el tiempo muerto, el oponente puede prestar atención selectiva a más pensamientos irrelevantes, dudar de sí mismo y plantearse la posibilidad de fallar, en vez de centrarse en pensamientos más beneficiosos de autoconfianza o en claves e instrucciones menores. Los pateadores habituales gestionan esta ansiedad y momento propicio para desconcentrarse adoptando un ritual o repasando mentalmente una lista de verificación, a lo cual se llama **rutina**, que encamina conscientemente los pensamientos hacia aspectos controlables y relevantes (p. ej., la respiración, comprobación del estado del césped o la pista, y práctica de estiramientos de isquiotibiales).

El principio fundamental es que pensar activamente en una serie de aspectos impide atender otros pensamientos preocupantes, debido a la capacidad limitada de la memoria operante. Este defecto puede ser una ventaja. Antes, por ejemplo, de mejorar el rendimiento, el atleta podría usar frases clave para centrarse en los elementos relevantes asociados con el levantamiento, como la colocación de los pies, la posición de la espalda, el punto del foco visual y el ángulo de la rodilla durante una sentadilla. Esta estrategia reduce las distracciones, que a menudo nos impiden realizar esfuerzos óptimos. Tales estrategias de concentración favorecen la consistencia mental durante la fase preparatoria, que a su vez favorece la consistencia física: el signo característico de un atleta habilidoso. El primero es el estadio cognitivo, caracterizado por la regulación consciente y forzada del movimiento, es decir, el atleta tiene que pensar en los detalles de la tarea. Durante el segundo estadio, el estado asociativo, el atleta se centra en la tarea, pero está menos preocupado por los detalles del movimiento. Por último, el atleta alcanza el estadio automático, durante el cual la mente se relaja y la destreza se ejecuta de manera automática sin pensar. Asumiendo que haya habido una correcta instrucción y entrenamiento, la mente relajada se centra únicamente en lo que es relevante para la tarea en ese momento y, al mismo

tiempo, filtra automáticamente todos los aspectos irrelevantes. Alcanzar el automatismo de acción —y la claridad de pensamiento que suele acompañarle— es uno de los objetivos de muchos atletas.

¿Cómo se aplican los refuerzos positivos y negativos?

- Los entrenadores deben suscribir una estrategia de refuerzo para ayudar a los atletas a centrarse en lo que hacen correctamente.
- El castigo se aplicará muy de vez en cuando, ya que aumenta la posibilidad de que los atletas se centren en lo que hacen incorrectamente.
- En condiciones que favorezcan un centro de atención estrecho, el refuerzo positivo ayuda a centrarse en claves relevantes para la tarea, mientras que el castigo desborda la capacidad de atención con abundancia de claves irrelevantes.

Modalidades de atención

Nideffer (25) formuló un concepto importante en la psicología del deporte cuando lanzó la teoría de que los individuos tienden a experimentar categorías desplazables de modalidades de atención durante las actuaciones. Estas categorías se caracterizan por dos dimensiones: dirección (interna-externa) y extensión (amplia-estrecha). La primera dimensión se refiere a una perspectiva introspectiva frente a otra de orientación externa, mientras que la segunda dimensión hace referencia a una orientación integradora (expansiva) frente a otra muy selectiva. Estas dimensiones se manifiestan en un continuo en el que se solapan, creando cuatro «cuadrantes» del centro de atención: (1) amplio externo, donde el atleta evalúa la situación observando el entorno y sus diversos elementos; (2) amplio interno, en que el atleta procesa la información y desarrolla una estrategia; (3) estrecho interno, en que el atleta repasa mentalmente la acción inmediata, y (4) estrecho externo, en que el atleta se centra específicamente en una o dos claves externas para producir la acción. Estos conceptos y sus relaciones recíprocas se aprecian en la figura 8.3.

Entender las modalidades de atención mejora la eficacia de la instrucción por parte de los entrenadores. Por ejemplo, un jugador que tiende a sobrecargarse con los estímulos externos podría aprender a centrarse en una clave importante, como el juego de pies del oponente. Los atletas que parecen perderse en sus pensamientos podrían practicar y describir en voz alta, al entrenador, lo que sienten mientras practican una tijera. Sin este tipo de instrucción, es probable que estos jugadores se fijen en claves inapropiadas y

reaccionen con demasiada lentitud.



FIGURA 8.3 Cuadrantes del centro de atención.

Fuente: Adaptado de Nideffer, 1976 (25).

Técnicas psicológicas para mejorar el rendimiento

Aumentar las destrezas mentales mejora el rendimiento en las pistas de deporte, en las salas de los gimnasios y en los campos de entrenamiento; también se produce a veces cierto grado de transferencia y el rendimiento mejora en todas las áreas de la vida. Tanto los negocios como el trabajo, los estudios o incluso las interacciones sociales en general y en cualquier ámbito pueden mejorar con un poco de atención al crecimiento de las destrezas mentales. Estas destrezas psicológicas son muy parecidas a las físicas, técnicas y tácticas en que se enseñan y aprenden, y en que se deben practicar con regularidad para que se produzcan cambios a largo plazo en la conducta. La siguiente sección introduce varias de estas destrezas psicológicas que se integran en el entrenamiento para mejorar el rendimiento general.

Técnicas de relajación para controlar una activación y ansiedad elevadas

Se emplean varias técnicas para que los atletas gestionen sus procesos psicológicos mediante relajación. Las técnicas de relajación están pensadas para reducir la activación fisiológica y aumentar el centro de atención

relevante para la tarea. Estas técnicas son importantes cuando se ejecutan tareas complejas o se practican otras nuevas, para enfrentarse a situaciones estresantes o cuando es necesario un centro de atención deliberado.

Respiración diafragmática

Una técnica sencilla para alcanzar un nivel superior de relajación física y mental es la **respiración diafragmática** (39). Llamada respiración abdominal, este tipo de respiración es una técnica básica para el tratamiento del estrés y un precursor de casi cualquier otra técnica de entrenamiento mental. Se centra la atención en el proceso respiratorio para despejar la mente y, en consecuencia, para aumentar la concentración. Durante cualquier ejercicio de entrenamiento mental, los atletas intentarán adoptar una respiración honda y rítmica de una forma relajada y natural. Fisiológicamente, esta forma de respiración influye profundamente en la frecuencia cardíaca y en la tensión muscular debido a los mecanismos de retroalimentación que vinculan los centros de control respiratorio y cardíaco en el tronco encefálico. La inspiración relativamente profunda, seguida por una espiración controlada, altera el equilibrio del sistema nervioso vegetativo (SNV) de modo que quizá se produzca una elevación del tono vagal o de la actividad parasimpática (28). La rama parasimpática del SNV favorece el efecto contrario: la respuesta simpática de lucha o huida. Por tanto, la respiración rítmica puede disminuir la estimulación neuronal de los músculos esqueléticos y de los órganos (p. ej., corazón, pulmones, hígado), con lo cual se induce una sensación de profunda relajación.

La respiración diafragmática exige que la atención se dirija a la región abdominal. Lo mejor es familiarizarse con ella empezando en bipedestación para que no se inhiba la respiración. El atleta dejará que los brazos cuelguen relajados y se concentrará en relajarse, sobre todo la región del cuello y los hombros, para lo cual primero tomará un par de bocanadas profundas. A continuación, relajará los músculos abdominales hasta que parezcan fláccidos. El inicio de cada respiración debe coincidir con la protrusión relajada de los músculos abdominales; poner una mano en el abdomen nos aporta retroalimentación para estar seguros de que el abdomen sobresale al inicio de cada respiración. En cada respiración, el abdomen se distenderá de forma cada vez más natural. Cuando esta porción de la técnica se ejecuta correctamente, el diafragma (un músculo situado en la base de los pulmones) se contrae y desciende, permitiendo que la respiración sea más profunda. Este

es el primer estadio de una inhalación máxima. Todo el proceso de la inspiración ocurre en tres áreas y estadios distintos: la porción inferior del abdomen, la porción media del tórax y la porción superior del tórax. La respiración diafragmática se puede combinar con técnicas de relajación muscular más dinámicas, como la relajación muscular progresiva y la formación autógena.

Relajación muscular progresiva

Para alcanzar un nivel apropiado de activación somática y cognitiva antes de una actuación, los atletas emplean en ocasiones la relajación muscular progresiva (RMP) (15). La **relajación muscular progresiva** es una técnica mediante la cual las activaciones física y psicológica se autorregulan mediante el control de la tensión de los músculos esqueléticos. En esencia, al experimentar una serie de fases alternantes de tensión y relajación musculares, el atleta aprende a ser consciente de la tensión somática y, por tanto, a controlarla. Lo que se espera es que un cuerpo relativamente relajado favorezca la relajación de la mente.

Estos ciclos de tensión y relajación progresan de un grupo muscular al siguiente hasta que todos los grupos de músculos alcanzan una relajación óptima. Cada ciclo implica la tensión máxima de los músculos durante un corto período de tiempo (10-15 segundos), seguido por un intento consciente de relajar ese músculo por completo. Con práctica, un atleta aprende a discernir rápidamente la diferencia entre un músculo tenso y otro relajado, y luego se implica activamente en generar la necesaria relajación muscular.

En muchos casos, un efecto secundario positivo de la reducción de la tensión muscular es un aumento de la eficacia, fluidez y armonía de los movimientos, así como un incremento del grado de movilidad articular. Esta puede ser una técnica eficaz de autorregulación de algunos atletas antes de las prácticas o la competición, o incluso durante algún momento intenso en una competición. Sin embargo, hay que reparar en que cuando los atletas comienzan a usar la RM, tal vez haya un período de letargo tras su aplicación. En consecuencia, los atletas practicarán esta técnica los días previos a la competición (y no ese mismo día) para determinar su impacto individual.

Formación autógena

Para los atletas que están lesionados o que por alguna razón les resulta incómodo o poco práctico experimentar niveles elevados de tensión muscular, el ciclo de RMP de cada grupo muscular se remplazará por un estado de atención que sencillamente se centre en la sensación de calor y pesadez de una extremidad o grupo muscular concreto. Este tipo de técnica, llamada **formación autógena**, consiste en una serie de ejercicios diseñados para producir sensaciones físicas en el cuerpo, por lo general, calor y pesadez (40). Como la formación autógena elimina la necesidad de alcanzar niveles incómodos de tensión muscular en los ciclos de contracción-relajación, a los atletas mayores o a los atletas en rehabilitación de una lesión tal vez les resulte una alternativa más atractiva que la RMP.

Las técnicas de relajación están pensadas para reducir la motivación fisiológica y aumentar el centro de atención relevante para la tarea. Estas técnicas tienen una extrema importancia cuando se ejecutan tareas nuevas o complejas, o si se ejecutan en situaciones bajo mucha presión.

Desensibilización sistemática

En ocasiones, los miedos se adquieren por estímulos previamente neutros asociados con un acontecimiento estresante. Por ejemplo, un adulto que no sabe nadar y que de niño sufrió una experiencia traumática en el agua tal vez evite toda actividad próxima al agua por una asociación aprendida. Esa persona tal vez tenga miedo y, por tanto, esté tensa ejecutando ejercicios básicos de estiramiento o resistidos cerca de una piscina, incluso ejercicios que no requieran saber nadar. Este ejemplo muestra la importancia de conocer la ciencia del ejercicio. Por ejemplo, el entorno acuático es de gran ayuda para mejorar la flexibilidad. Para beneficiarse al máximo de un programa de estiramientos, todo participante tiene que aprender a relajarse por completo. Si el propósito de la sesión en la piscina es mejorar la flexibilidad, la incapacidad de esa persona para relajarse en ese entorno impedirá fácilmente cualquier mejora de la flexibilidad.

Una técnica que ayuda inicialmente a los atletas a afrontar o a mitigar el miedo es la **desensibilización sistemática (DS)** (45). La desensibilización sistemática combina técnicas físicas y mentales para que los atletas remplacen una respuesta de miedo a distintos estímulos con una respuesta de relajación. Al igual que el entrenamiento en control cognitivo-afectivo del estrés (SMT) y el adiestramiento en inoculación de estrés (AIE), la desensibilización sistemática enseña al atleta a usar respuestas de

afrontamiento con una destreza de relajación específica a fin de controlar la activación cognitiva (40). Este proceso aprendido y adaptativo de sustitución, el principio que sustenta la DS, se llama **contracondicionamiento.**

Para practicar la técnica, los atletas deben contar con un grado razonable de destreza, tanto con la RMP como con la visualización mental. Los atletas deben establecer una jerarquía o progresión de los acontecimientos y situaciones que perciben específicamente como alarmante. Por ejemplo, un gimnasta de competición que haya sufrido una lesión grave en la barra de equilibrio tal vez proyecte una serie de escenas que le infunden miedo, desde el calentamiento antes de la competición hasta el movimiento en sí que causó la lesión.

En un entorno relajado, el atleta visualiza la primera escena y experimenta un grado leve de ansiedad. Al mismo tiempo se inicia la respiración diafragmática, la RMP u otra técnica de relajación física y, teóricamente, se debería imponer una respuesta de relajación profunda al relativamente débil síndrome de lucha o huida. Esta técnica se practica hasta que el atleta retiene la imagen claramente mientras se mantiene relajado. El atleta va ascendiendo en esa jerarquía, experimentando miedo condicionado en pequeñas dosis asumibles, sobre las que se impone la relajación conseguida con la técnica elegida. Este procedimiento previene la evitación cognitiva y activa por condicionamiento inverso una nueva respuesta (relajación) que anula los estímulos que previamente inducían miedo (40).

Visualización

La **visualización** se define como una destreza cognitiva mediante la cual los atletas crean o recrean una experiencia en la mente (40). Lo ideal para los atletas es que empleen todos los sentidos para crear una experiencia mental de la actuación deportiva. El atleta reproduce la realidad reproduciendo mentalmente un movimiento, imaginándoselo con elementos visuales, auditivos, cinestésicos, olfativos e incluso gustativos. Feltz y Landers (8) aportaron pruebas convincentes de la eficacia de la visualización mental para la **mejora** de la destreza deportiva basándose en una revisión metaanalítica de la literatura. Durante las fases iniciales del empleo de la visualización, los atletas comienzan con una imagen visual relativamente sencilla y con la que estén familiarizados. Esto favorece el éxito de la práctica de la técnica. Al igual que sucede con el aprendizaje de cualquier destreza avanzando de lo

más simple a lo más complejo, se empieza por imágenes estáticas, como la visualización de una pelota de golf o el examen mental de las características visuales de una raqueta de tenis. La viveza de los detalles de la imagen debe ser cada vez mayor a medida que se vaya practicando. Algunas personas tienen un talento natural para conseguir claridad de imágenes, si bien todo el mundo puede mejorar con la repetición de estas prácticas.

La perspectiva de la imagen puede ser interna (en primera persona) o externa (en tercera persona). Aunque la literatura de investigación no deja claro si una es superior a la otra, parece que las imágenes más atractivas y naturales para los atletas son las más apropiadas. Por supuesto, la perspectiva interna en primera persona parece ser más específica para la ejecución de la destreza, siempre que la tarea en sí se practique con tal orientación. No obstante, como muchos atletas están familiarizados con la revisión de vídeos o grabaciones de sus actuaciones, la perspectiva externa tal vez también les resulte natural.

Una vez que el atleta visualice con éxito un objeto inmóvil con detalles vívidos, podrá empezar a mover el objeto o a «caminar a su alrededor» mentalmente para contemplarlo desde distintas perspectivas. En el caso de una imagen como una pelota de baloncesto, el atleta tratará de botar la pelota y sentir su contacto en los dedos. De esta manera, el atleta aumentará la complejidad controlando la imagen o moviéndola con control (p. ej., botando la pelota) y aportando una perspectiva multisensorial (es decir, usando sensaciones táctiles o cinestésicas además de visuales).

Ensayar con éxito la ejecución de una destreza en condiciones competitivas imaginadas aporta a la mente consciente recuerdos positivos, con lo que aumenta la confianza y preparación del atleta para ese deporte en particular. Desde luego, la visualización mental no es un determinante tan poderoso de la autoeficacia como el éxito de verdad, pero ofrece dos ingredientes potencialmente poderosos. En primer lugar, el éxito de la ejecución está totalmente bajo el control del atleta durante la visualización, mientras que en la realidad siempre hay inherente cierto grado de incertidumbre sobre el resultado. En la visualización, el atleta tiene una estupenda oportunidad para «experimentar» el éxito. Creemos que los atletas deben ser realistas con las situaciones de éxito que se imaginan; es decir, las imágenes mentales deben suponer un reto personal pero estar en el ámbito de lo posible. En segundo lugar, el atleta puede «experimentar» esa situación competitiva repetidamente, potenciando la familiaridad y la preparación.

En el caso de algunos atletas, los meses de preparación para una temporada —que comprenden el período fuera de temporada, la pretemporada y el acondicionamiento, y el desarrollo de destrezas durante la temporada— se traducen a veces en solo unos minutos de experiencia real en la competición. Incluso para los que se inician en deportes de equipo, la experiencia real de la competición puede ser muy breve en comparación con el tiempo dedicado a la preparación física. Sin embargo, la **visualización mental** permite al atleta acostumbrarse al ambiente de incertidumbre durante períodos de tiempo más largos a pesar del mínimo número de oportunidades para competir en el mundo real.

¿Cómo deben usar los atletas las técnicas de control de la activación?

- Los atletas deben usar técnicas para reducir la activación cuando practiquen una destreza nueva o una que sea compleja, o cuando actúen en situaciones bajo mucha presión.
- Los atletas recurrirán a técnicas para potenciar la activación cuando ejecuten destrezas sencillas, tareas bien asimiladas o en situaciones bajo mínima presión.
- El propósito de la utilización de estas técnicas es que los atletas actúen con la mente despejada mientras ajustan su intensidad física y mental a las exigencias de la tarea.

Autoeficacia

Por supuesto, uno de los objetivos principales de la psicología aplicada al deporte es generar una perspectiva psicológica que mejore el rendimiento, y se ha argüido que la competencia percibida, o autoeficacia (1), es un elemento predictivo mejor de la ejecución de una tarea que la activación o la ansiedad. La **confianza en uno mismo** es la creencia de que se aplicará con éxito una conducta deseada (40), mientras que la **autoeficacia**, una forma de confianza específica de ciertas situaciones, es la percepción de la propia capacidad para ejecutar una tarea dada en una situación específica (1). Alguien con mucha autoeficacia no dudará de su capacidad para alcanzar el éxito en una tarea, incluso cuando se experimente el fracaso.

Según la teoría de Bandura (1), la autoeficacia de una persona deriva de varias fuentes:

- Logros de rendimiento: Experiencias pasadas de éxito o fracaso.
- Experiencias vicarias: Observación de otros atletas (modelado).

- Persuasión verbal: Ánimos de uno mismo o de otros.
- Experiencia imaginaria: Se recurre a la visualización para verse a uno mismo en el desempeño de una acción.
- Estados fisiológicos: La percepción de la activación como elemento potenciador o debilitador.
- Estados emocionales: Afectividad o estado del ánimo.

Estas fuentes se asimilan bien en el ámbito deportivo y del entrenamiento, y en ellas influyen tanto los entrenadores como los mismos atletas.

Se cree que si un atleta cuenta con la necesaria panoplia de destrezas y un nivel aceptable de motivación, entonces la actuación resultante estará en gran parte determinada por la autoeficacia (1). Una destreza por sí sola no es suficiente para garantizar una actuación eficaz; los atletas deben desear actuar bien y tienen que creer que alcanzarán el éxito en su desempeño. Además, el nivel de autoeficacia del individuo influye en las elecciones tomadas, ya sea hacia ciertas actividades en las que tiene confianza, o evitando aquellas en las que carece de confianza. De forma parecida, este concepto influye adicionalmente en el nivel de esfuerzo general, así como en la persistencia para afrontar obstáculos, ya que los que creen en sí mismos se suelen esforzar más y muestran más determinación para obtener el resultado deseado que los que carecen de los niveles suficientes de autoeficacia (40). Está claro que la percepción de la propia capacidad para desempeñar con éxito las tareas del deporte o el entrenamiento tiene un impacto directo sobre el rendimiento real.

La autoeficacia influye en la elección que la persona hace de una actividad, en el nivel de esfuerzo en esa actividad y en la persistencia con la que está dispuesta a enfrentarse a los obstáculos.

Voz interior

Una técnica empleada con frecuencia para potenciar la autoeficacia, dirigir el centro de atención en la dirección correcta, regular los niveles de activación y reforzar la motivación es la **voz interior**. La voz interior, o comunicación intrapersonal, es el diálogo interno que establecemos con nosotros mismos (40). Es lo que nos decimos a nosotros mismos, ya sea en voz alta o dentro de nuestras cabezas, lo cual genera la «banda sonora» de nuestra conducta y de nuestras actuaciones.

La voz interior se suele clasificar como positiva, negativa o instructiva, y

se genera de manera espontánea o con un propósito con el fin de generar cambios en la conducta o el estado de ánimo (38). La voz interior positiva consiste en expresiones o afirmaciones que nos dan ánimo («¡Vamos!»), nos motivan («¡Puedo hacerlo!»), o refuerzan («¡Estoy listo!»), y suelen reflejar emociones o sentimientos favorables. La voz interior negativa suele reflejar rabia, desánimo, duda o juicios negativos («¡Das asco!» «No puedes hacerlo», «¿En qué estabas pensando?»). La voz interior instructiva suele marcar una dirección o centro de atención específicos sobre elementos necesarios para la actuación, según la destreza o estrategia concretas (p. ej., «Pies separados la anchura de los hombros», «¡Mantén el torso erguido!»).

Se ha registrado que la voz interior positiva e instructiva mejora el rendimiento en el marco de los laboratorios; sin embargo, diferencias significativas individuales y ambientales tal vez modifiquen estos datos en el marco de la ejecución en la realidad (38). Por ejemplo, la voz interior instructiva puede ser perjudicial para los expertos, ya que depender de claves específicas del rendimiento puede interferir activamente con la automaticidad del movimiento. Además, existen pruebas de que la voz interior positiva a veces disminuye la autoeficacia de algunas personas (46). Sin embargo, en general la voz interior negativa se asocia con malas actuaciones, puesto que dirige el centro de atención hacia elementos inapropiados, libera energía emocional negativa y socava la confianza. Por tanto, para que el uso de la voz interior sea eficaz, los atletas comenzarán examinando el uso que hacen actualmente de la voz interior y sus efectos sobre el rendimiento. Luego se procederá a una evaluación del modo más apropiado para modificar esta voz interior.

Establecimiento de objetivos

No sorprende que muchos de los conceptos expuestos en este capítulo tengan una influencia directa sobre los demás. La autoeficacia es uno de ellos porque ejerce un impacto significativo sobre los tipos de objetivos que se marca la gente. Los que tienen más confianza y eficacia suelen imaginar, crear y esforzarse por alcanzar las metas más difíciles. El **establecimiento de objetivos** consiste en un proceso mediante el cual se persiguen niveles de rendimiento cada vez más exigentes siguiendo un criterio definido del desempeño del cometido, lo que aumenta la posibilidad de éxito percibido (21). Por ejemplo, el objetivo para un nadador tal vez sea ejecutar

correctamente un estilo de natación durante una distancia oficial, como los 50 m estilo libre. Al principio, el nivel de destreza del nadador tal vez sea tan bajo que semejante tarea parezca insalvable y genere una honda sensación de frustración y fracaso, pese a que la prueba fisiológica demuestre al entrenador que ese atleta cuenta con los recursos físicos para sobresalir en esa competición (es decir, el nadador tiene un alto grado de fibras musculares de contracción rápida, o tipo II, despliega una potencia muscular superior o enorme velocidad-fuerza con los hemicuerpos superior e inferior, y parece tener mucha capacidad de metabolismo anaeróbico). Sin embargo, la mecánica del estilo natatorio es ineficaz; el atleta es muy consciente de ello y, en consecuencia, ha perdido confianza en sí mismo. En primer lugar, el entrenador y el atleta dividirán la destreza y las unidades de acondicionamiento en componentes manejables (el tradicional método de aprendizaje de la práctica de las partes frente a la práctica del todo). Luego, a medida que el atleta se centre y domine cada componente, irá creciendo la sensación de progreso y de éxito, aumentando así la confianza en sí mismo, y estará más motivado para completar ese complicado objetivo.

El establecimiento sistemático de objetivos aumenta simultáneamente el desarrollo psicológico y el rendimiento del atleta (40). Varias razones explican por qué el establecimiento de objetivos influye en el rendimiento:

- Los objetivos dirigen la atención del atleta al priorizar sus esfuerzos.
- Los objetivos elevan el esfuerzo por la contingencia del éxito en la consecución de objetivos.
- Los objetivos aumentan el refuerzo positivo mediante la retroalimentación administrada a los atletas.

Parece que la naturaleza informativa de los objetivos seriamente derivados, que aumentan el esfuerzo por ser difíciles aunque alcanzables, es un poderoso ingrediente del cambio de conducta.

Metas de proceso

Un hecho importante relacionado con el establecimiento de metas es la diferencia entre proceso y resultado (2). Las **metas de proceso** son aquellas sobre las que el atleta tiene control. Se centran en las acciones que hay que emprender durante la actuación para ejecutar bien la destreza. Si se invierte el esfuerzo necesario, el éxito llega con un grado relativamente alto de

probabilidad. Los ejemplos de metas de proceso en el dominio de destrezas guardan relación con la forma y la técnica, aunque también se podría considerar una meta de proceso un período determinado individualmente (en el caso de un nadador o un practicante de atletismo). Un ejemplo de meta de proceso en el campo de la fuerza y el acondicionamiento físico es que el atleta se centre en la estrategia para bajar de peso (p. ej., lo que el atleta debe hacer a diario, como actividades aeróbicas y modificaciones de la dieta) en vez de en el resultado real (p. ej., la bajada de peso), con lo que se incrementa la sensación de control sobre las acciones. Con las metas de proceso el éxito depende fundamentalmente del esfuerzo.

Metas de resultado

Por otra parte, las **metas de resultado** son aquellas sobre las que el atleta tiene poco control; por lo general, ganar es el objetivo principal. Las metas de resultado en el deporte se suelen centrar en el resultado competitivo del evento, por lo que ganar una medalla, marcar tantos y situarse en lo más alto de la clasificación serían todos ellos ejemplos de esta categoría. La consecución de metas de resultado depende no solo del esfuerzo individual, sino también de los esfuerzos y capacidades de los demás, lo cual queda fuera del control personal del individuo. Creemos que ganar es una orientación segura de los objetivos, que sin duda generan niveles altos de motivación; sin embargo, irónicamente, un atleta también puede aumentar la posibilidad de lograrlo mediante una orientación tanto hacia metas de proceso como de resultado, en oposición a una actitud centrada únicamente en ganar. El énfasis indebidamente puesto solo en ganar puede ocupar tal proporción de la capacidad de atención que provoque un estrechamiento del centro de atención, y que por eso se pierdan claves relevantes, se enlentezca el tiempo de reacción y disminuya la coordinación debido a los movimientos forzados y a que el automatismo ha quedado comprometido, todo lo cual altera la secuencia neuromuscular e inhibe la consecución del objetivo deseado.

Tanto las metas de proceso como las metas de objetivo se aplican también en el marco de la fuerza y el acondicionamiento físico. Por ejemplo, poner el énfasis en la técnica durante la cargada de potencia pone de relieve una orientación hacia el proceso, mientras que centrarse únicamente en completar la serie muestra una orientación hacia el resultado. Una excepción a la advertencia general sobre evitar las metas de resultado es la situación de un atleta que confía hasta el extremo en sí mismo y no tiene rival en la

competición. Tal vez solo quiera centrarse en el resultado y en conseguir una marca personal para potenciar la motivación.

Metas a corto plazo

Además de la distinción que acabamos de establecer entre proceso y resultado, las metas también se clasifican en metas a corto y a largo plazo. Las **metas a corto plazo** suelen ser las directamente relacionadas con el entrenamiento o competición en curso, y son directrices que se cumplen en un tiempo relativamente corto. Las metas a corto plazo también aumentan la posibilidad de éxito porque, aunque difíciles, están relativamente próximas al nivel de capacidad actual del atleta. También aumentan la confianza, la autoeficacia y la motivación, por la posibilidad de éxito. En este sentido, las metas de proceso y resultado a corto plazo combaten el aburrimiento y la frustración, que son los efectos secundarios potenciales de los largos y agotadores regímenes de entrenamiento.

Pautas para el empleo del establecimiento de objetivos

- Las metas a corto y a largo plazo son interdependientes.
- Las metas a largo plazo aportan significado y dirección para perseguir las metas a corto plazo.
- La consecución de metas a corto plazo establece un sentido jerárquico de dominio y éxito que potencia la confianza en uno mismo.
- Los atletas deben definir las metas de proceso para centrarse en elementos de su actuación sobre los que tienen control.

Metas a largo plazo

No obstante, el significado pleno del valor a corto plazo del éxito se enmarca dentro de metas apropiadas a largo plazo. Las **metas a largo plazo** son las que enmarcan las metas a corto plazo. La consecución de esas metas a corto plazo debería conducir a la consecución de la meta o metas a largo plazo. El atleta tal vez le dé más relevancia a las metas de práctica si es muy aparente cómo ayudan a conseguir el nivel definitivo de rendimiento. Por ejemplo, una gimnasta que tenga el objetivo a largo plazo de ganar el ejercicio de suelo en los campeonatos nacionales durante su último año universitario tal vez se muestre más intensa y positiva ante los ejercicios de acondicionamiento físico en la sala de pesas cuando percibe la relevancia que tiene para su sueño. Un atleta puede estar más activo psicológica y fisiológicamente durante la

práctica por la percepción de que la actividad de hoy es un escalón más de la escalera para la consecución de un sueño personal a largo plazo.

Por último, la especificidad de las metas —a corto o a largo plazo— es importante en relación con la comunicación al atleta de retroalimentación para una instrucción eficaz por parte del entrenador. La retroalimentación, el conocimiento del éxito y el fracaso, es más eficaz en presencia de metas específicas y cuantificables, al contrario que una valoración imprecisa del rendimiento. La retroalimentación es un mecanismo corrector, como un termostato o un instrumento cibernético. Tanto el éxito como el fracaso ayudan a los atletas a mantener el rumbo para conseguir el éxito a largo plazo. Por ejemplo, una meta específica de 25 minutos de rodaje continuo con una frecuencia cardíaca entre 160 y 170 latidos/min es un objetivo más atractivo que «salir a correr». Una formulación imprecisa de las metas tal vez esté bien para un atleta recreativo, pero no ayudará a un corredor de *cross* competitivo, sobre todo cuando la meta sea desarrollar la capacidad fisiológica.

El establecimiento de metas óptimas requiere conocer las ciencias del ejercicio en el terreno biofísico y conductual. La eficacia de las metas para mejorar el rendimiento atlético radica en su relevancia para las necesidades físicas del atleta. Por ejemplo, formular una serie de metas apropiadas para que un corredor de los 400 m baje su registro en esa distancia pasa por conocer el perfil físico, por las vías metabólicas relevantes y por desarrollar la técnica biomecánica.

Por supuesto, algunas metas tal vez sean completamente psicológicas y, por tanto, solo se basen indirectamente en el rendimiento. Un ejemplo de tales metas es adoptar un estado de ánimo positivo para una práctica completa. Aunque tales metas exijan menos conocimientos de biofísica, pueden ser de una utilidad enorme para mejorar el rendimiento, porque son metas sobre las que el atleta tiene un control pleno y facilitan la inhibición de la habitual voz interior negativa. Sin embargo, los programas generales para el establecimiento de metas abarcan varias áreas de la ciencia del ejercicio, porque tal vez impliquen metas pertenecientes a varias subdisciplinas: fisiología, metabolismo, biomecánica, nutrición y psicología. Este requisito tan solo distingue la psicológica del deporte de otras ciencias de la conducta.

Mejora de la adquisición y aprendizaje de destrezas motoras

Un conocimiento dilatado del impacto y el valor de la psicología del deporte en el rendimiento atlético no está completo sin conocimientos básicos sobre el solapamiento en la adquisición de destrezas motoras y en el aprendizaje de temas. La integración de esta ciencia conductual significativamente afín mejorará el rendimiento y la capacidad de aquellos que los entrenan. En las secciones siguientes se exponen técnicas seleccionadas para mejorar el aprendizaje de destrezas motoras, como las relacionadas con el programa de práctica, la instrucción y la retroalimentación. Aunque los estudios de investigación demuestran resultados favorables con técnicas concretas, es importante tener en cuenta el carácter único del atleta, de la tarea y del entorno. Lo que tal vez facilite el aprendizaje de un atleta podría tener un efecto distinto sobre otro. Las siguientes secciones, por tanto, pueden servir como una guía básica ajustable a las necesidades del atleta, la tarea y el entorno.

Distinción entre aprendizaje y actuación

Antes de plantearnos las técnicas para mejorar el aprendizaje de las destrezas motoras, es importante distinguir entre aprendizaje y actuación. El aprendizaje es un proceso que produce un cambio relativamente permanente en la capacidad para ejecutar una destreza motora (30). Actuación es la ejecución de la destreza en el entorno habitual (16). Como se ha expuesto a lo largo de este capítulo, en la actuación influyen la activación, la motivación y muchos otros factores, razón por la que tal vez no sea un indicador de las destrezas del atleta (3). Aunque las técnicas expuestas aquí facilitan el aprendizaje de destrezas, algunas quizá causen decrementos en el rendimiento durante la sesión práctica. Es imperativo asumir esta posibilidad y no dar por hecho que la actuación de un atleta durante una sesión práctica dada refleja su aprendizaje real de la destreza en sí.

Programa de prácticas

La práctica es esencial para el aprendizaje de destrezas motoras y, lo más importante, las prácticas que plantean desafíos son las que permiten la adquisición de destrezas; las repeticiones *per se* no son suficientes para cambiar la conducta (27). Una de las muchas formas de facilitar el aprendizaje de destrezas es mediante la manipulación de la estructura y el programa de las prácticas.

Práctica de las partes frente a la práctica del todo

Por lo que respecta a la enseñanza de destrezas motoras complejas, sigue habiendo debate sobre la eficacia de la práctica de las partes frente a la práctica del todo. La **práctica del todo** aborda la destreza en su totalidad, mientras que la **práctica de las partes** divide la destreza en una serie de componentes. Por regla general, las tareas que plantean retos pero cuyos componentes están poco interrelacionados se aprenden mejor con la práctica de las partes (24). Por ejemplo, la arrancada es un movimiento de potencia complicado que se puede dividir en cuatro componentes: primer tirón, transición, segundo tirón y recepción. Por otra parte, la práctica del todo tiende a ser la preferida cuando la tarea contiene componentes muy interconectados, dado que la práctica de las partes inhibe la eficaz combinación de los componentes (24). Cuando adoptamos una tijera, resultaría ineficaz separar los movimientos de la pierna que se adelanta de los movimientos de la pierna retrasada, dado que ambos componentes están muy interrelacionados. Por tanto, es mejor aprender la tijera con la práctica del todo. Con independencia de la interrelación de los componentes de una tarea, en aquellos casos en los que la destreza resulte peligrosa o costosa de aprender en su totalidad, la elección preferida es la práctica de las partes.

Si se va a emplear la práctica de las partes, existen numerosas formas de dividir una tarea en sus componentes. La **segmentación** secciona la tarea en una serie de componentes que presentan transiciones evidentes entre ellos (41). Por ejemplo, tal y como se mencionó previamente, la arrancada es una acción que se puede dividir en el primer tirón, la transición, el segundo tirón y la recepción. El **fraccionamiento** divide las tareas en sus componentes que ocurren simultáneamente (41). Al ejecutar el ejercicio de extensión de hombros, el atleta practica independientemente el movimiento de *press* de los brazos y el movimiento de empuje de las piernas. Por medio de la **simplificación** se ajusta la dificultad de las tareas cambiando sus características, como la velocidad de ejecución o el equipamiento utilizado (41). En la arrancada, el atleta practica primero los componentes con una tubería de PVC. En este caso, se emplean la segmentación y el fraccionamiento.

Cuando se enseñan los componentes de la tarea, existen múltiples métodos para integrar las partes de nuevo en la tarea. El **entrenamiento puro de las partes** (también llamado método de las partes frente a la práctica del todo) requiere que el atleta practique cada elemento de la destreza múltiples veces y

de manera independiente. Una vez practicados todos los componentes, la destreza se practica en su totalidad (41). En la arrancada, se practica el primer tirón, luego la transición, seguida por el segundo tirón y, para terminar, la recepción. Después de que las destrezas se hayan practicado muchas veces, se practica la arrancada en su totalidad. En el **entrenamiento progresivo de las partes** el atleta ejercita los primeros dos componentes de manera aislada antes de practicarlos juntos (41). A continuación, trabaja el tercer componente antes de practicar los tres juntos. En la arrancada, efectúa primero el primer tirón y luego la transición, y a continuación, el primer tirón con la transición. El atleta realiza seguidamente el segundo tirón antes de practicar el primer tirón, la transición y el segundo tirón como una destreza combinada. Esta progresión continúa hasta que se ha reintegrado toda la destreza. En el **entrenamiento repetitivo de las partes,** el atleta practica solo la primera parte de forma aislada, y luego se van añadiendo cada uno de los otros componentes hasta que se reintegra toda la tarea (41). En este caso, el atleta practica primero el primer tirón; luego el primer tirón con la transición; después el primer tirón, la transición y el segundo tirón; y así sucesivamente. Con el uso de la simplificación, se pueden sumar gradualmente características de la tarea, aumentando su dificultad. La opción de la secuenciación dependerá de la tarea y de las metas de la sesión de entrenamiento en cuestión.

Práctica aleatoria

Tradicionalmente las destrezas se practican en bloque, de modo que los atletas practican la misma destreza múltiples veces antes de pasar a otra destreza. En la **práctica aleatoria**, se practican muchas destrezas en orden aleatorio durante una sesión práctica dada. Por ejemplo, durante la práctica repetida, el atleta practica en orden aleatorio la caída desde un cajón con sentadilla y salto vertical; la caída desde un cajón y salto con un movimiento lateral; los saltos con sentadilla elongada, y las zancadas laterales altas con apoyo sobre banco alternando piernas. El atleta sigue repitiendo estas destrezas en orden aleatorio. Aunque el rendimiento de cada una de estas destrezas individuales declina inicialmente durante la práctica aleatoria, su aprendizaje se facilita gracias al diseño de esta práctica (33). Cuando se aplica en el marco de algún deporte, la integración de la práctica repetida y aleatoria (unos cuantos intentos repetidos de cada destreza antes de seguir con la siguiente) potencia los beneficios de ambos programas de práctica

(18). En el caso de los saltos, el atleta practica unas cuantas repeticiones de la caída desde un cajón con sentadilla y salto vertical antes de pasar a otro movimiento como las zancadas laterales altas con apoyo sobre banco alternando las piernas.

Práctica variable

Parecida a la práctica aleatoria, la **práctica variable** comprende variaciones de la misma destreza en la misma sesión práctica, en oposición a la práctica específica, en la que se repite múltiples veces una destreza concreta (es decir, caída desde un cajón y salto a un segundo cajón de una altura específica). En la práctica variable, el atleta practica la caída de un cajón y el salto a cajones de distintas alturas. Parecida a la práctica aleatoria, la práctica variable puede alterar la actuación durante la sesión práctica, pero mejorar la ejecución de una variación novedosa de una destreza (19), como la capacidad de saltar con rapidez a un segundo cajón después de saltar desde una altura no practicada antes. Una combinación de práctica variable y de práctica específica permite a los atletas desarrollar destrezas específicas de un deporte al tiempo que proporciona a esos atletas la flexibilidad para actuar en contextos extraños (19). Esta flexibilidad es importante para el éxito del atleta, dado que el deporte exige desenvolverse en entornos extraños (partidos en viajes) y modificar con exactitud una destreza práctica como respuesta a la actuación del oponente. Por ejemplo, entrenar el aterrizaje y salto vertical a distintas alturas permitirá al atleta responder en un partido y ejecutar la destreza en un contexto con el que está poco familiarizado.

Aprendizaje por observación

La **práctica por observación** de una acción, tarea o destreza que se va a ejecutar tiene implicaciones importantes para el aprendizaje de destrezas motoras. Esta práctica emplea con frecuencia vídeos grabados o demostraciones en vivo. La persona que ejecuta la destreza observada puede ser un novato, un atleta competente o un experto. Cuando la práctica física se combina con práctica de observación, el aprendizaje mejora (32). En el marco de la fuerza y el acondicionamiento físico, el trabajo con un compañero facilita el aprendizaje. Mientras un atleta completa un levantamiento o un ejercicio, el otro observa durante su período de descanso, y viceversa. Sakadjian (29) halló que la práctica por observación, combinada con práctica

física, facilitaba la mejora de la técnica de la cargada de fuerza en comparación con la práctica física por sí sola. La práctica por observación ayuda a los atletas a conseguir la técnica deseada, con lo que se asegura la seguridad del atleta y se posibilita una progresión más rápida a levantamientos con más carga.

Instrucciones

Un entrenador puede facilitar el aprendizaje variando la cantidad de detalles que aporta en la instrucción al estilo de aprendizaje más fuerte de los atletas. Los estilos de instrucción se dividen en aprendizaje por descubrimiento, aprendizaje por descubrimiento guiado e instrucciones explícitas. Las **instrucciones explícitas** comprenden información prescriptiva que enseña a los atletas las «reglas» para ejecutar con eficacia la tarea dada. Al aprender una sentadilla, el atleta recibe instrucciones detalladas sobre la posición específica del cuerpo durante el movimiento, así como el tipo (p. ej., flexión-extensión) o cantidad de movimiento en cada una de las articulaciones. El **aprendizaje por descubrimiento guiado** aporta al atleta instrucciones sobre el objetivo global del movimiento e importantes señales para el cumplimiento de la tarea sin decirle explícitamente el modo de realizar la tarea. Solo se le comunica la meta del ejercicio de caída desde una altura con sentadilla y salto vertical, así como unos cuantos recordatorios para prevenir lesiones, como el mantenimiento de la columna vertebral neutra. Este estilo confiere cierta dirección y al tiempo permite al atleta explorar las relaciones entre los patrones de movimiento ejecutados y la meta del movimiento asociado. Por último, el **aprendizaje por descubrimiento** enseña al atleta cuál es la meta general de la tarea y él recibe poca o ninguna atención. En este caso, al atleta solo se le pide que haga una sentadilla hasta una profundidad concreta y se le permite explorar métodos para cumplir esta tarea. Un estilo de aprendizaje por descubrimiento quizá ralentice el proceso de aprendizaje; sin embargo, recibir instrucciones explícitas puede alterar el rendimiento en un entorno estresante (34). Las menores exigencias de atención de los estilos de aprendizaje por descubrimiento y por descubrimiento guiado permiten a los atletas aumentar su centro de atención sobre las claves relevantes en la ejecución de la tarea (49).

Retroalimentación

La retroalimentación desempeña un papel significativo en la adquisición de destrezas motoras al aportar al atleta información sobre el patrón de movimiento y la meta asociada. Esta información puede usarse luego para hacer los ajustes apropiados para obtener el patrón y la meta de movimiento deseados. La **retroalimentación intrínseca** depende de los mismos sentidos del atleta, por ejemplo, información sensorial de que se ha pasado una caja durante un ejercicio de caer desde una altura con sentadilla y salto a un cajón. La integración de la información sensorial permite al atleta afinar y ajustar el patrón de movimiento para producir el movimiento deseado y alcanzar la meta de tarea asociada. La **retroalimentación suplementaria** le llega al atleta de un observador, como un entrenador, o por medios tecnológicos, como un vídeo o equipo de laboratorio. Después de caer desde una altura con sentadilla y salto a un cajón, el entrenador puede decir al atleta que el contramovimiento de las caderas fue demasiado lento y que por ello se pasó el cajón.

Lo que queda de esta sección se centra en la retroalimentación suplementaria, que se divide a su vez en conocimiento de los resultados y conocimiento de la actuación. El **conocimiento de los resultados** proporciona al atleta información sobre la ejecución de la meta de tarea. Por ejemplo, con un circuito de agilidad y velocidad en forma de T, el entrenador cuenta al atleta lo rápido que ha completado la actividad. También se le puede suministra información normativa comparando este tiempo con otros. Tanto la retroalimentación normativa positiva como la retroalimentación sin comparaciones mejoran el aprendizaje de destrezas en comparación con la retroalimentación normativa negativa (20). El **conocimiento de la actuación** proporciona al atleta información sobre su patrón de movimiento. Esta información se suministra mediante el análisis de vídeos o usando equipamiento especializado de laboratorio, como una plataforma de equilibrio y resistencia. En el caso del circuito de agilidad y velocidad en forma de T, el entrenador proporciona al atleta información específica sobre el movimiento durante el test T, como la posición del cuerpo durante los cambios de dirección. Cuando la meta de tarea es un movimiento —por ejemplo, una correcta postura en una cargada de potencia—, se produce un solapamiento entre el conocimiento de los resultados y el conocimiento de la actuación y, por tanto, se pueden convertir en lo mismo.

El sentido de la oportunidad y la frecuencia de la retroalimentación también influyen en los resultados del aprendizaje. La retroalimentación que

se suele ofrecer con la tarea mejora la actuación pero altera el aprendizaje; por tanto, esta retroalimentación es beneficiosa en el marco de la competición (43). No obstante, la retroalimentación que se aporta después de la ejecución de la tarea facilita el aprendizaje de la destreza (43). Esta retroalimentación se puede aportar después de cada intento o después de una serie de intentos. Aunque la disminución de la frecuencia altere el rendimiento durante la práctica, una retroalimentación menos frecuente mejora la adquisición de destrezas en comparación con la retroalimentación después de cada intento (44), excepto en casos en que la destreza sea compleja (48). Por lo tanto, durante el aprendizaje inicial de una destreza resulta beneficioso aportar retroalimentación más frecuente para luego ir espaciándola a medida que el atleta mejora su nivel de destreza.

La retroalimentación se emplea para facilitar el aprendizaje y la actuación. El sentido de la oportunidad y la frecuencia de la retroalimentación influyen de maneras diferentes en el aprendizaje y la actuación. Aunque la retroalimentación inmediata sea beneficiosa para la competición, la retroalimentación diferida, inicialmente frecuente pero que se espacia y disminuye con el tiempo, facilita el aprendizaje de patrones complejos de movimiento.

Conclusión

Aunque un programa de instrucción científico y motivacionalmente seguro ayude mucho al desarrollo de los atletas, otras técnicas psicológicas complementarias pueden mejorar su eficacia global. En realidad, es probable que la mayoría de los atletas hayan tenido experiencias de adaptación e inadaptación en forma de incontables prácticas y competiciones, y, como resultado, hayan desarrollado un repertorio de destrezas mentales más o menos eficaces. Los conocimientos básicos de algunos de los principios psicológicos para generar cambios cognitivos-conductuales que se han visto en este capítulo ayudan a facilitar la mejora de las actuaciones y de la calidad de vida.

El entrenador y el atleta pueden contribuir a mejorar los resultados de actuación y aumentar el disfrute de la competición si prestan atención a los aspectos psicológicos de la instrucción y la actuación. Un método de instrucción positivo y orientado a la consecución de metas es uno de los elementos que más contribuyen a la preparación psicológica para el deporte. La preparación física y nutricional del atleta representa la base sobre la que se alza el potencial de actuación, dado que el papel de la psicología es gestionar

mentalmente los recursos físicos desarrollados (es decir, fuerza, velocidad, flexibilidad y destreza), permitiendo al atleta alcanzar su potencial de manera más consistente. Además, un conocimiento adecuado de la relación entre cuerpo y mente, como se refleja en los conceptos de este capítulo, facilita la comunicación del especialista en la fuerza y el acondicionamiento físico con el atleta, y le ayuda a controlar y gestionar las emociones, la activación, el centro de atención y la motivación. Mediante técnicas psicológicas apropiadas se favorece este proceso de autogestión. La experiencia del éxito en el deporte puede ser importante en sí y *per se*, pero creemos que lo más importante de la mejora de la utilización de las destrezas mentales tal vez sea el aumento de la autoestima, de la confianza en uno mismo y del concepto positivo de uno mismo que adquieren los atletas en su vida en general.

TÉRMINOS CLAVE

activación
ansiedad
  cognitiva
  crónica
  somática
  transitoria
aprendizaje
  por descubrimiento
  por descubrimiento guiado
atención
  selectiva
autoconfianza
autoeficacia
castigo
  negativo
  positivo
conocimiento
  de la actuación
  de los resultados
contracondicionamiento
desensibilización sistemática (DS)
distress

eficacia
  fisiológica
  psicológica
emociones
entrenamiento
  autógeno
  progresivo de las partes
  puro de las partes
  repetitivo de las partes
establecimiento de metas
estado ideal de rendimiento
estrés
eutrés
factor estresante
fraccionamiento
instrucciones explícitas
mejora
metas
  a corto plazo
  a largo plazo
  de proceso
  de resultado
motivación
  extrínseca
  intrínseca
  para alcanzar el éxito (MAE)
  para el éxito
  para evitar el fracaso (MEF)
operante
práctica
  aleatoria
  autocontrolada
  de las partes
  del todo
  por observación
  variable
psicología del deporte

refuerzo
  negativo
  positivo
relajación muscular progresiva (RMP)
respiración diafragmática
retroalimentación
  intrínseca
  suplementaria
rutina
segmentación
simplificación
teoría
  de la catástrofe
  de la inversión
  de la U invertida
  del impulso
visualización
  mental
voz interior
zonas individuales de funcionamiento
óptimo

PREGUNTAS DE REPASO

(respuestas en la página 657)

1. Un halterófilo olímpico que intenta mejorar su récord personal es capaz de ignorar a la audiencia y concentrarse únicamente en su actuación. ¿Cuál de las siguientes capacidades es más probable que use este atleta para ejecutar el ejercicio?
   a. Atención selectiva.
   b. Ansiedad somática.
   c. Aprendizaje por descubrimiento guiado.
   d. Autoeficacia.

2. El deseo de un atleta por demostrar su potencial es un ejemplo de:
   a. Motivación para evitar el fracaso.
   b. Entrenamiento autógeno.

c. Atención selectiva.
d. Motivación para el éxito.

3. En el caso de un equipo de fútbol americano de un instituto, si un jugador hace dos sentadillas con su peso corporal, su nombre se apunta en la pared. Este es un ejemplo de:
   a. Refuerzo negativo.
   b. Refuerzo positivo.
   c. Castigo negativo.
   d. Castigo positivo.

4. ¿Cómo cambia el nivel óptimo de activación de un atleta con capacidad y destreza limitadas para ejecutar la actividad?
   a. Aumenta.
   b. Disminuye.
   c. No tiene efecto alguno.
   d. No guarda relación con la actividad.

5. Al enseñar las extensiones de hombros, ¿cuál de los siguientes es un ejemplo de segmentación con integración de entrenamiento puro de las partes?
   a. Practica las extensiones de hombros sin equipamiento alguno, progresa practicando con una tubería de PVC y termina con una barra sin discos de pesas.
   b. Practica la porción de descenso del ejercicio, luego practica esa porción de descenso junto con la impulsión, y termina con la práctica del ejercicio completo.
   c. Practica la porción de descenso del ejercicio, la impulsión y la recepción de forma independiente antes de practicar el ejercicio completo.
   d. Practica la porción de descenso y la impulsión de forma independiente; luego practica la porción de descenso con la impulsión; después practica la recepción de manera independiente, y termina con la práctica del ejercicio completo.

CAPÍTULO 9

La salud y los factores nutricionales básicos

Marie Spano

A la conclusión del capítulo, el lector:

- Derivará, cuando sea necesario, a un atleta al centro adecuado, a un médico o un dietista deportivo.
- Identificará las recomendaciones sobre proteínas, hidratos de carbono y grasas para los atletas.
- Enumerará las recomendaciones dietéticas para la prevención de enfermedades y para la salud en general.
- Determinará las pautas para la hidratación y la reposición de electrolitos en distintos grupos de edad y en diferentes situaciones, y ayudará a que los atletas desarrollen un plan individualizado de hidratación.

Una buena nutrición aporta a los atletas los nutrientes necesarios para la salud general, el crecimiento, desarrollo, reparación y generación de tejido muscular, así como la energía necesaria para entrenar, competir y mantener el centro de atención mental y la concentración. Un plan nutricional a medida de las necesidades específicas del atleta ayuda a limitar el riesgo de lesiones y enfermedades, y potencia las adaptaciones al entrenamiento (mejoras) al tiempo que ayuda a que el atleta alcance sus metas de actuación. Este capítulo se centra en la razón científica de las prácticas nutricionales para mejorar el rendimiento, además de suministrar sugerencias para que los corredores apliquen la ciencia de la nutrición deportiva en casos de la vida real.

Debido a la cantidad de información errónea sobre nutrición y consejos nutricionales contradictorios que circulan por Internet, en hojas impresas o por el boca a boca, la nutrición puede resultar muy confusa para los atletas (185). Además, las necesidades dietéticas de cada atleta difieren de las de sus

pares sedentarios del mismo sexo y edad debido a las exigencias fisiológicas del deporte. Las pautas nutricionales para el público en general no son necesariamente aplicables a los atletas. Como las necesidades nutricionales de cada atleta dependen de muchos factores (edad, corpulencia, composición corporal, sexo, genética, condiciones ambientales del entrenamiento, lesiones, necesidades nutricionales médicas, y la duración, frecuencia e intensidad del entrenamiento), los requisitos nutricionales varían tremendamente entre individuos, incluso si juegan en la misma posición. Y, por último, como la nutrición es una ciencia compleja y en constante evolución, es importante que los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico tengan conocimientos básicos sobre nutrición, además de una lista de profesionales de la nutrición a los que derivar a los atletas para recibir consejos nutricionales individualizados y basados en los últimos hallazgos científicos.

Papel de los especialistas en nutrición deportiva

La nutrición deportiva es un campo multidisciplinario complejo y los preparadores físicos, los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico, los médicos, los científicos del ejercicio y los suministradores de alimentos cuentan con diversos grados de conocimientos nutricionales. Hay que subrayar las responsabilidades laborales del personal dedicado a la formación de los deportistas basadas en la educación nutricional y los conocimientos de los miembros de la plantilla, el tipo de información nutricional proporcionada y la regulación estatal sobre licencias respecto a la práctica nutricional.

Todos los dietistas deportivos deben estar capacitados para contestar preguntas básicas sobre nutrición (por ejemplo, «¿alguna idea sobre aperitivos sanos que se puedan tomar?»). No obstante, los atletas con problemas nutricionales complejos serán derivados al profesional sanitario apropiado, sea un médico de equipo o un dietista deportivo. El médico de equipo es responsable de supervisar la atención médica del atleta mientras que el dietista deportivo es responsable de proporcionar consejos dietéticos individualizados. Un **dietista deportivo** es un bromatólogo licenciado (también llamado dietista nutricionista colegiado) con formación específica y experiencia en nutrición deportiva. La certificación de Especialista en Dietética Deportiva Acreditada (CSSD) expedido por el Comité de la Academia de Nutrición y Dietética (AND) distingue a los dietistas con

experiencia en nutrición deportiva de otros dietistas especializados en otras áreas de la nutrición (véase el cuadro sobre este tema). Y aunque algunos dietistas deportivos cuentan con entrenamiento o destrezas complementarias y tal vez sean trabajadores sociales, entrenadores físicos o chefs, cualquier programa general de nutrición deportiva requiere atención completa; por tanto, estas destrezas secundarias se deben considerar más un complemento de los conocimientos del dietista deportivo que un motivo para que una sola persona intente ocupar dos puestos laborales distintos. Y por último, los puestos más altos suelen corresponder a aquellos que han obtenido un máster o un doctorado. Los dietistas deportivos ayudan a los atletas a establecer la conexión entre alimentación y rendimiento.

En ocasiones, médicos y dietistas deportivos trabajan juntos para ayudar a deportistas con trastornos de la conducta alimentaria, déficits nutricionales o estados patológicos específicos como la diabetes. Como la información médica y nutricional del atleta se puede compartir con otros miembros del personal técnico o de formación de jugadores con el fin de suministrar atención general, en Estados Unidos toda la plantilla debe seguir las pautas de la Ley de Transferencia y Responsabilidad de Seguro Médico (HIPAA) para gestionar la información sanitaria del atleta.

Un entrenador nutricionista deportivo es un profesional que no está licenciado en dietética, pero que posee formación básica sobre nutrición y ciencia del ejercicio. Por ejemplo, el especialista en fuerza y condicionamiento deportivo puede actuar de entrenador nutricionista deportivo, suministrando formación y sugerencias sobre nutrición básica. Situaciones más complejas en las que la comida o nutrición se emplean para tratar o gestionar una afección médica (que abarque un déficit nutricional) requieren tratamiento médico nutricional y se adscriben al rol del dietista deportivo. Los entrenadores nutricionistas deportivos pueden acceder a estudios adicionales si obtienen el título de nutricionista deportivo. Por ejemplo, el Consejo Norteamericano del Ejercicio (ACE) cuenta con un título de Especialista en Nutrición para el Acondicionamiento Físico pensado para entrenadores personales, instructores de *fitness* y profesionales sanitarios. Además, el Título de Especialista en Nutrición Deportiva de la Sociedad Internacional de Nutrición Deportiva (ISSN) requiere el título de bachillerato para el examen y está dirigido a entrenadores personales u otros profesionales del ejercicio que no tienen un título universitario de cuatro años. El ISSN también ofrece credenciales de nutricionista deportivo (CISSN), que exigen

un título de graduado de cuatro años (estudiante especializado en ciencia del ejercicio, nutrición o un campo afín) y están pensados para profesionales de la salud, el ejercicio y la medicina que trabajen con atletas y personas activas.

Un nutricionista deportivo con un título superior es un profesional que puede trabajar en la industria de la nutrición deportiva o emprender estudios de investigación en el área de la nutrición deportiva y, por tanto, debería ser capaz de exponer los conceptos de la literatura existente sobre un tema concreto. El nutricionista deportivo con un título avanzado tal vez también elija obtener un certificado de nutrición deportiva. Una opción es el Diploma en Nutrición Deportiva del Comité Olímpico Internacional (COI). Este programa de dos años comprende una serie de trabajos, seminarios, tutoriales y trabajos prácticos de laboratorio. El COI anuncia que los estudiantes interesados en este curso suelen contar con un título en nutrición o dietética, en ciencias biológicas (incluyendo bioquímica, fisiología y ciencia del deporte) o medicina.

Todos los profesionales de la nutrición en el deporte deben seguir la regulación estatal sobre licencias respecto a la práctica nutricional, que varían de un estado a otro y especifican quién está autorizado a proporcionar asesoramiento nutricional individualizado y tratamiento médico nutricional. Por ejemplo, en Luisiana, distintas disciplinas enseñan nutrición general si la información es general, precisa y no individualizada (es decir, basada en las necesidades dietéticas de cada persona). Sin embargo, sólo un dietista o nutricionista titulado puede realizar evaluaciones y asesoramiento nutricionales. El asesoramiento nutricional se define como «la provisión de consejos individuales sobre la ingesta de alimentos y nutrientes apropiados para aquellos con necesidades especiales, teniendo en cuenta los datos psicológicos, funcionales, socioeconómicos, culturales y de salud obtenidos a partir de la evaluación nutricional inicial. El asesoramiento nutricional puede comprender consejos para aumentar o disminuir nutrientes en la dieta; para cambiar el momento oportuno, la cantidad y composición de las comidas; para modificar la textura de los alimentos, y, en casos extremos, para cambiar la vía de administración» (3).

Muchas personas con mínimos conocimientos sobre nutrición y sobre ciencia del ejercicio o sin ellos, y con pocos o ningún estudio formal se denominan a sí mismos nutricionistas deportivos. Con independencia del título específico de la persona que aporte información sobre nutrición deportiva o asesoramiento dietético individualizado, los especialistas de la

fuerza y el acondicionamiento físico deben requerir el currículo y estudios de la persona, su historia laboral (sobre todo sus cometidos diarios en el trabajo), sus conocimientos sobre nutrición deportiva y los años de experiencia.

Los dietistas deportivos experimentados ayudan a los atletas a hacer la conexión entre alimentación y rendimiento. Cuentan con conocimientos avanzados, destrezas y experiencia en nutrición deportiva.

El primer paso para la instrucción sobre nutrición pasa por definir las metas del atleta e identificar las metas del entrenador (dado que las dos pueden ser distintas). Tras esto, del mismo modo que el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico procede a un análisis de las necesidades, el dietista del deporte estudiará en detalle la dieta, las preferencias individuales de alimentos (teniendo también en cuenta las consideraciones culturales y religiosas), las destrezas para cocinar, el acceso a los alimentos, las limitaciones económicas, los obstáculos para hacer elecciones dietéticas con sabiduría, el consumo de suplementos, la historia del peso y composición corporales, la anamnesis, el programa de entrenamiento y las lesiones. El dietista deportivo trabajará con el atleta para desarrollar un plan que se ajuste a su estilo de vida y a sus gustos, incluyendo (1) el nivel apropiado de calorías; (2) los macronutrientes y micronutrientes en las cantidades recomendadas; (3) el nivel adecuado de líquidos y electrolitos, y (4) los suplementos necesarios para corregir déficits nutricionales o cumplir las metas del entrenamiento.

Pautas básicas de alimentación

Para suministrar información nutricional general, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico tal vez recomiende a los atletas que consulten **MyPlate**, una guía nutricional creada por el Departamento de Agricultura estadounidense y basada en las «Pautas dietéticas de 2010 para los norteamericanos», con el fin de ayudar a los consumidores a elegir mejor sus alimentos (98). MyPlate es un icono de cinco grupos de alimentos basado en una imagen visual de un plato dividido en dichas partes (figura 9.1).

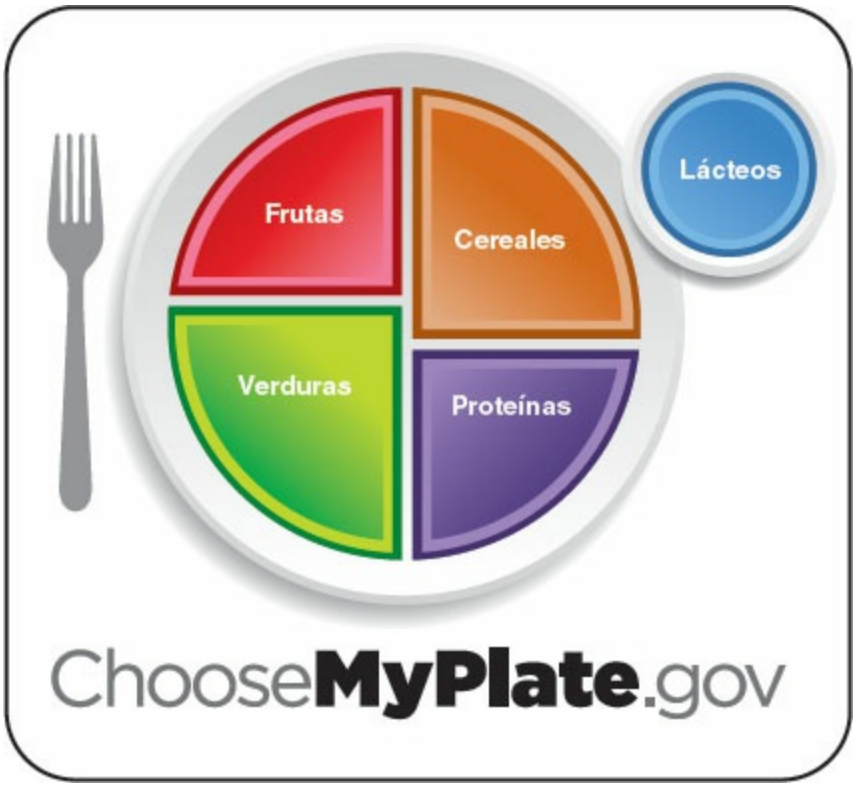


FIGURA 9.1 Icono de MyPlate.

Fuente: USDA's Center for Nutrition Policy and Promotion.

MyPlate

La información relacionada con MyPlate se encuentra en la web www.choosemyplate.gov [donde se puede consultar también una versión en español]. Aunque las pautas básicas representadas por el icono de MyPlate y los materiales educativos correspondientes sean universales, comprenden pautas calóricas y recomendaciones sobre las porciones de fruta, cereales, proteínas y aceite, basadas en la edad y sexo de las personas que la mayoría de los días desarrollan menos de treinta minutos de actividad física moderada, como se aprecia en las tablas 9.1 y 9.2. Las personas más activas físicamente ajustarán las pautas para cubrir sus necesidades dietéticas específicas (136). Y aunque los aceites no constituyan un grupo de alimentos, contienen nutrientes tales como ácidos grasos esenciales y vitamina E. Por tanto, también se especifica la ración diaria de aceites.

MyPlate se considera un punto de partida para que los atletas evalúen su dieta. En general, si la dieta aporta variedad de alimentos de cada grupo, es más probable que contenga una cantidad adecuada de todas las vitaminas y

minerales. Sin embargo, si la dieta excluye un grupo entero de alimentos, lo más probable es que carezca de ciertos nutrientes específicos. Por ejemplo, un atleta que excluya los productos lácteos de la dieta tal vez tenga problemas para cubrir sus requisitos nutricionales de calcio, potasio y vitamina D (presentes en la leche y los yogures enriquecidos). Aunque los alimentos no lácteos enriquecidos con calcio ayuden a cubrir las necesidades de calcio, no son un sustituto nutricionalmente equivalente a los productos lácteos y, por tanto, tal vez carezcan de otros nutrientes (46). Las personas que rechazan los alimentos de origen animal y el pescado quizá no cubran sus necesidades de vitamina B_{12} (que se halla en la carne roja, la carne blanca, el pescado, los huevos y los alimentos lácteos, si bien algunos cereales de desayuno, algunos sustitutos de la leche y la carne, y la levadura nutricional están enriquecidos con vitamina B_{12}). Por tanto, es muy recomendable que las personas que supriman grupos de alimentos trabajen con su dietista deportivo para hallar sustitutos adecuados o combinaciones de sustitutos que garanticen sus requisitos nutricionales para una buena salud y un correcto rendimiento.

Los alimentos de cada grupo comparten una composición similar de nutrientes y se consideran intercambiables; sin embargo, se deben consumir alimentos diferentes de cada grupo. Por ejemplo, comer una naranja, una manzana y una pera proporciona mayor variedad de nutrientes esenciales que si comemos tres manzanas. Es más probable que una dieta con variedad de alimentos de cada grupo cubra las necesidades de **macronutrientes** (hidratos de carbono, proteínas y grasas) y **micronutrientes** (vitaminas y minerales) de las personas.

La sección *Super Tracker* del sitio web *MyPlate* contiene ejemplos de planes alimentarios basados en las necesidades calóricas y en la información sobre calorías vacías y las etiquetas de información nutricional. También permite a los consumidores calcular cuánto comen y hacer un seguimiento de los alimentos, las actividades físicas y el peso.

Ingestas de referencia en la dieta

Como los atletas consumen alimentos y no nutrientes individuales, las recomendaciones dietéticas se deben presentar dando la posibilidad de elegir alimentos específicos. Sin embargo, también es importante entender los requisitos nutricionales del atleta para recomendar alimentos. Las **ingestas de referencia en la dieta (DRI)**, concebidas por la Junta de Alimentos y

Nutrición del Instituto de Medicina, son una serie completa de ingestas nutricionales para emplear durante la evaluación y planificación de dietas para personas sanas. Las ingestas de referencia en la dieta presentan listas de los macronutrientes y micronutrientes, los electrolitos y el agua (68, 70, 72, 142, 169). Las DRI se basan en el corpus de literatura dedicado al aporte nutricional y a la reducción de enfermedades crónicas, en contraste con la simple prevención de déficits dietéticos (36). Como el aporte de nutrientes varía considerablemente de un día para otro, las DRI se refieren a la ingesta habitual de las personas. Por tanto, cuando un dietista deportivo evalúa la ingesta nutricional de una persona, lo que hace es un seguimiento de varios días para obtener el aporte medio diario de cada nutriente. Esto sucede sobre todo en el caso de alimentos nuevos o con cantidades muy pequeñas de alimentos (115). Se necesita llevar el registro de alimentos durante unos cuantos días para obtener un cálculo correcto de la ingesta media de proteínas, ya que no varía mucho de un día a otro (115). Las DRI contienen lo siguiente:

- **Raciones de dieta recomendadas (RDA).** Promedio adecuado de nutrientes diarios para cubrir las necesidades de la mayoría de las personas sanas en cada fase de la vida y según el sexo.
- **Ingesta adecuada (AI).** Nivel medio y diario recomendado de nutrientes cuando no es posible establecer la RDA.
- **Nivel máximo de ingesta tolerable (UL).** Nivel máximo y diario recomendado de nutrientes con ningún efecto secundario para la salud. Ingestas por encima del UL aumentan el riesgo potencial de sufrir efectos secundarios. (El UL representa la ingesta de todas las fuentes posibles, como alimentos, agua y suplementos).
- **Requerimiento promedio estimado (EAR).** Promedio diario de nutrientes que se considera suficiente para cubrir las necesidades de la mitad de la población sana teniendo en cuenta la fase de la vida y el sexo.

Los estudios señalan varios nutrientes de interés, nutrientes que una gran proporción de la población no consume en cantidades adecuadas. Todos los subgrupos (hombres y mujeres de todos los grupos de edad) presentan una elevada prevalencia de casos de insuficiencia de vitamina E y magnesio (71, 173). La vitamina E se encuentra en muchos alimentos, si bien aceites, frutos

secos y semillas son algunas de las mejores fuentes de este nutriente. El magnesio está presente en diversos alimentos, aunque con frecuencia en pequeñas cantidades. Algunas de las mejores fuentes de magnesio son los frutos secos, las semillas (sobre todo las pipas de calabaza, las almendras y los anacardos) y las judías, entre otras las judías mungo y las alubias garrofón (175). Además, para todas las personas que hayan cumplido los 2 años, la ingesta media habitual de fibra alimentaria y potasio está por debajo de las DRI (175). El «Informe científico para el comité asesor de las pautas alimentarias de 2015» (176) enumera la fibra alimentaria, el potasio, el calcio y la vitamina D como nutrientes de interés. Los lácteos, las bebidas enriquecidas (bebidas de soja, zumo de naranja, etc.) y las sardinas en lata son fuentes excelentes de calcio, mientras que el pescado azul, las bebidas enriquecidas (leche, zumo de naranja, bebidas de soja) y el yogur enriquecido son excelentes fuentes de vitamina D (176). Además, el hierro es importante para poblaciones específicas. Muchas mujeres y adolescentes en edad de procrear presentan déficits de hierro, y muchas de ellas no cubren sus necesidades dietéticas de folato. La carne roja, los cereales enriquecidos con hierro y las judías son ricos en hierro. Judías, guisantes, cacahuetes y pipas de girasol son algunas de las mejores fuentes de folato dietético (176). Y por último, aunque ya no se considera un nutriente que deba preocupar, la absorción de la vitamina B_{12} se ve afectada por una insuficiente presencia de ácido clorhídrico en el estómago, lo cual ocurre en el 10-30% de la población mayor. Por lo tanto, se anima a los adultos de más de 50 años a consumir alimentos enriquecidos con vitamina B_{12} sintética o a que tomen suplementos dietéticos, porque sus cuerpos suelen asimilar vitamina B_{12} de estas fuentes (176). La vitamina B_{12} se halla en productos cárnicos, en la levadura nutricional enriquecida y en los cereales enriquecidos. La carne de vacuno, el cordero, la ternera y el pescado son algunas de las mejoras fuentes de este nutriente (175).

TABLA 9.1 Recomendaciones de los grupos de alimentos de MyPlate

		Calorías diarias para sedentarios*	Fruta*	Verduras**	Cereales* (mínimo)	Alimentos con proteínas*	Lácteos	Aceites***
Niños	2-3	1.000	1 t	1 t	85 g (1,5)	56 g	2 t	3 c/c
	4-8	1.200-1.400	1-1,5 t	1,5 t	141 g (2,5)	113 g	2,5 t	4 c/c
Chicas	9-13	1.600	1,5 t	2 t	141 g (2,5)	141 g	3 t	5 c/c
	14-18	1.800	1,5 t	2,5 t	170 g (3)	141 g	3 t	5 c/c
Chicos	9-13	1.800	1,5 t	2,5 t	170 g (3)	141 g	3 t	5 c/c
	14-18	2.200	2 t	3 t	227 g (4)	184 g	3 t	6 c/c
Mujeres	19-30	2.000	2 t	2,5 t	170 g (3)	156 g	3 t	6 c/c
	31-50	1.800	1,5 t	2,5 t	170 g (3)	141 g (2,5)	3 t	5 c/c
	51+	1.600	1,5 t	2 t	141 g (2,5)	141 g (2,5)	3 t	5 c/c
Hombres	19-30	2.400	2 t	3 t	227 g (4)	184 g	3 t	7 c/c
	31-50	2.200	2 t	3 t	198 g (3,5)	141 g	3 t	6 c/c
	51+	2.000	2 t	2,5 t	170 g (3)	156 g	3 t	6 c/c

t= taza (200 cm^3); g = gramos; c/c = cucharita de café (5 ml).

La cantidad que una persona necesita de cada grupo depende de la edad, el sexo y el nivel de actividad física. Las raciones diarias recomendadas aparecen en la tabla.

*Estas cantidades son apropiadas para personas que la mayoría de los días hacen menos de 30 minutos de actividad física moderada. Las personas más activas físicamente tal vez consuman más siempre y cuando se ciñan a sus necesidades calóricas. Para hallar el total de calorías que necesita cada uno y limitar la ingesta de calorías vacías, se introducirá la información personal en «My Daily Food Plan» (www.choosemyplate.gov/myplate/index.aspx).

**Véase la tabla 9.2 para las recomendaciones semanales del grupo de verduras.

***Los aceites presentan una ración diaria recomendada frente a una cantidad diaria recomendada. La ración recomendada es apropiada para personas que hacen menos de 30 minutos diarios de actividad física moderada. Los que sean más activos físicamente pueden consumir más mientras se ciñan a sus necesidades calóricas.

Notas:

- *Fruta*. En general, 1 taza de fruta o zumo natural, o ½ taza de fruta pasa, se consideran como 1 taza del grupo de frutas.
- *Verduras*. Cualquier verdura o caldo natural de verduras cuentan como integrantes del grupo de las verduras. Las verduras pueden ser crudas o cocidas, frescas, congeladas, en lata, o secas-deshidratadas. Se pueden presentar enteras, cortadas o en puré.
- *Cereales*. Cualquier alimento que contenga trigo, arroz, avena, harina de maíz, cebada u otros cereales. El pan, la pasta, las gachas de avena, los cereales de desayuno, las tortitas mejicanas y la sémola son ejemplos del grupo de los cereales.
- *Alimentos con proteínas*. Todos los alimentos derivados de carne, aves de corral, marisco, alubias y guisantes, huevos, productos derivados de la soja y semillas se consideran parte

del grupo de las proteínas. Judías y guisantes también forman parte del grupo de las verduras. En general, 28 gramos de carne roja, carne blanca o pescado, un ¼ de taza de judías cocidas, 1 huevo, 1 cucharada de mantequilla de cacahuetes o 14 gramos de frutos secos o semillas se consideran equivalentes a 28 gramos del grupo de las proteínas.

- *Productos lácteos*. Todos los productos lácteos líquidos y muchos alimentos derivados de la leche se consideran parte de este grupo de alimentos. La mayoría de las opciones del grupo de los lácteos deben ser desnatadas o semidesnatadas. Los alimentos derivados de la leche que conservan su contenido en calcio forman parte del grupo, pero los alimentos derivados de la leche que contienen poco o nada de calcio, como el queso para untar y la mantequilla, no. La leche de soja enriquecida con calcio (bebida de soja) también forma parte del grupo de los lácteos.
- *Aceites*. Los aceites son grasas líquidas a temperatura ambiente, como los aceites vegetales usados para cocinar. Los aceites proceden de muchas plantas y del pescado. Los aceites no constituyen un grupo de alimentos, pero aportan nutrientes esenciales. Por lo tanto, también se incluyen en la pirámide de alimentos de la USDA.

Fuente: Department of Agriculture y Department of Health and Human Services de los Estados Unidos.

TABLA 9.2 Recomendaciones del grupo de verduras de MyPlate

		Ración semanal				
		Verduras de hoja verde	Verduras rojas y naranjas	Judías y guisantes	Verduras con almidón	Otras verduras
Niños	2-3	0,5 t	2,5 t	0,5 t	2 t	1,5 t
	4-8	1 t	3 t	0,5 t	3,5 t	2,5 t
Chicas	9-13	1,5 t	4 t	1 t	4 t	3,5 t
	14-18	1,5 t	5,5 t	1,5 t	5 t	4 t
Chicos	9-13	1,5 t	5,5 t	1,5 t	5 t	4 t
	14-18	2 t	6 t	2 t	6 t	5 t
Mujeres	19-30	1,5 t	5,5 t	1,5 t	5 t	4 t
	31-50	1,5 t	5,5 t	1,5 t	5 t	4 t
	51+	1,5 t	4 t	1 t	4 t	3,5 t
Hombres	19-30	2 t	6 t	2 t	6 t	5 t
	31-50	2 t	6 t	2 t	6 t	5 t
	51+	1,5 t	5,5 t	1,5 t	5 t	4 t

t = taza (200 cm^3).

Las recomendaciones para el grupo de las verduras se expresan en **raciones semanales**. No es necesario tomar a diario verduras de cada subgrupo. Sin embargo, a lo largo de la semana intentaremos consumir las raciones enumeradas en cada subgrupo como medio de alcanzar la ingesta diaria recomendada.

Estas recomendaciones son para la población en general; los atletas suelen necesitar distintas recomendaciones dependiendo de su nivel y tipo de entrenamiento.

Fuente: Department of Agriculture y Department of Health and Human Services de los Estados Unidos.

Macronutrientes

Un macronutriente es un nutriente que se requiere en cantidades significativas en la dieta. Las tres clases importantes de macronutrientes son las proteínas, los hidratos de carbono y las grasas.

Proteínas

Las **proteínas** son el principal componente funcional y estructural de todas las células del cuerpo humano. Las proteínas dietéticas se emplean para el crecimiento y desarrollo, y para generar y reparar células; también sirven de enzimas, transportadores y hormonas. Por lo tanto, la ingesta dietética de proteínas es esencial para mantener la salud, la reproducción y la función y estructura celulares (69).

Las proteínas se componen de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. «Amino» significa «que contiene nitrógeno», y los **aminoácidos** son las moléculas que, cuando se agrupan por miles, forman los miles de proteínas presentes en la naturaleza. Las proteínas del cuerpo humano se componen de distintas combinaciones de los veinte aminoácidos individuales. Cuatro aminoácidos se sintetizan en el cuerpo humano y, por tanto, se consideran «no esenciales», porque no necesitan ingerirse en la dieta. Nueve aminoácidos son «esenciales» porque el cuerpo no puede fabricarlos, sino que se tienen que obtener en la dieta. Y, por último, ocho aminoácidos se consideran condicionalmente esenciales (aminoácidos condicionales). Estos aminoácidos suelen no ser esenciales, aunque se vuelven esenciales y, por tanto, se deben obtener de la dieta durante momentos de enfermedad y estrés (169). Los aminoácidos se enumeran en la tabla 9.3.

Más información sobre nutrición

Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico pueden consultar las siguientes webs para obtener más información sobre nutrición:

DRI interactivas para profesionales de la salud (basadas en las DRI, esta herramienta para elaborar planes dietéticos calcula las recomendaciones nutricionales diarias): http://fnic.nal.usda.gov/fnic/interactiveDRI

Información sobre suplementos dietéticos, sin olvidar la normativa; informes y advertencias; macronutrientes, fitonutrientes, vitaminas y suplementación mineral; información sobre hierbas; ayudas ergogénicas, y medicina alternativa y complementaria:

Biblioteca Nacional de Agricultura de la USDA, suplementos dietéticos
http://fnic.nal.usda.gov/dietary-supplements

Centro de Información sobre Nutrición, Alimentos y Control del Peso
http://fnic.nal.usda.gov/consumers/eating-health/weight-management

Artículos de revistas con revisores externos
www.pubmed.com

Colegio Profesional de Dietistas Deportivos
www.sportsrd.org

Sociedad Internacional de Nutrición en el Deporte
www.sportsnutritionsociety.org

Nutricionistas Deportivos, Cardiovasculares y de la Salud
www.scandpg.org

Los aminoácidos se unen mediante enlaces peptídicos. Dos aminoácidos unidos son un dipéptido, y varios aminoácidos juntos reciben el nombre de **polipéptido**. Las cadenas polipeptídicas se unen y forman multitud de proteínas con diversas estructuras y funciones. Casi la mitad de la reserva de proteínas del cuerpo existe en forma de músculo esquelético, mientras que casi el 15% está compuesto por tejidos estructurales, como la piel y la sangre. El resto de las reservas de proteínas del cuerpo están en los tejidos viscerales, como el hígado y los riñones, y en los huesos (48).

Calidad de las proteínas y recomendaciones dietéticas

La calidad de las proteínas está determinada por el contenido de aminoácidos y por la **digestibilidad de las proteínas**, que se calcula por la cantidad de nitrógeno de las mismas que se absorbe durante la digestión y por su capacidad para aportar los aminoácidos necesarios para la reparación, mantenimiento y crecimiento. Las proteínas de mayor calidad son muy digestibles y contienen todos los aminoácidos esenciales. Las proteínas de origen animal —también los huevos, los lácteos, la carne, el pescado y la carne blanca— contienen todos los aminoácidos esenciales, mientras que la soja es la única proteína de origen vegetal que contiene los ocho aminoácidos esenciales. En general, las proteínas de origen vegetal son menos digestibles que las proteínas de origen animal, si bien en ocasiones la digestibilidad mejora con el procesamiento y la preparación (69, 100). Y aunque las mediciones de la calidad de las proteínas, como el **índice de aminoácidos corregido por la digestibilidad de las proteínas (IAACDP)**, tienen en cuenta la digestibilidad (o **biodisponibilidad**), así como la capacidad de proporcionar los aminoácidos esenciales necesarios para la síntesis de las

proteínas corporales y otros metabolitos, no tienen en consideración el modo en que otros compuestos presentes en la comida alteran la biodisponibilidad de los aminoácidos de las proteínas. Los factores antinutricionales de los alimentos —compuestos que reducen la digestión y absorción de un nutriente — los hacen menos disponibles para su uso por el cuerpo (159). Diversos factores antinutricionales derivan en pérdidas digestivas y cambios estructurales de los aminoácidos que limitan la biodisponibilidad de estos (110). Por ejemplo, al cocinarse, algunos alimentos se doran o tuestan; con este oscurecimiento o reacción de Maillard, se forman compuestos que disminuyen la biodisponibilidad de ciertos aminoácidos. Y aunque la mayoría de los alimentos de origen vegetal carecen de uno o más aminoácidos esenciales, los vegetarianos y veganos (los que solo consumen verduras y productos de origen vegetal, nada de carne, pescado, aves, huevos, leche u otros alimentos de origen animal) cubren sus necesidades proteicas consumiendo variedad de alimentos de origen vegetal, como legumbres, verduras, semillas, frutos secos, arroz y cereales integrales que aportan distintos aminoácidos para ingerir todos los aminoácidos esenciales a lo largo del día (184).

TABLA 9.3 Aminoácidos esenciales, no esenciales y condicionales

Esenciales	No esenciales	Condicionales
Histidina	Alanina	Arginina
Isoleucina	Asparagina	Cisteína
Leucina	Ácido aspártico	Glutamina
Lisina	Ácido glutámico	Glicina
Metionina		Prolina
Fenilalanina		Serina
Treonina		Tirosina
Triptófano		
Valina		

Fuente: Institute of Medicine (EEUU).

Mientras que las recomendaciones dietéticas se anuncian como requisitos proteínicos, el requisito real son los aminoácidos. La necesidad de aminoácidos en adultos sanos y sedentarios es producto del constante

recambio de células y proteínas celulares. Durante el recambio celular —constante degradación y regeneración de células— el reservorio de aminoácidos libres en el cuerpo es el suministrador mayor e inmediato de aminoácidos (106). El reservorio se repone con la digestión de proteínas dietéticas, así como con los aminoácidos liberados por el recambio metabólico en los tejidos. Sustancialmente hay un mayor recambio de proteínas a diario del que se suele consumir, lo cual revela que los aminoácidos se reciclan (119). Este proceso no es del todo eficiente, por lo que se necesita la ingesta dietética de aminoácidos para remplazar las pérdidas.

Las RDA de proteínas para hombres y mujeres de 19 años o más mayores, basadas en estudios sobre el equilibrio nitrogenado, son 0,80 g de proteínas de buena calidad por kilogramo de peso corporal al día (69). Niños, adolescentes y mujeres lactantes y embarazadas tienen mayores necesidades dietéticas, como reflejan las RDA de estos grupos. No obstante, las necesidades son inversamente proporcionales a la ingesta calórica, porque se pueden metabolizar pequeñas cantidades de proteínas como fuente de energía en personas en un estado de equilibrio calórico negativo, cuando se consumen menos calorías de las que se gastan (por lo general, solo un 1-6% del gasto calórico total en la mayoría de los casos, pero hasta un 10% durante un ejercicio prolongado en un estado de depleción del glucógeno) (69, 95, 165). En este caso, las proteínas no se pueden usar con el fin de remplazar la reserva de aminoácidos. Cuando la ingesta calórica disminuye, la necesidad de proteínas aumenta (101). El Instituto de Medicina (IOM) estableció el **intervalo aceptable de distribución de macronutrientes (AMDR)**, que abarca un amplio margen de ingesta para las proteínas. El AMDR representa el 5-20% del total de calorías para los niños de 1 a 3 años; el 10-30% del total de calorías para los niños de 4 a 18 años, y el 10-35% del total de calorías para los adultos mayores de 18 años. Hombres y mujeres suelen consumir un promedio del 15% de sus calorías procedentes de proteínas (172). El AMDR de un nutriente comprende intervalos de ingestas asociados con un riesgo reducido de enfermedades crónicas, pero aportando la ingesta recomendada de otros nutrientes esenciales (176). Aunque las DRI para las proteínas se correspondan con el AMDR, las DRI se basan solo en el peso corporal y, por tanto, no tienen en cuenta ingestas calóricas bajas o altas. Basándose en el AMDR, cuando la ingesta calórica es menor, la necesidad de proteínas aumenta como un porcentaje de la ingesta total de calorías, aproximadamente

un 1% por cada disminución de 100 calorías por debajo de las 2.000 calorías. Cuando la ingesta total de calorías es mayor, la necesidad de proteínas, expresada como un porcentaje de la ingesta total de calorías, desciende hasta cierto punto. En la práctica, los dietistas deportivos deben establecer primero la ingesta de proteínas de un atleta y luego añadir los hidratos de carbono y grasas, según la necesidad total de calorías (93).

Consideraciones sobre las RDA para las proteínas

Existe controversia sobre las RDA para las proteínas dado que algunos científicos sugieren que los adultos deberían consumir valores por encima de las RDA por distintos motivos: para la salud ósea (54), para controlar el peso y para reparar y generar músculo (121, 122). Además, los estudios de investigación sugieren que las dietas ricas en proteínas y bajas en hidratos de carbono influyen favorablemente en la lipemia, sobre todo en personas obesas y, por tanto, también reducen algunos de los factores de riesgo de enfermedades cardiovasculares y síndrome metabólico (94).

Las proteínas son bloques de construcción para tener unos huesos resistentes y contribuyen al 50% del volumen óseo y al 33% de la masa ósea (56). El efecto de las proteínas sobre el hueso tal vez se deba, en parte, a su influencia sobre el factor de crecimiento insulinoide tipo I (IGF-I), que se fabrica en el hígado y favorece la formación de hueso y músculo (151). Y aunque los estudios de investigación sugieran que las proteínas suplementarias, pero no las dietéticas, aumentan las pérdidas de calcio por la orina, en las personas sanas que consumen entre 0,7 y 2,1 g de proteínas por kilogramo de peso corporal se incrementa tanto la excreta de calcio en la orina como la absorción de calcio en el intestino (87). De hecho, una ingesta baja de proteínas dietéticas (0,7 g de proteínas por kilogramo de peso corporal y día) suprime la absorción de calcio en el intestino (86).

Las proteínas también desempeñan un papel multifacético en el control del peso. Primero, favorecen la saciedad porque son dependientes de la dosis: cantidades mayores de proteínas derivan en un mayor incremento de la saciedad (41). Sin embargo, su efecto saciante también depende de la oportunidad de la ingesta de proteínas, la forma (sólida o líquida), la ingesta concurrente de otros macronutrientes y el tiempo que falta hasta la siguiente comida (5). El tipo de proteínas tal vez también influya en la saciedad, aunque los estudios de investigación no han dilucidado por completo cuáles tienen el máximo impacto (16, 59, 101). Las proteínas también tienen el

máximo efecto térmico de la alimentación: se queman más calorías durante su digestión que durante la digestión de hidratos de carbono y grasas. Y, finalmente, las dietas ricas en proteínas ayudan a salvar la pérdida de músculo cuando una persona sigue una dieta hipocalórica (91, 134).

Los aminoácidos presentes en las proteínas se usan para el crecimiento (incluido el crecimiento muscular) y para reparar los tejidos, para sintetizar enzimas y hormonas, y para reparar y generar nuevas células. Y aunque los adultos de un programa de acondicionamiento físico general probablemente cubran sus requisitos proteínicos consumiendo de 0,8 a 1 g de proteínas por kilogramo de peso corporal al día, los atletas y los que se ejercitan con intensidad requieren más proteínas (21). Los atletas de resistencia aeróbica que consumen un número suficiente de calorías requieren aproximadamente de 1 a 1,6 g de proteínas por kilogramo de peso corporal y día (128, 165). Los atletas de fuerza necesitan aproximadamente de 1,4 a 1,7 g de proteínas por kilogramo de peso corporal y día (96). Los atletas que suelen practicar una combinación de entrenamiento de la fuerza, de la resistencia aeróbica y de esprines anaeróbicos, y los que consumen suficientes calorías deberían ingerir de 1,4 a 1,7 g de proteínas por kilogramo de peso corporal. Los atletas que siguen una dieta hipocalórica tal vez necesiten más proteínas por día para preservar el tejido muscular durante la pérdida de peso.

Además de comer la cantidad correcta de proteínas al día, los estudios de investigación respaldan la idea de que los atletas deben consumir suficientes proteínas justo después del ejercicio, cuando el tejido muscular es más receptivo a los aminoácidos. De hecho, después del ejercicio aumenta tanto la **síntesis de proteínas musculares** como su degradación, aunque el equilibrio neto de proteínas es negativo cuando el ejercicio se practica en ayunas (127). Las proteínas consumidas después del ejercicio aumentan la síntesis de proteínas musculares, y la sensibilidad muscular a los aminoácidos mejora hasta 48 horas después de una tanda de ejercicio. Sin embargo, esta sensibilidad disminuye con el paso del tiempo; por tanto, consumir proteínas antes del ejercicio, en vez de esperar, tiene un mayor efecto sobre la síntesis aguda de proteínas musculares (28, 42, 97, 145). Todavía se tiene que dilucidar la cantidad de proteínas que un atleta puede consumir tras un ejercicio de resistencia aeróbica. Sin embargo, algunos sugieren una relación de 4:1 o 3:1 entre hidratos de carbono y proteínas como pauta general (85). Está demostrado que después de un entrenamiento resistido es beneficioso un amplio intervalo de ingestas proteínicas, de 20 a 48 g, para estimular al

máximo la síntesis aguda de proteínas musculares (82). La cantidad parece depender, al menos en parte, del contenido de leucina de las proteínas (28) y también influye la edad, puesto que la sensibilidad a los aminoácidos disminuye en los adultos mayores (84).

Las consideraciones sobre las ingestas de proteínas por encima de las RDA son infundadas para la mayoría de las personas sanas (105). Las proteínas consumidas en exceso, respecto a la cantidad necesaria para la síntesis de tejido, se catabolizan (65); el nitrógeno se excreta como urea en la orina, y los cetoácidos restantes se usan directamente como fuentes de energía o se convierten en hidratos de carbono (**gluconeogénesis**) o grasa corporal (60). De hecho, un estudio que examinó la ingesta elevada de proteínas en atletas halló que las ingestas de proteínas de hasta 2,8 g por kilogramo de peso corporal (evaluado con un seguimiento de la dieta durante siete días) no alteraron ninguna medida de la función renal (132). El especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe ser consciente de que no es conveniente utilizar ingestas elevadas y continuadas de proteínas por encima de los niveles recomendados para la reparación y creación del músculo, porque tal vez se comprometa la ingesta de hidratos de carbono y grasas (y los nutrientes que se suelen hallar en los alimentos ricos en ellos).

En la tabla 9.4 se enumera el contenido de proteínas de los alimentos que se suelen consumir.

Los atletas requieren más proteínas de las recomendadas por las RDA para reparar y crear músculo. Dependiendo del deporte y del programa de entrenamiento, se recomienda ingerir de 1 a 1,7 g de proteínas por kilogramo de peso corporal.

Hidratos de carbono

Los **hidratos de carbono** sirven principalmente como fuente de energía. Sin embargo, no son un nutriente esencial, porque el cuerpo puede catabolizar las estructuras de carbono de ciertos aminoácidos y convertirlos en glucosa (gluconeogénesis). Los hidratos de carbono se componen de carbono, hidrógeno y oxígeno. Se clasifican en tres grupos según el número de unidades de azúcar (sacáridos) que contienen: monosacáridos, disacáridos y polisacáridos.

Los **monosacáridos** (**glucosa, fructosa** y **galactosa**) son moléculas de una sola unidad de azúcar. En el cuerpo, la glucosa está presente como azúcar

circulante en la sangre, donde se emplea como principal sustrato de energía para las células. Además, las moléculas de glucosa integran el glucógeno, un polisacárido almacenado en los miocitos y hepatocitos. En los alimentos, la glucosa se suele combinar con otros monosacáridos para formar diversos azúcares, como la sucrosa. La glucosa aislada, presente en los caramelos y las bebidas isotónicas, se encuentra en forma de dextrosa, un isómero químico de la glucosa. La fructosa presenta la misma fórmula química que la glucosa, aunque, como los átomos se disponen de forma distinta, su sabor es mucho más dulce y cuenta con distintas propiedades. A la fructosa se debe el sabor dulce de la miel y se da naturalmente en la fruta y la verdura. En el cuerpo, la fructosa causa una menor secreción de insulina que otros azúcares, lo cual la ha convertido en objeto de muchos estudios en el área del rendimiento de la resistencia aeróbica. La galactosa, el tercer monosacárido, se combina con glucosa para formar lactosa, el azúcar de la leche.

TABLA 9.4 Contenido de proteínas de alimentos usuales

Alimento	Ración (g)	Proteinas (g)/ración
Almendras	39	8
Alubias enanas	88,5	7,5
Alubias garrofón	94	7
Anacardos	32	5,5
Atún, en lata	85	21,5
Cacahuetes	35,5	9
Cacahuetes, mantequilla	32	8
Cerdo, lomo	85	22,5
Cerdo, salchichas	63	10
Cerdo, tocino	27,3	10,5
Cordero, chuleta	85	23,5
Edamame (vainas de soja)	73,5	8,5
Frijoles negros	92,5	7,5
Gambón	22	5
Garbanzos	83,5	6

Hamburguesa	85	22
Huevo	56	7
Leche, 1%	245	8
Pavo, filetes	142	19
Pistachos	30,5	6,5
Pollo, pechuga	85	25
Queso cheddar, loncha	21	5,5
Queso suizo, loncha	28	7,5
Queso semidesnatado	28	7
Requesón 1%	113	14
Salmón	85	17
Soja, nueces	23	9
Soja, leche	245	8
Ternera, solomillo	85	26
Trigo, pan	29	3
Trigo, rosquilla salada 13 cm	98	10
Trigo, tortita 20 cm	51	4,5
Yogur, desnatado	170	7
Yogur griego, desnatado	170	17

Fuente: Department of Agriculture, Agricultural Research Service, de los Estados Unidos.

Los **disacáridos** (**sucrosa**, **lactosa** y **maltosa**) están compuestos por dos unidades simples de azúcar unidas por condensación. La sucrosa (azúcar de mesa), el disacárido más corriente, es una combinación de glucosa y fructosa. Se encuentra de forma natural en la mayoría de la fruta y cristaliza a partir del jarabe de caña de azúcar y de remolacha azucarera para elaborar azúcar moreno, blanco o molido. La lactosa (glucosa + galactosa) se halla solo en la leche de los mamíferos. La maltosa (glucosa + glucosa) se produce sobre todo cuando los polisacáridos se degradan durante la digestión, así como durante el proceso de fermentación del alcohol, y es el hidrato de carbono principal de la cerveza.

Los **polisacáridos**, también llamados hidratos de carbono complejos,

contienen hasta miles de unidades de glucosa. Algunos de los polisacáridos más habituales por su importancia nutricional son las féculas, la fibra alimentaria y el glucógeno. Las *féculas* son la forma de almacenamiento de glucosa en las plantas. Cereales, legumbres y verduras son buenas fuentes de energía. La fibra dietética, un componente de la pared celular, también es una forma de hidrato de carbono. La celulosa, la hemicelulosa, los β-glucanos y las pectinas son fibras; estas y los materiales fibrosos que no son hidratos de carbono (ligninas) son parcialmente resistentes a las enzimas digestivas del ser humano. Las fibras tienen distintos efectos fisiológicos en el cuerpo. Algunas retrasan el vaciado gástrico, que a veces genera temporalmente sensación de pesadez, mientras que otros tipos de fibra aumentan el volumen y el contenido hídrico, limitando el estreñimiento y el tiempo de tránsito de las heces. Además, algunas fibras solubles reducen la absorción del colesterol y, por tanto, ayudan a reducir la colesterolemia tras la ingesta (104), mientras que las fibras dietéticas prebióticas estimulan selectivamente el crecimiento de bacterias en el intestino (32, 135). Alimentos ricos en fibra son las judías, los guisantes, el centeno, muchas frutas y verduras, y algunos alimentos integrales.

El **glucógeno** se halla en pequeñas cantidades (77, 166) en el hígado y el músculo del ser humano, sumando aproximadamente 15 g de glucógeno por kilogramo de peso corporal (1), y también está presente en el tejido animal como fuente temporal de energía almacenada (20). Aunque esté presente en la carne que comemos, como los bistecs, la pechuga de pollo y los filetes de pescado, su presencia es relativa. Cuando la glucosa entra en los músculos y el hígado, si no se metaboliza para obtener energía, se sintetiza para formar glucógeno. Tres cuartas partes del glucógeno presente en el cuerpo se almacenan en el músculo esquelético; el cuarto restante se almacena en el hígado (20). El proceso de conversión de glucosa en glucógeno se llama **glucogénesis**.

Los atletas suelen consumir gran variedad de hidratos de carbono en su dieta normal. Sin embargo, cuando quieren mejorar la calidad de la dieta, consumiendo menos alimentos que tengan efectos indeseables sobre la salud general o el rendimiento, tal vez consideren los sistemas de categorización de macronutrientes como el índice glucémico o la carga glucémica.

Índice glucémico y carga glucémica

El **índice glucémico (IG)** clasifica los hidratos de carbono atendiendo a la

rapidez con la que se digieren y absorben, y, por tanto, elevan la glucemia, durante el período de 2 horas después de comer, comparado con la misma cantidad (peso en gramos) de un alimento de referencia, por lo general el pan blanco o la glucosa, que se expresa como un IG de 100 (76).

Índice glucémico = [Área gradual bajo la curva de la respuesta glucémica tras el consumo de una porción de hidratos de carbono de 25 o 50 g de una comida de prueba ÷ Área gradual bajo la curva de la respuesta glucémica tras el consumo de la misma porción (en gramos) de un alimento estándar] × 100

Los alimentos de bajo IG se digieren y absorben lentamente, lo cual causa una menor elevación de la glucemia y, por tanto, de la liberación de insulina por el páncreas, comparado con el alimento de referencia (45). La insulina ayuda a bajar la glucemia facilitando el transporte de glucosa a las células. El destino de la glucosa en las células depende de dónde se traslade. Por ejemplo, los miocitos emplean la glucosa como energía mientras que los adipocitos convierten la glucosa en triglicéridos (grasas).

Aunque el IG se creó para que la gente controlase mejor su glucemia —algo especialmente útil para los diabéticos—, algunos investigadores plantearon la hipótesis de que las dietas compuestas de alimentos de bajo IG, en comparación con los de alto IG, tal vez también ayudasen a reducir el riesgo de obesidad y otras enfermedades (99, 100). No obstante, el sistema del IG tiene unos cuantos problemas que limitan su precisión. En primer lugar, los valores del IG publicados para un tipo de alimentos tal vez varíen considerablemente debido a diferencias en las pruebas y a variaciones de los ingredientes empleados, así como al grado de madurez de los alimentos, a su método de procesamiento, y a la forma de cocinarlos y almacenarlos (27, 60). En segundo lugar, el consumo de hidratos de carbono como parte de una comida o en distintas cantidades influye en el IG (45). Los alimentos de bajo IG suelen incluir verduras, legumbres, judías y cereales integrales (tabla 9.5).

Aunque algunos científicos hayan especulado con que el consumo de alimentos de bajo IG antes del ejercicio quizá ahorre hidratos de carbono al reducir la secreción de insulina y, por tanto, al mejorar el rendimiento, no hay suficientes pruebas que respalden esta hipótesis (21). Los estudios de investigación son contradictorios, ya que mientras algunos estudios han demostrado que el consumo de alimentos de bajo IG antes del ejercicio, en comparación con los de alto IG, mejora el tiempo de ejercicio hasta el

agotamiento (35, 167), otros llegan a la conclusión de que el consumo previo al ejercicio de alimentos de bajo IG frente a los de alto IG no tiene efecto alguno sobre el rendimiento al correr (160, 180).

Por lo tanto, los atletas que emplean el IG para elegir sus alimentos pueden probar antes del ejercicio alimentos de alto o bajo IG, mientras que ceñirse al consumo de alimentos de alto IG durante el ejercicio proporciona fuentes inmediatas de energía (azúcar) para la actividad (23) e inmediatamente después del ejercicio remplaza más rápidamente las reservas de glucógeno (131).

La **carga glucémica** (CG) tiene en cuenta la cantidad de hidratos de carbono, en gramos, presente en una ración de comida, un factor que también influye en la respuesta glucémica. Como la CG tiene en cuenta el tamaño de las raciones, es un medidor más realista que el IG de la respuesta glucémica, que se basa en un tamaño estándar de las raciones. La tabla 9.6 muestra la diferencia entre el IG y la CG de alimentos específicos. La CG equivale al IG multiplicado por la cantidad de hidratos de carbono en una ración de comida y luego dividido por 100.

$$\text{Carga glucémica} = \frac{\text{IG de un alimento} \times \text{gramos de hidratos de carbono por ración}}{100}$$

Se espera que los alimentos con una CG alta produzcan un mayor incremento de glucemia y la liberación subsiguiente de insulina (45).

Se ha demostrado que una dieta de CG baja, combinada con ejercicio, mejora la sensibilidad a la insulina de los adultos obesos mayores y, por tanto, tal vez sea un tratamiento potencial para esta población (90), mientras que los estudios de observación y de intervención sugieren que las dietas de IG bajo y CG baja se asocian con niveles más bajos de marcadores de la inflamación. La inflamación crónica de grado bajo se considera un factor de riesgo de enfermedades crónicas (19). Además, algunos estudios (aunque no todos) han hallado que las dietas con una CG o un IG bajos se asocian con niveles más bajos de insulina en ayunas, así como con menos factores de riesgo cardiovasculares (63, 152).

Fibra alimentaria

Las dietas bajas en **fibra alimentaria** se asocian con estreñimiento,

cardiopatías, cáncer de colon y diabetes tipo II. La cantidad de fibra según las DRI son de 21 a 29 g/día en las mujeres (dependiendo de la edad, embarazo y lactancia) y de 30 a 38 g/día en los hombres según su grupo de edad. La fibra está presente en la fruta, las verduras, los frutos secos, las semillas o pipas, las legumbres y los productos integrales, como pan, gachas y palomitas de maíz.

TABLA 9.5 Índice glucémico (IG) de diversos alimentos

Alimentos de bajo IG (55 o menos)	Alimentos de IG medio (55-69)	Alimentos de alto IG (70 o más)
Chocolate	Alcuzcuz (cuscús)	Arroz blanco, hervido
Helado	Arroz integral, hervido	Copos de maíz, desayuno
Judfas garrofón	Batata, hervida	Galletas de arroz, patatas fritas de bolsa
Leche de vaca o de soja	Copos de avena	Glucosa
Lentejas	Miel	Leche de arroz
Naranja	Palomitas de maíz	Pan blanco
Tortita de maz	Patata, patatas fritas	Pan de trigo integral
Yogur, fruta	Piña cruda	Patata hervida
Zanahorias hervidas	Refresco, gaseosa	Puré de patata instantáneo
Zumo de manzana	Sucrosa	Sandía

Fuente: Basada en Atkinson, Foster-Powell y Brand-Miller, 2008 (8).

Requerimientos de hidratos de carbono para los atletas

Numerosos estudios demuestran que los hidratos de carbono aumentan el tiempo que transcurre hasta el agotamiento durante actividades físicas de resistencia aeróbica, así como la producción de trabajo y el rendimiento en deportes de naturaleza intermitente y alta intensidad (2, 11). Los niveles elevados de glucógeno también ahorran el uso de proteínas como combustible, con lo que atenúan el catabolismo de tejido muscular (si bien las diferencias en la ingesta de proteínas también afectan a la destrucción de tejido muscular) (64).

TABLA 9.6 Índice glucémico y carga glucémica

Alimento	Ración (g)	Índice glucémico (IG) (glucosa = 100)	Hidratos de carbono disponibles (g/ración)	Carga glucémica (CG)/ración
Arroz blanco, grano largo, hervido 20-30 min	150	60	36	18
Arroz integral (hervido al vapor)	150	50	33	16
Bagel (bollo) de pan blanco, congelado	70	72	35	25
Barquillos de vainilla	25	77	18	14
Batata	150	61 ±7	28	17
Fresas	120	40 ±7	3	1
Gachas de avena, preparadas	50	69	35	24
Helado	50	61 ±7	13	8
Judías de garrofón, en lata	150	52	17	9
Leche chocolateada (cacao con leche; en ml)	250	43	11	5
Maíz dulce	150	53 ±4	32	17
Manzana (distintas variedades)	120	38 ±2	15	6
Muffin inglés	30	77 ±7	14	11
Pan blanco, 75% de trigo molido	30	53 ±3	20	11
Pasas de Corinto	60	64 ±11	44	28
Pastel de ángel	50	67	29	19
Pizza de queso	100	60	27	16
Plátano maduro	120	51	25	13
Pudin de chocolate, en polvo con leche entera	100	47 ±4	16	7
Puré de patatas instantáneo	150	85 ±3	20	17
Refrescos (Coca Cola; en ml)	250	63	26	16
Uvas	120	46 ±3	18	8
Yogur desnatado (0,9%), con fresas	200	31 ±14	30	9
Zumo de piña, sin azúcar (en ml)	250	40 ±1	29	12

Fuente: Adaptada, con autorización, de Foster-Powell, Holt, y Brand-Miller, 2002 (45).

Las recomendaciones sobre la ingesta de hidratos de carbono se basan en gran medida en el tipo de entrenamiento. Los atletas de resistencia aeróbica que entrenan 90 minutos o más al día a una intensidad moderada (70-80% del $\dot{V}O_2$ máx) deberían consumir de 8 a 10 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal y día (75). Los atletas que se benefician de este nivel de ingesta de hidratos de carbono son los que practican actividades

aeróbicas continuas como fondistas, ciclistas de ruta, triatletas y esquiadores de fondo. Los estudios de investigación han documentado que los atletas que practican de manera constante actividades de naturaleza intermitente y alta intensidad, como los futbolistas, también se benefician de dietas ricas en hidratos de carbono (10, 163). Hay un número limitado de estudios sobre las necesidades de hidratos de carbono de los atletas de muy distintos deportes, como jugadores de baloncesto, luchadores y jugadores de voleibol. Los atletas que practican actividades de fuerza, destreza o esprines necesitan de 5 a 6 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal y día (153).

Durante los 30 minutos siguientes a un entrenamiento de resistencia aeróbica hay que consumir con premura alrededor de 1,5 g de hidratos de carbono hiperglucémicos por kilogramo de peso corporal con el fin de estimular la resíntesis de glucógeno (74). Los atletas pueden consumir menos hidratos de carbono en el período de tiempo inmediato al ejercicio siempre y cuando ingieran a intervalos regulares un aperitivo muy rico en hidratos de carbono (aproximadamente cada dos horas) a la conclusión del entrenamiento. Los atletas que no entrenan a diario pueden reponer el glucógeno durante un período de 24 horas si consumen suficientes hidratos de carbono en la dieta. Por último, a pesar del profundo efecto que tiene el glucógeno sobre el rendimiento, los atletas se adaptan a dietas bajas en hidratos de carbono como fuente de energía durante el ejercicio (43). Algunos también recurren a esta estrategia para reducir su ingesta calórica total.

Los atletas se adaptan a los cambios dietéticos en la ingesta de hidratos de carbono. Aunque los que consumen habitualmente hidratos de carbono los utilizan como fuente primaria de energía durante el ejercicio aeróbico, una dieta constantemente baja en hidratos de carbono causa una mayor dependencia de las grasas como fuente de energía.

Grasas

Aunque el término **grasas** y *lípidos* se usen a menudo como sinónimos intercambiables, *lípidos* es un término más genérico. Los lípidos abarcan los **triglicéridos** (grasas y aceites) y otros compuestos grasos afines, como los esteroles y los fosfolípidos. Los lípidos de mayor importancia en la nutrición son los triglicéridos, los **ácidos grasos**, los fosfolípidos y el colesterol. Los triglicéridos se forman mediante la unión de glicerol con tres ácidos grasos. La mayoría de los lípidos presentes en los alimentos y en el cuerpo se

presentan bajo la forma de triglicéridos, y en este capítulo el término *grasas* también hace referencia a los triglicéridos.

Al igual que los hidratos de carbono, las grasas contienen átomos de carbono, oxígeno e hidrógeno; sin embargo, como las cadenas de ácidos grasos poseen más carbono e hidrógeno que oxígeno, proveen más energía por gramo. Por ejemplo, las grasas aportan unas 9 kcal/g, mientras que los hidratos de carbono y las proteínas proporcionan unas 4 kcal/g. Las grasas y aceites dietéticos se componen de distintos tipos de ácidos grasos.

Los ácidos grasos **saturados** no tienen dobles enlaces, y sus moléculas de carbono están saturadas de hidrógeno. Los ácidos grasos saturados se usan para ciertas funciones fisiológicas y estructurales, si bien el cuerpo es capaz de sintetizar estos ácidos grasos, por lo que no hay ningún requerimiento dietético de ácidos grasos saturados (174). Los ácidos grasos insaturados contienen algunas moléculas de carbono que se unen mediante dobles enlaces, volviéndolos químicamente más reactivos. Los ácidos grasos que contienen un doble enlace son **monoinsaturados**. Con dos o más dobles enlaces, los ácidos grasos son **poliinsaturados**. Dos ácidos grasos poliinsaturados se consideran esenciales, es decir, el cuerpo no es capaz de fabricarlos: los ácidos grasos omega-3 y omega-6. Estos dos ácidos grasos son necesarios para la formación de membranas celulares sanas, para el correcto desarrollo y funcionamiento del cerebro y el sistema nervioso, y para la producción de hormonas. Los ácidos grasos omega-6 abundan en alimentos como las brotes de soja, el maíz y el aceite de cártamo, así como en productos elaborados con estos aceites. Hay menos alimentos que contengan ácidos grasos omega-3, como el pescado, sobre todo el azul, como salmón, arenque, halibut, trucha y caballa, que contienen **ácido eicosapentaenoico (EPA)** y **ácido docosahexaenoico (DHA)**. El ácido eicosapentaenoico y el DHA están ligados a una disminución de los triglicéridos dependiente de las dosis; una disminución, pequeña pero estadísticamente significativa, en la tensión arterial, sobre todo en los ancianos, y a potenciales efectos antiarrítmicos (107, 113).

También se puede consumir linaza, nueces, aceite de soja o aceite de colza para cubrir los requerimientos de omega-3, dado que contienen **ácido alfa-linolénico (ALA)**, un ácido graso omega-3 que se convierte en EPA y DHA. Sin embargo, este proceso de conversión es ineficaz. Según estudios *in vivo*, aproximadamente el 5% del ALA se convierte en EPA y <0,5% del ALA se convierte en DHA en los adultos (130). Por tanto, aunque los alimentos que

contienen ALA propendan a formar parte de la ingesta de omega-3, no tienen un efecto sustancial sobre los niveles de EPA y DHA en el cuerpo. Los alimentos ricos en ALA tal vez mejoren algunos factores de riesgo de enfermedad cardiovascular; sin embargo, no está claro quién es el responsable, si el ALA, los otros compuestos presentes en estos alimentos ricos en nutrientes o una combinación de los dos (38). Además de sus funciones fisiológicas, las grasas son importantes porque son responsables del sabor, aroma y textura característicos de muchos alimentos. Por lo general, la mayoría de las grasas y aceites dietéticos son una mezcla de los tres tipos de ácidos grasos, de los cuales siempre predomina uno. Los aceites de soja, maíz, girasol y cártamo son relativamente ricos en ácidos grasos poliinsaturados; los aceites de oliva, cacahuete y colza son ricos en ácidos grasos monoinsaturados, y la mayoría de las grasas animales y los aceites tropicales (p. ej., de coco y palma) son relativamente ricos en ácidos grasos saturados.

Cuando se depositan en el cuerpo humano, las grasas desempeñan muchas funciones. La energía se almacena sobre todo como tejido adiposo en el ser humano, sobre todo en los deportistas con entrenamiento aeróbico (150). La grasa corporal aísla y protege los órganos, regula las hormonas y transporta y almacena las vitaminas liposolubles A, D, E y K.

TABLA 9.7 Clasificación del colesterol LDL, total y HDL (mg/dl)

Colesterol LDL	
<100	Óptimo
130-159	Casi alto
160-189	Alto
>190	Muy alto
Colesterol total	
<200	Deseable
200-239	Casi alto
>240	Alto
Colesterol HDL	
<40	Bajo
>60	Alto

LDL = lipoproteínas de baja densidad; HDL = lipoproteínas de alta densidad.

La prueba del nivel de lipoproteínas se debe completar después de 9 a 12 horas de ayuno.

El colesterol LDL es el objetivo primario del tratamiento.

Fuente: National Heart, Lung, and Blood Institute de los Estados Unidos (http://bit.ly/1P0Mwx2).

Relación con el colesterol

El **colesterol** es una sustancia cérea y grasa que constituye un componente funcional y estructural importante de todas las membranas celulares. El colesterol también se usa para la producción de sales biliares, vitamina D y varias hormonas, como las hormonas sexuales (estrógeno, andrógeno y progesterona) y el cortisol. Y aunque el colesterol cumpla muchas funciones esenciales en el cuerpo, niveles altos de colesterol pueden derivar en aterosclerosis, es decir, endurecimiento de las arterias debido a la deposición de placas de ateroma en las paredes arteriales, lo cual estrecha la luz de las arterias por las que circula la sangre. Por tanto, poseer niveles altos de colesterolemia es un factor de riesgo de cardiopatía e ictus.

Niveles altos de colesterol total, **lipoproteínas de baja densidad (LDL)** y triglicéridos se asocian con un mayor riesgo de cardiopatía. Las lipoproteínas de baja densidad se dividen a su vez en subfracciones basadas en el tamaño de las partículas. Las partículas más pequeñas y densas, llamadas **lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL)**, son más aterógenas (taponamiento arterial) que las partículas más grandes de LDL (44). Niveles altos de grasas trans o saturadas, el aumento de peso y la anorexia elevan el nivel de colesterol LDL (162). No obstante, los niveles de VLDL aumentan al incrementarse la ingesta de hidratos de carbono (116). Niveles altos de **lipoproteínas de alta densidad (HDL)** protegen de cardiopatías, pero no son un objetivo del tratamiento (se pide a los médicos que no se centren en el HDL). La tabla 9.7 muestra el modo en que se clasifica el colesterol LDL, el colesterol total y el colesterol HDL.

Una ingesta elevada de hidratos de carbono refinados, el aumento de peso, la ingesta excesiva de alcohol y dietas muy bajas en grasas elevan los niveles de triglicéridos (lipemia). Sin embargo, al igual que sucede con el colesterol, varios factores influyen en los triglicéridos, como un estilo de vida sedentario, el sobrepeso y la obesidad, el tabaquismo, la genética y ciertas enfermedades y medicamentos (125, 162).

El Informe Científico para el Comité Asesor de las Pautas Alimentarias de

2015 recomienda evitar los aceites parcialmente hidrogenados que contengan grasas trans, limitar las grasas saturadas a menos del 10% del total de calorías y remplazar las grasas saturadas por grasas insaturadas, sobre todo poliinsaturadas. Además, se recomienda que los azúcares añadidos consumidos supongan un 10% máximo del total de calorías (176).

Grasas y rendimiento

Tanto los ácidos grasos intramusculares como los circulantes son fuentes potenciales de energía durante el ejercicio (126). Comparadas con la capacidad limitada del cuerpo para almacenar hidratos de carbono, las reservas de grasa son abundantes y representan una enorme fuente de energía para el ejercicio (54). Por ejemplo, un corredor delgado que pese 72 kg con un 4% de grasa corporal posee aproximadamente 22.400 calorías almacenadas en forma de tejido adiposo (53). En reposo y durante un ejercicio de baja intensidad, un alto porcentaje de la energía producida deriva de la oxidación de ácidos grasos (140). Cuando aumenta la intensidad del ejercicio, hay un desplazamiento gradual de las grasas a los hidratos de carbono como fuente preferida de combustible. El entrenamiento aeróbico constante aumenta la capacidad de los músculos para emplear ácidos grasos (79). Además del entrenamiento, el cuerpo se adapta a usar cantidades mayores de grasa como energía cuando se consume una dieta rica en grasas y baja en hidratos de carbono durante cierto período de tiempo (57, 79). Y como el tipo de dieta a la que se adapta el cuerpo tal vez influya en el rendimiento (66), los efectos de las dietas ricas en grasas y bajas en hidratos de carbono varían, dependiendo de cada persona (129, 139, 143).

El cuerpo humano tiene suficiente cantidad de grasas como para aportar energía en las largas sesiones de entrenamiento o competición.

Pautas sobre macronutrientes

Proteínas

- Optaremos por variedad de alimentos proteicos, entre otros, marisco, carne roja y blanca magra, huevos, alubias y guisantes, productos derivados de la soja, frutos secos y semillas.
- Aumentaremos la cantidad y variedad de marisco consumido substituyendo en ocasiones la carne por marisco.

- Remplazaremos alimentos proteicos ricos en grasas sólidas por otras opciones que tengan menos grasas sólidas y calorías (171).
- Adultos jóvenes en programas de acondicionamiento físico general: de 0,8 a 1 g de proteínas por kilogramo de peso corporal y día.
- Atletas de resistencia aeróbica: de 1 a 1,6 g de proteínas por kilogramo de peso corporal y día.
- Atletas de fuerza: de 1,4 a 1,7 g de proteínas por kilogramo de peso corporal y día.
- Atletas con una dieta hipocalórica: de 1,8 a 2,7 g de proteínas por kilogramo de peso corporal y día.

Hidratos de carbono

- Reduciremos la ingesta de calorías procedentes de azúcares añadidos.
- Aumentaremos la ingesta de verduras (preparadas sin sal ni grasas añadidas) y fruta (preparada sin azúcares añadidos).
- Comeremos diversas verduras, también alubias, guisantes y verduras de color rojo o naranja y verduras de hoja verde oscura.
- Al menos la mitad de los cereales que consumamos serán integrales. Aumentaremos la ingesta de cereales integrales remplazando las harinas refinadas por otras integrales.

Grasas y alcohol

- Consumiremos menos del 10% de calorías de las grasas saturadas remplazándolas por grasas insaturadas, en particular grasas poliinsaturadas.
- Evitaremos los aceites parcialmente hidrogenados que contienen grasas trans.
- Reduciremos la ingesta de calorías procedentes de grasas sólidas.
- Disminuiremos el consumo de harinas refinadas.
- Si consumimos alcohol, deberíamos hacerlo con moderación —hasta una bebida al día en caso de ser mujer y dos bebidas al día en caso de ser hombre— y siempre que sean ya adultos (176). Las mujeres embarazadas deben evitar el alcohol, y las mujeres lactantes deben tener mucha cautela con su ingesta (176). El alcohol se debe evitar después del ejercicio, porque reduce la síntesis de proteínas musculares (123).

Vitaminas

Las **vitaminas** son sustancias orgánicas (es decir, que contienen átomos de carbono) necesarias en muy pequeñas cantidades para cumplir funciones metabólicas específicas (67, 177). Las vitaminas suelen actuar de coenzimas, facilitando numerosas reacciones en el cuerpo. Por ejemplo, las vitaminas B ayudan al cuerpo a generar energía mediante el metabolismo de los hidratos de carbono. La tabla 9.8 describe las funciones y algunas fuentes alimenticias de vitaminas individuales.

Las vitaminas hidrosolubles, como las vitaminas B y C, se disuelven en

agua y se transportan en la sangre. Con la excepción de la vitamina B_{12}, que se deposita en el hígado durante años, las vitaminas hidrosolubles no se almacenan en cantidades apreciables en el cuerpo; en lugar de eso, el cuerpo usa lo que necesita y luego excreta el resto en la orina (170). Y aunque no se ha observado la aparición de efectos secundarios por exceso de consumo de vitamina B_{12}, consumir más de lo que el cuerpo puede usar no aumentará la energía ni mejorará la salud (17, 72). Las vitaminas A, D, E y K son liposolubles y, por tanto, son transportadas por las grasas presentes en la sangre y se almacenan en el tejido adiposo del cuerpo (142). El exceso de vitamina A preformada (no es el caso de β-caroteno, α-caroteno o β-criptoxantina, que se convierten en vitamina A en el cuerpo) es tóxico y se asocia con efectos indeseables como daños hepáticos, presión intracraneal (pseudotumor cerebral), mareos, náuseas, cefaleas, irritación cutánea, dolor articular y óseo, coma e incluso la muerte (67, 141). Aunque puede haber una ingesta excesiva de vitamina A, se suele deber a niveles altos de vitamina A en suplementos (70, 142). Los niveles tóxicos de vitamina D pueden derivar en arritmias cardíacas y niveles elevados de calcemia, que causa calcificación tisular y de los vasos sanguíneos, así como daños en el corazón, los vasos sanguíneos y los riñones (142). La vitamina E actúa de anticoagulante y, por tanto, diluye la sangre. La ingesta regular de cantidades excesivas de vitamina E causa la elevación de los niveles séricos de vitamina E, lo cual se asocia con un mayor riesgo de ictus hemorrágico, sobre todo en personas que toman anticoagulantes (124). Como la vitamina K ayuda a que la sangre se coagule, una ingesta excesiva de esta vitamina interfiere con los efectos de algunos medicamentos antitrombóticos como la warfarina (92).

TABLA 9.8 Vitaminas

Vitamina	Función	Fuentes alimenticias (171)	DRI y UL** por día (67, 70, 71, 72)
Vitamina A	Necesaria para la vista, la salud cutánea, los dientes, los tejidos corporales, y la salud de las membranas cutáneas y la piel	Alimentos de origen animal como hígado (de ternera, vacuno, oca, cordero, pavo), carne, leche enriquecida, queso y arenques	Hombres: 300-900 mcg EAR (equivalentes de actividad retiniana) (RDA) Mujeres: 300-1.300 mcg EAR (RDA) Hombres: 600-3.000 mcg EAR (UL) Mujeres: 600-3.000 mcg EAR (UL)
ß-caroteno	Un antioxidante.** Se convierte en vitamina A en el cuerpo	Batata, zanahorias, calabaza, espinacas, repollo, calabaza de invierno, cenizo, hojas de remolacha, hojas de nabo, col	No hay RDR o AI; sin embargo, 1 UI ß-caroteno de comida = 0,05 mcg RDA vitamina A. UL no es determinable debido a la falta de datos. Se recomienda la suplementación solo para personas con riesgo de déficit de vitamina A.
Vitamina D	Ayuda a la absorción de calcio y a mantener los niveles de calcio y fósforo en sangre. Necesaria para crear masa ósea y prevenir la pérdida de hueso	Pescado (pez espada, salmón, atún, sardinas, caballa, carpa, anguila, pescado blanco), leche enriquecida, cereales de desayuno enriquecidos, yemas de huevo	Hombres: 15-20 mcg (600-800 UI) (RDA) Mujeres: 15-20 mcg (600-800 UI) (RDA) Hombres: 63-100 mcg (2.500-4.000 UI) (UL) Mujeres: 63-100 mcg (2.500-4.000 UI) (UL)
Vitamina E	Un antioxidante.* Necesario para la función inmunitaria y el metabolismo	Aceites (germen de trigo, verdura), cereales de desayuno enriquecidos, frutos secos y semillas, germen de trigo, mantequilla de cacahuetes, aceite de maíz	Hombres: 6-15 mg (7,5-22,4 UI) (RDA) Mujeres: 6-19 mg (9-28,4 UI) (RDA) Hombres: 200-1.000 mg (300-1.500 UI) (UL) Mujeres: 200-1.000 mg (300-1.500 UI) (UL)
Vitamina K (filoquinona)	Necesaria para la coagulación; protege el tejido y la salud ósea	Verduras de hoja verde (col, coles de Bruselas, espinacas, acelgas, hojas de nabo y mostaza, hojas de remolacha), brécol, espárragos, cenizo	Hombres: 30-120 mg (IA) Mujeres: 30-90 mg (AI) No hay UL por falta de datos
Vitamina C	Favorece el desarrollo de células sanas, la curación de las heridas y la resistencia a las infecciones. Actúa de antioxidante.** Es necesaria para la conversión de la forma inactiva del ácido fólico en la forma activa	Pimiento morrón, melocotón, guayaba, brécol, kiwi, cítricos (fresas, naranjas, limas, limones, uvas, mandarinas), papaya, melón de Cantalupo, tomates, patatas, cebollas	Hombres: 15-90 mg (RDA) Mujeres: 15-120 mg (RDA) Hombres: 400-2.000 mg (UL) Mujeres: 400-2.000 mg (UL)
Tiamina (B_1)	Coenzima para el metabolismo de los hidratos de carbono. Necesaria para la normal función del sistema nervioso y los músculos, y también el corazón	Cereales de desayuno enriquecidos, pipas de girasol, guisantes, carne de cerdo, naranjas, zumo de naranja, alubias garrofón, nueces de pecán, arroz enriquecido	Hombres: 0,5-1,2 mg (RDA) Mujeres: 0,5-1,4 mg (RDA) No hay UL por falta de datos
Riboflavina (B_2)	Coenzima en la formación de eritrocitos, en la función del sistema nervioso y en el metabolismo de los hidratos de carbono, proteínas y grasas. Necesaria para la vista y tal vez ayude a proteger contra las cataratas	Hígado, germen de trigo, levadura de cerveza, almendras, queso, cereales de desayuno enriquecidos, proteína de suero, leche, huevos, cordero, cerdo, ternera, vacuno, brécol, yogur	Hombres: 0,5-1,3 mg (RDA) Mujeres: 0,5-1,6 mg (RDA) No hay UL por falta de datos

Vitamina	Función	Fuentes alimenticias (171)	DRI y UL** por día (67, 70, 71, 72)
Niacina	Coenzima para el metabolismo de los hidratos de carbono, proteínas y grasas, y para el correcto funcionamiento del sistema nervioso. Ingestas elevadas reducen los niveles altos de colesterol	Proteínas de soja, harina de soja, sustituto vegetal de la carne, proteína de suero, carne de vacuno, cacahuetes, mantequilla de cacahuetes, pipas de girasol, cereales de desayuno enriquecidos	Hombres: 6-16 mg (RDA) Mujeres: 6-18 mg (RDA) Hombres: 10-35 mg (UL) Mujeres: 10-35 mg (UL)
Piridoxina (B_6)	Coenzima para el metabolismo de las proteínas y la función de los sistemas inmunitario y nervioso. Interviene en la síntesis de hormonas y eritrocitos	Hígado, plátanos, cereales de desayuno enriquecidos, nueces de soja, pollo, atún, zanahorias crudas, carne de vacuno, brécol, espinacas, patatas, brotes de alfalfa, alubias arrocinas, mantequilla de cacahuetes, garbanzos, nueces, pipas de girasol, aguacates, huevos, judías garrofón, col, salmón	Hombres: 0,5-1,7 mg (RDA) Mujeres: 0,5-2 mg (RDA) Hombres: 30-100 mg (UL) Mujeres: 30-100 mg (UL)
Folato	Necesario para el crecimiento y desarrollo normales y para la formación de eritrocitos. Reduce el riesgo de defectos de nacimiento del tubo neural	Levadura de cerveza, cereales de desayuno enriquecidos, hígado, fríjoles de vaca, alubias (pintas, negras, de garrofón, blancas, garbanzos, nueces de soja), cacahuetes, mantequilla de cacahuete, espinacas, hojas de nabo, espárragos, hojas de mostaza, algas, huevos, pan enriquecido, naranjas, zumo de naranjas	Hombres: 150-400 mcg (RDA) Mujeres: 150-600 mcg (RDA) Hombres: 300-1.000 mcg (UL) Mujeres: 300-1.000 mcg (UL)
Cobalamina (B_{12})	Vital para la formación de la sangre y la salud del sistema nervioso	Hígado, ostras, cordero, huevos, carne de vacuno, marisco, pescado, aves de corral, cerdo, pollo, cereales de desayuno enriquecidos	Hombres: 0,9-2,4 mcg (RDA) Mujeres: 0,9-2,8 mcg (RDA) No hay UL por falta de datos
Biotina	Ayuda al metabolismo de los ácidos grasos y a la utilización de las vitaminas B	Frutos secos (cacahuetes, avellanas, almendras, anacardos, nueces de Macadamia, nueces de soja, mantequilla de cacahuete, fríjoles de vaca, hígado, leche, yemas de huevo, levadura, queso, coliflor, zanahorias, aguacate, batatas	Hombres: 8-30 mcg (AI) Mujeres: 8-35 mcg (AI) No hay UL por falta de datos
Ácido pantoténico	Ayuda al crecimiento y desarrollo normales	Hígado, pipas de girasol, cereales de desayuno enriquecidos, yemas de huevo, proteína de suero, cacahuetes, mantequilla de cacahuetes, nueces de pecán, ternera, arroz enriquecido, brécol, judías garrofón	Hombres: 2,5 mg (AI) Mujeres: 2-7 mg (AI) No hay UL por falta de datos

*Los antioxidantes son sustancias que modifican las vías de transmisión celular y contrarrestan los daños celulares por el estrés que causan las especies reactivas del oxígeno y del nitrógeno (radicales libres). Los radicales libres son beneficiosos o perjudiciales para la salud. Una producción excesiva o sobreexposición a radicales libres, combinada con un déficit de antioxidantes, causa estrés oxidativo y daños posteriores en los lípidos celulares, las proteínas y el ADN (67, 177).

**Ingestas recomendadas en la dieta (DRI): Una serie de recomendaciones nutricionales que incluye los valores de las raciones de dieta recomendadas (RDA), la ingesta adecuada (AI), el requerimiento promedio estimado (EAR) y el nivel máximo de ingesta tolerable (UL).

Nivel máximo de ingesta tolerable (UL): Ingesta diaria máxima de un nutriente que probablemente no conlleva la aparición de efectos adversos para la salud en la mayoría de la población general.

Las DRI y el UL se enumeran como valores a lo largo de una vida y para ambos sexos.

Minerales

Los **minerales** contribuyen a conformar la estructura de huesos, dientes y uñas; son un componente de las enzimas y realizan gran variedad de funciones metabólicas. Por ejemplo, el calcio es necesario para la formación y función de huesos y dientes, para las transmisiones nerviosas y para las contracciones musculares. El hierro es necesario para el transporte de oxígeno y también es un componente de las enzimas necesarias para el metabolismo de la energía. Calcio, fósforo, magnesio, hierro y los **electrolitos** sodio, potasio y cloruro a menudo reciben el nombre de macronutrientes minerales. En los atletas, los minerales son importantes para la salud ósea, para la capacidad transportadora de oxígeno y para el equilibrio osmótico y electrolítico. Los minerales, sus funciones y las fuentes apropiadas de alimentos se enumeran en la tabla 9.9.

Dos minerales, el hierro y el calcio, merecen atención adicional. Los atletas que no consumen suficiente hierro dietético desarrollan déficits de este mineral y **anemia** ferropénica, que en ambos casos alteran el rendimiento. Una ingesta insuficiente de calcio dietético contribuye a una baja densidad ósea y, posiblemente, a un futuro riesgo de sufrir osteopenia u osteoporosis.

Hierro

El hierro es esencial para la síntesis y la función de la hemoglobina, una proteína que transfiere oxígeno a todo el cuerpo (158). Además, el hierro es un componente de la proteína mioglobina, que transporta oxígeno a los músculos (51). Este mineral desempeña varios roles importantes en el crecimiento, desarrollo y funcionamiento celular, y en la síntesis y función de algunas hormonas (41, 46, 85).

El déficit de hierro es el déficit nutricional más prevalente en el mundo (183). Y aunque afecte desproporcionadamente a los países en vías de desarrollo, es habitual también en los países industrializados. La Encuesta Nacional de Examen de la Salud y la Nutrición (NHANES) halló que aproximadamente el 16% de las adolescentes de 16 a 19 años y el 12% de las mujeres de 20 a 49 años tenían déficits de hierro. En algunos estudios que examinaron el déficit de hierro en atletas femeninas de resistencia aeróbica, más de una de cada cuatro mujeres dieron positivo en un déficit de hierro (102, 137). Los déficits de hierro ocurren en tres fases (en orden de gravedad): depleción, déficit marginal y anemia (89, 118). El hierro

transporta oxígeno a los músculos activos, e incluso un déficit de hierro marginal tal vez deteriore el rendimiento del atleta (18, 61). La anemia ferropénica se produce cuando la persistencia de las reservas bajas de hierro dura cierto tiempo y el cuerpo no es capaz de fabricar suficientes eritrocitos sanos que transporten oxígeno a todo el cuerpo (157, 161). Los síntomas dependen de cada individuo; algunas personas son asintomáticas o se acostumbran a sus síntomas y asumen que son normales. Los síntomas de un déficit de hierro o de la anemia ferropénica tal vez comprendan debilidad, fatiga, irritabilidad, falta de concentración, cefaleas, disminución de la capacidad de ejercicio, alopecia y boca seca (15). Otros síntomas asociados con la anemia ferropénica son sentir frío con frecuencia, inflamación de la lengua (glositis), faltar el aliento durante actividades rutinarias y pica (deseo de comer sustancias no comestibles como almidón de lavandería, tierra, arcilla y hielo) (111).

TABLA 9.9 Minerales

Mineral	Función	Fuentes alimenticias (153)	DRI y UL (67, 68, 70, 71)
Calcio	Esencial para desarrollar y mantener la salud de huesos y dientes. Ayuda a la coagulación sanguínea, a las contracciones musculares y a las transmisiones nerviosas	Zumos de fruta, bebidas a base de fruta y enriquecidas con calcio, queso, sardinas, leche, requesón, yogur, helado, tofu, hojas de nabo, repollo chino, hojas de mostaza, col, colinabo	Hombres: 700-1.300 mg (RDA) Mujeres: 700-1.300 mg (RDA) Hombres: 2.000-3.000 mg (UL) Mujeres: 2.000-3000 mg (UL)
Fósforo	Actúa con el calcio para desarrollar y mantener fuertes los huesos y los dientes. Mejora el uso de otros nutrientes. Esencial para el metabolismo energético, para la estructura del ADN y para las membranas celulares	Queso, pescado, vacuno, cerdo, productos integrales, cacao en polvo, pipas de calabaza, pipas de girasol, almendras	Hombres: 460-1.250 mg (RDA) Mujeres: 460-1.250 mg (RDA) Hombres: 3-4 g (UL) Mujeres: 3-4 g (UL)
Magnesio	Activa casi 100 enzimas y ayuda a la función de nervios y músculos. Es un constituyente de huesos y dientes	Salvado (de trigo y arroz), cacao en polvo, cereales de desayuno enriquecidos, pipas (calabaza, girasol), nueces de soja, frutos secos (almendras, piñones, avellanas, anacardos, nueces, cacahuetes), espinacas	Hombres: 80-420 mg (RDA) Mujeres: 80-400 mg (RDA) Hombres: 65-350 mg (UL) Mujeres: 65-350 mg (UL)
Molibdeno	Necesario para el metabolismo del ADN y el ácido ribonucleico (ARN) y la producción de ácido úrico	Leche, productos lácteos, guisantes, judías, hígado, productos integrales	Hombres: 17-45 mcg (RDA) Mujeres: 17-50 mcg (RDA) Hombres: 300-2.000 mcg (UL) Mujeres: 300-2.000 mcg (UL)
Manganeso	Necesario para el desarrollo normal de los tejidos esquelético y conjuntivo. Interviene en el metabolismo de los hidratos de carbono	Germen de trigo, salvado de trigo, salvado de arroz, tortitas de arroz, frutos secos (cacahuetes, nueces de pecán, piñones, nueces, almendras, avellanas), nueces de soja, mejillones, productos de trigo integral (pasta, pan y galletas saladas)	Hombres: 1,2-2,3 mg (AI) Mujeres: 1,2-2,6 mg (AI) Hombres: 2-11 mg (UL) Mujeres: 2-11 mg (UL)

Mineral	Función	Fuentes alimenticias (153)	DRI y UL (67, 68, 70, 71)
Cobre	Interviene en el metabolismo del hierro, en la función del sistema nervioso, en la salud ósea y en la síntesis de proteínas. Interviene en la pigmentación de la piel, del cabello y de los ojos	Hígado, marisco (sobre todo ostras), langosta, frutos secos (anacardos, nueces del Brasil, avellanas, pecanas, pistachos), pipas (girasol, calabaza), cereales de desayuno enriquecidos, grandes habas norteñas	Hombres: 340-900 mcg (RDA) Mujeres: 340-1.300 mcg (RDA) Hombres: 1.000-10.000 mcg (UL) Mujeres: 1.000-10.000 mcg (UL)
Cromo	Colabora en el metabolismo de la glucosa y tal vez ayude a regular la glucemia y los niveles de insulina en diabéticos	Champiñones blancos, ostras crudas, vino, manzanas, levadura de cerveza, cerdo, cerveza, pollo	Hombres: 11-35 mcg (AI) Mujeres: 11-45 mcg (AI) No hay UL por falta de datos
Yodo	Es parte de la hormona tiroidea. Ayuda a regular el crecimiento, desarrollo y metabolismo de la energía	Sal yodada, pescado de agua salada y marisco	Hombres: 90-150 mcg (RDA) Mujeres: 90-290 mcg (RDA) Hombres: 200-1.100 mcg (UL) Mujeres: 200-1.100 mcg (UL)
Hierro	Necesario para la formación y función de los eritrocitos. Constituyente de la mioglobina y componente de los sistemas de enzimas	Hígado, vacuno, cordero, cerdo, ternera, aves de corral, almejas, ostras, cereales de desayuno enriquecidos, levadura de cerveza, frutos secos (piñones, anacardos, almendras), judías (enanas, verdinas), garbanzos	Hombres: 7-11mg (RDA) Mujeres: 7-27 mg (RDA) Hombres: 40-45 mg (UL) Mujeres: 40-45 mg (UL)
Selenio	Componente esencial de una enzima antioxidante clave. Necesario para el crecimiento y desarrollo normales y para el empleo del yodo en la función tiroidea	Solomillo de vacuno, abadejo, trucha, atún, ostras, caballa, lenguado, hígado, pipas de girasol, salvado de trigo, germen de trigo, cerdo, cereales de desayuno enriquecidos, perca, cangrejo, almejas, merluza, eglefino, panes de harina integral de trigo	Hombres: 20-55 mcg (RDA) Mujeres: 20-70 mcg (RDA) Hombres: 90-400 mcg (UL) Mujeres: 90-400 mcg (UL)
Zinc	Parte esencial de más de 100 enzimas que intervienen en la digestión, el metabolismo, la reproducción y la curación de heridas	Ostras, vacuno, ternera, cordero, cerdo, pollo, alubias garrofón, frijoles de vaca, alubias	Hombres: 3-11 mg (RDA) Mujeres: 3-13 mg (RDA) Hombres: 7-40 mg (UL) Mujeres: 7-40 mg (UL)

Las mujeres en edad de procrear, las adolescentes, las embarazadas, los bebés y niños en edad de aprender a andar son los que más necesidad tienen de hierro y, por tanto, los que mayor riesgo tienen de sufrir un déficit. Además, los corredores de fondo, los atletas vegetarianos, las atletas femeninas, las mujeres que pierdan una cantidad significativa de sangre durante el ciclo menstrual, las personas que tomen cantidades excesivas de antiácidos y otras con ciertas enfermedades digestivas, como los celíacos, corren un mayor riesgo de sufrir anemia ferropénica (70).

Los dos tipos de hierro presente en los alimentos son el hierro hem y no hem. El hierro hem, derivado de la hemoglobina, se encuentra en alimentos que originalmente contenían hemoglobina y mioglobina, alimentos de origen animal como la carne roja, el pescado y las aves de corral. El hierro hem se absorbe mejor que el hierro no hem, y en la absorción no influyen otras cosas

que comamos. Absorbemos aproximadamente del 15% al 35% del hierro hem que ingerimos (111).

El hierro no hem es la forma presente en todos los demás alimentos cuyo origen no sea animal, como las verduras, los cereales y los cereales de desayuno enriquecidos con hierro. Solo se absorbe del 2% al 20% del hierro no hem (165). Y aunque en el hierro hem no influyen los compuestos hallados en los alimentos ingeridos habitualmente, muchos factores influyen en la absorción del hierro no hem. Por ejemplo, el hierro no hem presente en las espinacas está unido a una sustancia llamada ácido fítico, que es la forma de almacenamiento del fósforo en las plantas. El ácido fítico reduce la absorción de hierro no hem. Además, otras sustancias tal vez reduzcan la absorción del hierro no hem, como los taninos (presentes en el té y el vino), el calcio (presente en los productos lácteos y las multivitaminas), los polifenoles, los fitatos (presentes en las legumbres y los cereales integrales) y algunas de las proteínas de la soja. Una persona aumentará el hierro no hem absorbido si consume al mismo tiempo bebidas o alimentos ricos en vitamina C, o si consume una fuente de hierro no hem al mismo tiempo que ingiere hierro hem. Por ejemplo, combinar espinacas con carne aumenta la absorción del hierro contenido en las espinacas (70, 165).

Hay muchas formas de tomar suplementos de hierro, y cada una de ellas tiene una cantidad distinta de hierro elemental, además de variar la biodisponibilidad y los potenciales efectos secundarios, como trastornos estomacales (103). Además, tanto el calcio como los suplementos de magnesio pueden interferir con la absorción de hierro (179). Sin embargo, hay muchos norteamericanos que no consumen suficiente calcio y magnesio en la dieta. Debido a los múltiples factores que influyen en la ingesta y absorción del hierro, como la ingesta de otros minerales, los atletas tal vez no lo estén consumiendo en cantidades adecuadas, pero solo un médico o un dietista colegiado puede recomendar suplementos de hierro y cómo tomarlos para lograr su máxima absorción y el mínimo trastorno estomacal (24, 47, 114, 144, 179).

Calcio

Una ingesta adecuada de calcio durante la infancia y la adolescencia es esencial para el desarrollo de unos huesos fuertes. El calcio ayuda al crecimiento en longitud y densidad de los huesos durante la adolescencia,

alcanzándose el 90% del pico de densidad mineral ósea en la fase final de la adolescencia (58, 154). Y en los adultos, el calcio ayuda a mantener la densidad ósea. Cuando la ingesta de calcio dietético es insuficiente, el calcio se obtiene de sus zonas de almacenamiento en los huesos para cubrir las demandas del cuerpo y mantener constantes las concentraciones de calcio en la sangre, en el músculo y en los líquidos intercelulares. El calcio es esencial para lograr el pico de masa ósea, y los déficits de calcio alteran esas concentraciones máximas de la densidad mineral ósea y aumentan el riesgo de fracturas en períodos posteriores de la vida (71). El calcio también mantiene fuertes los dientes, ayuda a regular las contracciones musculares e interviene en la función de los nervios, en la dilatación y contracción de los vasos sanguíneos, y en la secreción de hormonas y enzimas (71).

La NHANES registró que solo el 15% de las mujeres de 9 a 13 años y menos del 10% de las de 14 a 18 años y las mayores de 51 tomaban una ingesta adecuada (AI) de calcio procedente exclusivamente de la dieta (9). Por tanto, hay que animar a las atletas a incorporar productos lácteos y otros alimentos ricos en calcio en su dieta. El médico o un dietista colegiado pueden sugerir a estas mujeres tomar un suplemento de calcio si no cubren sus necesidades solo con la dieta.

Alimentos calóricos frente a alimentos densos en nutrientes

Debido al aumento de la obesidad en Estados Unidos, algunos científicos clasifican la dieta norteamericana como densa en calorías pero escasa en nutrientes. El Informe Científico para el Comité Asesor de las Pautas Alimentarias de 2015 recomienda un patrón dietético que contenga variedad de alimentos densos en nutrientes. Aunque no haya una definición normativa del término **densidad de nutrientes**, en general, la elección de alimentos densos en nutrientes significa buscar alimentos guiándose por nutrientes como las vitaminas, los minerales y la fibra alimentaria, así como por los compuestos saludables de origen vegetal que aportan, mientras que la densidad calórica hace referencia al contenido calórico de un alimento. Alimentos con densidad de nutrientes son la leche, las verduras, los alimentos proteicos y los cereales, mientras que la lista de alimentos de elevada densidad calórica pero poca densidad de nutrientes suele incluir las patatas fritas de bolsa, los postres y los caramelos (39). Para más información sobre densidad de nutrientes frente a densidad calórica, remitimos al lector al estudio de Drewnowski (39).

Líquido y electrolitos

El agua es el componente más abundante en el cuerpo y representa entre un

45% y un 75% del peso corporal de las personas (68). En el cuerpo humano el agua actúa de lubricante, amortiguador, material de construcción y solvente. El agua también es esencial para la regulación de la temperatura del cuerpo (el agua perdida en el sudor ayuda a enfriar la piel, sobre todo cuando hace calor y durante el ejercicio), para el transporte de nutrientes y para la eliminación de productos de desecho, así como para mantener el equilibrio osmótico y, por tanto, la tensión arterial normal (78). El agua es tan importante que incluso en condiciones óptimas de temperatura el cuerpo solo es capaz de sobrevivir unos pocos días sin agua (99).

Si bien mantener una **hidratación** adecuada es importante para todo el mundo, los atletas deben prestar mucha atención a su estado de hidratación puesto que las pérdidas de sudor que superen la ingesta de líquidos derivan rápidamente en un estado de hipohidratación con el consiguiente aumento de la temperatura central del cuerpo, disminución del volumen plasmático y elevación de la frecuencia cardíaca y del esfuerzo percibido (31, 147). Cuando esto sucede, la producción de sudor no es capaz de frenar el incremento de la temperatura central del cuerpo a menos que se ingiera líquido. El ejercicio repetido en un entorno de temperatura elevada ayuda al cuerpo a adaptarse al estrés térmico (p. ej., un mayor volumen de sudor, una menor concentración de electrolitos en el sudor y el inicio de la sudoración a una temperatura más baja), razón por la que los atletas quizá sean más propensos a la **deshidratación** y al estrés térmico al principio de la temporada (50). Los atletas con menos entrenamiento quizá sean más propensos al estrés térmico que los atletas bien entrenados (45). Debido a los cambios fisiológicos que alteran la conservación del agua en el cuerpo, así como al declive asociado con el envejecimiento en la ingesta de líquidos, las personas mayores corren un riesgo mayor de deshidratación e **hipohidratación** (45). Los niños también corren un riesgo mayor de deshidratación al captar más calor del entorno debido a la mayor relación entre su área superficial y su masa corporal en comparación con los adultos; al aumento de la producción de calor durante el ejercicio; a la menor capacidad para disipar calor por el sudor, y a una menor sensación de sed en comparación con los adultos (12, 40). Además, aquellos que presenten el rasgo drepanocítico, tengan fibrosis quística u otras enfermedades presentan un riesgo mayor de terminar deshidratados (12, 168). Incluso una leve deshidratación, que represente una pérdida de peso del 2-3%, puede aumentar la temperatura central del cuerpo e influir en grado significativo en el

rendimiento atlético al aumentar el cansancio y reducir la motivación, el control neuromuscular, la precisión, la potencia, la fuerza, la tolerancia física de los músculos y el rendimiento en general (13, 25, 37, 55, 81, 112, 149, 158). La deshidratación aumenta la temperatura central del cuerpo, reduce el volumen sistólico y el gasto cardíaco, baja la tensión arterial, reduce el riego sanguíneo de los músculos, aumenta el latido cardíaco, exacerba la rabdomiólisis por esfuerzo sintomática, y aumenta el riesgo de apoplejía térmica y el riesgo de defunción (31, 52, 109, 146). El riesgo de deshidratación es mayor en climas cálidos y húmedos, y a elevada altitud (26, 109, 117).

Equilibrio osmótico

La AI diaria de agua es 3,7 L para los hombres y 2,7 L para las mujeres. Sin embargo, la AI para las embarazadas y madres lactantes es 3 L y 3,8 L diarios, respectivamente. Todas las fuentes de líquido, también las bebidas como el café, el té, zumos y refrescos, además del líquido presente en los alimentos, contribuyen a cubrir las necesidades hídricas de las personas (68).

Mantener el equilibrio osmótico durante el entrenamiento y la competición resulta todo un reto para muchos atletas, sobre todo los que sudan profusamente o entrenan en ambientes cálidos y húmedos o a cierta altitud. Además de las condiciones ambientales, la ropa, el equipamiento y un gran tamaño corporal aumentan la tasa de sudoración; también ciertas prácticas inseguras para adelgazar, como el consumo frecuente o abusivo de diuréticos o laxantes, aumentan el riesgo de deshidratación (31, 34). Los jugadores de fútbol americano, sobre todo los linieros, corren un mayor riesgo de deshidratarse por el equipamiento y, en muchos casos, por su enorme tamaño corporal (31). Por ejemplo, un estudio con jugadores de la Liga Nacional de Fútbol Americano registró que, durante las prácticas, los corredores y receptores, con una masa muscular media de 93 ±6 kg, perdían una media de 1,4 ±0,45 L de sudor por hora, mientras que los linieros, con una masa corporal media de 135,6 ±17 kg, perdían una media de 2,25 ±0,68 L de sudor por hora. El cálculo de las pérdidas de sudor en ambos grupos durante un total de 4,5 horas de práctica en días de doble sesión fue 6,4 ±2 L para los corredores y receptores, y 10,1 ±3,1 L para los linieros (51). Llevar varias capas de ropa y equipo de protección contribuye a las pérdidas de sudor y a que aumente el riesgo de deshidratación de los jugadores de hockey (14),

mientras que la deshidratación intencionada y otros métodos arriesgados para perder peso aumentan el riesgo de deshidratación de los practicantes de lucha (52, 181). Es importante reparar en que existe un amplio margen de pérdidas de líquido por el sudor. Por ejemplo, los jugadores de la National Basketball Association perdieron de 1 a 4,6 L y contabilizaron una pérdida media de 2,2 ±0,8 L de sudor en el curso de un partido de 40 minutos en que el tiempo medio de juego fue 21 ±8 minutos (120). En personas sedentarias, la respiración y el sudor combinados contribuyen a pérdidas de agua que equivalen aproximadamente a 0,3 L por hora (148).

Prevención de la deshidratación

Debido a los efectos negativos asociados con la deshidratación, los atletas intentarán que las pérdidas de peso en agua no superen el 2% del peso corporal al tiempo que remplazan los electrolitos perdidos en el sudor (146, 147). El primer paso para prevenir la deshidratación es evaluar el estado de hidratación. La densidad de la orina sirve para valorar el estado hídrico, porque el test es sencillo, barato y portátil (178). No obstante, la densidad urinaria no es un indicador sensible de cambios agudos en la hidratación; es mejor usarla como medición del estado crónico de hidratación (120, 133). Un método rápido y sencillo para calcular el estado de hidratación consiste en medir cambios en el peso corporal antes y después del ejercicio. Los atletas deberían pesarse con la mínima ropa imprescindible antes y después de los entrenamientos. No se llevará puesta ropa sudada para pesarse. Cada 0,45 kg de peso perdido durante la práctica representa 0,5 L de líquido. Una pérdida del 2% o más del peso corporal revela que el atleta no está remplazando adecuadamente el líquido perdido por el sudor (146). Aparte de constatar la deshidratación aguda tras un entrenamiento, determinar cambios de peso en el tiempo tal vez ayude a identificar a los atletas que sufren deshidratación crónica, esos que pierden varios kilogramos en el curso de unos cuantos días (22).

Además de identificar a los atletas que no se hidratan adecuadamente, es posible calcular la tasa de sudoración, que nos da una idea mejor del líquido necesario durante el ejercicio, para lo cual se pesa a los atletas antes y de nuevo después de una sesión práctica de ejercicio intenso de 1 hora, y también se mide la ingesta de líquido y el volumen de orina producido. La tasa de sudoración equivale al peso corporal previo al ejercicio menos el peso

corporal después del ejercicio más la ingesta de líquido durante el ejercicio menos la orina producida (14, 22). Las evaluaciones de la cantidad de orina, por medio de la densidad urinaria o su volumen, tal vez lleven a conclusiones erróneas durante el período inmediato de rehidratación tras la deshidratación. Cuando los atletas consumen grandes cantidades de líquido hipotónico, producen cantidades copiosas de orina antes de estar adecuadamente hidratados (156).

Aparte de monitorizar los cambios de peso, a veces se aconseja a los atletas que comprueben el color de su orina. No obstante, la relación entre el color de la orina y el estado de hidratación es muy subjetiva (68, 109, 146). Hay algunos alimentos como la remolacha y las moras y algunos colorantes alimentarios y medicamentos que vuelven la orina rosa, roja o parduzca (49). También las vitaminas B, los carotenoides (como el β-caroteno) y algunos medicamentos vuelven la orina amarilla oscura o brillante, o naranja, mientras que los colorantes artificiales (como los que contienen las bebidas isotónicas) tal vez también vuelvan la orina azul o verde (178).

Los atletas experimentan un amplio rango de pérdidas de líquidos en forma de sudor. Por tanto, deben desarrollar planes de hidratación individualizados.

Electrolitos

Los principales electrolitos perdidos por el sudor son cloruro sódico y, en menor grado y por orden, potasio, magnesio y calcio (88). El sodio influye en la regulación osmótica ayudando a retener más cantidad del líquido consumido (108). Además, todos los electrolitos que se pierden por el sudor son esenciales para las contracciones musculares y la conducción nerviosa. Por tanto, cualquier alteración del equilibrio de los electrolitos en los líquidos del cuerpo podría interferir en el rendimiento. Las pérdidas de sodio por el sudor varían enormemente según el atleta, oscilando las concentraciones registradas entre 0,2 y más de 12,5 g/L (de 10 a más de 544 mEq/L) (31, 146). Dada la gran cantidad de sodio que algunos atletas pierden por el sudor, el remplazamiento de las pérdidas de sodio tal vez requiera una decisión consciente de tomar alimentos ricos en sodio, salar la comida y añadir electrolitos a las bebidas isotónicas. Los atletas que se ejercitan con intensidad o durante horas y se hidratan en exceso tomando solo agua o alguna bebida sin sodio o con poco tal vez diluyan sus niveles de sodio en sangre hasta niveles peligrosamente bajos —por debajo de 130 mmol/L—,

afección que recibe el nombre de **hiponatremia**. Esto deriva en edema intracelular y, cuando los niveles de sodio en la sangre descienden por debajo de 125 mmol/L, en cefaleas, náuseas, vómitos, calambres musculares, hinchazón de manos y pies, inquietud y desorientación. Cuando la natremia desciende por debajo de 120 mmol/L, aumenta el riesgo de desarrollar edema cerebral, convulsiones, coma, hernia troncoencefálica, paro respiratorio y riesgo de muerte (4, 6, 146). Para evitar la hiponatremia, la ingesta de líquidos no debe superar las pérdidas de sudor (los atletas no deben pesar más al terminar el ejercicio que al comienzo de la sesión de entrenamiento), y deben consumir sodio en alimentos o bebidas isotónicas (120, 146).

Las bebidas isotónicas aportan pequeñas cantidades de potasio para remplazar las pérdidas de potasio en el sudor. Sin embargo, no contribuyen de manera significativa a la ingesta total de potasio. Y como los estudios de investigación demuestran que <2% de los adultos de Estados Unidos cubren las recomendaciones dietéticas de potasio (29), los atletas se deben centrar en consumir más alimentos ricos en potasio en la dieta, como tomates, cítricos, melones, patatas, plátanos y leche.

Los atletas que se ejercitan con intensidad o durante horas y se hidratan excesivamente bebiendo solo agua o bebidas sin sodio o bajas en sodio tal vez diluyan su nivel de sodio en la sangre hasta niveles peligrosamente bajos.

Pautas para la ingesta de líquidos

En un plano ideal, los atletas deben iniciar el ejercicio o entrenamiento hidratados, evitar perder más del 2% del peso corporal (debido a las pérdidas por el sudor) durante el ejercicio, y rehidratarse por completo después del ejercicio y antes de la siguiente sesión de entrenamiento. La cantidad de líquido necesario para conseguir una rehidratación completa depende del período de tiempo que transcurra hasta la siguiente tanda de entrenamiento. Sin embargo, los estudios demuestran que algunos atletas inician la práctica o la competición en un estado de hipohidración, haciendo más difícil consumir suficiente líquido durante la sesión de ejercicio para equilibrar el mal estado de hidratación previo al ejercicio (120, 138). Además, los atletas con pérdidas significativas de sudor tal vez no beban voluntariamente suficiente líquido como para rehidratarse bien y prevenir la deshidratación durante el entrenamiento y la competición. Por esta razón, es necesario un enfoque sistemático de la sustitución de líquidos y también porque la sed tal vez no

sea un indicador fiable de las necesidades hídricas de los atletas que sudan mucho o de los que se ejercitan con intensidad cuando hace calor (22). Aunque haya que individualizar en lo posible las pautas de líquidos y electrolitos, dada la variabilidad de las pérdidas de estos que se producen en los atletas, las pautas generales presentadas a continuación son un buen punto de partida hasta que se aporten recomendaciones específicas basadas en la tasa de sudoración (7). Además, los entrenadores de la fuerza se deben asegurar de que los atletas tengan tiempo suficiente para beber y tener acceso a líquidos frescos (10-15 °C) (80).

Antes de la actividad

Habrá que hidratarse previamente, si es necesario, varias horas antes del ejercicio para que se produzca la absorción de líquidos y la producción de orina (146).

Durante la actividad

Debido a las grandes variaciones en las tasas de sudoración y las concentraciones de electrolitos, los atletas deberían medir los cambios de peso durante el entrenamiento y la competición en condiciones climatológicas específicas y desarrollar así estrategias individualizadas de hidratación basadas en esa información (146). Durante actividades prolongadas con calor, el IOM recomienda bebidas isotónicas que contengan de 20 a 30 mEq de sodio (400-690 mg de cloruro como anión) por litro, de 2 a 5 mEq de potasio 78-195 mg) por litro y una concentración de hidratos de carbono del 5% al 10% (73). Además, cuando se ingiera una bebida isotónica con una tasa elevada durante un ejercicio intenso o prolongado, los atletas tal vez quieran elegir una que contenga múltiples tipos de hidratos de carbono con distintos mecanismos de transporte intestinal, como glucosa, fructosa y maltodextrina. La ingestión de diversos tipos de hidratos de carbono frente a un solo hidrato de carbono causará un mayor vaciado gástrico, una mayor absorción de hidratos de carbono, una mayor oxidación y, posiblemente, un mejor rendimiento (33, 80). Todas las bebidas deben estar frías —entre 10 y 15 °C— pero no excesivamente (22).

La Academia Norteamericana de Pediatría recomienda que se obligue a los niños a beber de manera periódica. Estas pautas sugieren que los niños que pesen 40 kg deben beber 148 ml de agua fría o una bebida con sabor y sodio

cada 20 minutos durante la práctica, y que los adolescentes que pesen 60 kg deben beber 266 ml incluso si no tienen sed. Otra recomendación es que la bebida tenga una concentración de cloruro sódico de 15 a 20 mmol/L, pues se ha demostrado que aumenta un 90% la hidratación voluntaria en comparación con la ingesta de agua normal (30, 182).

Las pautas para la ingesta de líquidos de un vistazo

Antes del entrenamiento

- Los atletas deben contar con una lectura de la densidad de la orina <1,020. Se deben hidratar previamente, si es necesario, varias horas antes del ejercicio para permitir la absorción de líquidos y la producción de orina (146).

Durante una sesión de entrenamiento

Niños y adolescentes

- Los niños que pesen 40 kg beberán 150 ml de agua fría o una bebida con sabor y sal cada 20 minutos durante el entrenamiento.
- Los adolescentes que pesen 60 kg deben beber 250 ml de agua fría o una bebida con sabor y sal cada 20 minutos (30, 182).

Adultos

- Los atletas deben seguir un plan de hidratación individualizado. Durante una actividad prolongada con calor, consumirán una bebida isotónica que contenga de 20 a 30 mEq de sodio (460-490 mg con cloruro como anión) por litro, de 2 a 5 mEq de potasio (78-195 mg) por litro e hidratos de carbono en una concentración del 5% al 10%.

Después del entrenamiento

- Los atletas deben consumir suficientes alimentos y líquido, así como sodio, para restablecer la hidratación. Si la deshidratación es significativa o si el atleta tiene <12 horas antes de la siguiente tanda de ejercicios, se precisará un enfoque más agresivo y el atleta tendrá que consumir aproximadamente 1,5 L de líquido (con suficientes electrolitos) por kilogramo perdido de peso corporal.

Después de la actividad

Después de la actividad, los atletas deben remplazar los líquidos y electrolitos perdidos. Si el tiempo lo permite, las comidas habituales, los aperitivos

(siempre y cuando contengan sodio) y el agua restablecerán los líquidos y electrolitos perdidos.

Se puede añadir algo más de sal a los alimentos cuando las pérdidas de sodio por el sudor sean sustanciales (68, 146). Si la deshidratación es significativa, o si el atleta cuenta con poco tiempo para recuperarse antes de la siguiente tanda de ejercicio (<12 horas), entonces se requerirá una táctica más agresiva: Los atletas deben consumir aproximadamente 1,5 L de líquido (con suficientes electrolitos) por cada kilogramo de peso corporal perdido. Esta cantidad de líquido ayudará a aumentar la producción de orina mediante el consumo de un gran volumen de líquido (146, 155).

Conclusión

La nutrición desempeña un papel importante en la fuerza y el acondicionamiento físico. Una hidratación adecuada con electrolitos, un aporte apropiado de energía y una ingesta adecuada de hidratos de carbono, grasas, vitaminas y minerales permite a los atletas sacar los máximos beneficios del entrenamiento. Es esencial que los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico tengan un conocimiento general de los principios de la nutrición y sus aplicaciones si quieren ayudar a los atletas a descartar la información nutricional errónea y proporcionales unas pautas seguras que puedan seguir para mejorar sus dietas.

PALABRAS CLAVE

ácido
- docosahexaenoico (DHA)
- eicosapentaenoico (EPA)
- graso
- omega-3 ácido α-linolénico (ALA)

aminoácido
anemia
biodisponibilidad
carga glucémica
colesterol
densidad de nutrientes
deshidratación

dietista deportivo
digestibilidad de las proteínas
disacáridos
electrolitos
fibra alimentaria
fructosa
galactosa
glucogénesis
glucógeno
gluconeogénesis
glucosa
grasa
hidratación
hidrato de carbono
hipohidratación
hiponatremia
índice
  de aminoácidos corregido por la digestibilidad de las proteínas (IAACDP)
  glucémico (IG)
ingesta
  adecuada (AI)
  de referencia en la dieta (DRI)
intervalo aceptable de distribución de macronutrientes (AMDR)
lactosa
lipoproteína
  de alta densidad (HDL)
  de baja densidad (LDL)
  de muy baja densidad (VLDL)
macronutriente
maltosa
micronutriente
minerales
monoinsaturado
monosacárido
MyPlate
nivel máximo de ingesta tolerable (UL)
poliinsaturado

polipéptido
polisacárido
proteína
raciones de dieta recomendadas (RDA)
requerimiento promedio estimado (EAR)
saturada (grasa)
síntesis de proteínas musculares
sucrosa
triglicérido
vitamina

PREGUNTAS DE REPASO

(respuestas en la página 657)

1. Manteniendo unas reservas adecuadas de glucógeno:
   a. Se ahorran proteínas para su uso como energía.
   b. Mejora la potencia máxima.
   c. Empeora el rendimiento de fondo.
   d. Se ayuda a que los atletas ganen peso.

2. ¿Cuál de los siguientes factores explica MEJOR la necesidad de una mayor ingesta de proteínas por los atletas?
   a. Disminución de la oxidación de proteínas durante el ejercicio aeróbico.
   b. Aumento de la necesidad de reparación de tejidos.
   c. Restricción de calorías para perder peso.
   d. La calidad de las proteínas consumidas.

3. ¿Qué factor de los siguientes es el que contribuye más probablemente a la fatiga y a un mal rendimiento?
   a. Baja ingesta de proteínas.
   b. Déficit de hierro.
   c. Baja ingesta de calcio.
   d. Déficit de ácidos grasos omega-3.

4. ¿Cuál de las siguientes es una recomendación para bajar niveles indeseablemente altos de lipemia?
   a. Reducir la ingesta de hidratos de carbono complejos.

b. Limitar la ingesta de ácidos grasos saturados al 30% del total de calorías.
c. Consumir un mínimo de 500 mg de colesterol dietético al día.
d. Remplazar los ácidos grasos saturados por ácidos grasos monoinsaturados o poliinsaturados.

5. ¿Cuál de las siguientes fuentes de proteínas no contiene todos los aminoácidos esenciales en cantidades apreciables?
   a. Carne de aves de corral.
   b. Huevos.
   c. Lentejas.
   d. Carne de vacuno.

CAPÍTULO 10

Estrategias nutricionales para potenciar el rendimiento

Marie Spano

A la conclusión del capítulo, el lector:

- Hará una lista de las recomendaciones nutricionales para antes, durante y después de la competición en distintos deportes.
- Propondrá las pautas para aumentar o bajar de peso.
- Identificará los signos y síntomas de los trastornos de la conducta alimentaria.
- Entenderá la importancia de que se haya instaurado *in situ* un sistema de intervención y de derivación de atletas cuando se sospeche que padecen un trastorno de la conducta alimentaria.
- Será consciente de la prevalencia y las etiologías de la obesidad.
- Ayudará en el proceso de evaluación inicial de personas obesas.

Aquello que comen y beben los atletas antes y durante la competición influye en su rendimiento, mientras que la comida posterior a un evento deportivo tiene un mayor impacto sobre la recuperación y, si el período entre eventos deportivos es inferior a 24 horas, también sobre el rendimiento en el siguiente evento o partido. Este capítulo se centra, por tanto, en la nutrición antes, durante y después de la competición; así mismo, se aportan pautas para los atletas que quieran ganar o perder peso. Pero ningún debate sobre el peso está completo a menos que incluya información sobre los **desequilibrios alimentarios** y los **trastornos de la conducta alimentaria**. Es imperativo que el especialista en fuerza y acondicionamiento físico reconozca cuándo un atleta presenta posibles signos y síntomas de un trastorno de la conducta alimentaria y se comporte como un miembro activo del equipo de tratamiento.

Nutrición antes, durante y después de la competición

Las prácticas dietéticas de los atletas a largo plazo influyen en su salud y rendimiento generales. Además, lo que los atletas comen antes y durante la competición tiene efectos fisiológicos y psicológicos sobre el rendimiento, mientras que la comida después de la competición afecta a la recuperación y, por tanto, tal vez influya en su rendimiento en el siguiente entrenamiento o la siguiente competición.

Nutrición previa a la competición

La **comida previa a la competición** aporta líquidos para mantener una adecuada hidratación e hidratos de carbono con los que potenciar la glucemia y los niveles de glucógeno de reserva (5, 25), al tiempo que sacia el hambre. El glucógeno es la principal forma de energía usada durante el ejercicio de alta intensidad (>70% del $\dot{V}O_2$ máx); una vez que se agotan dichas reservas, el atleta experimenta fatiga muscular (56). Pequeñas cantidades de glucógeno se almacenan en el hígado y el músculo, alcanzando un total aproximado de 15 g de glucógeno por kilogramo de peso corporal (1). Por ejemplo, un hombre de 80 kg puede almacenar unas 1.200 calorías de glucógeno. El glucógeno almacenado en el hígado es usado por todo el cuerpo, mientras que el glucógeno almacenado en el tejido muscular solo es usado por los músculos (56).

A pesar del papel vital que desempeñan la hidratación y el glucógeno en el rendimiento deportivo, los estudios sobre la importancia de la comida antes de la competición y su efecto en el rendimiento son equívocos debido a las diferencias entre los sujetos objeto de estudio y en los métodos empleados. Algunos demuestran que una comida previa al ejercicio y rica en hidratos de carbono mejora el período aeróbico del ejercicio hasta el agotamiento (24, 93, 113), así como el rendimiento anaeróbico de varones adolescentes (71), mientras que otros estudios no aprecian ningún efecto sobre el rendimiento en contrarrelojes (100). A pesar de estas diferencias y al hecho de que los estudios reprodujeron el rendimiento, no tuvieron en cuenta varios factores que distinguen el entorno competitivo del ámbito de un laboratorio, como el nerviosismo previo a la competición, la temperatura, la humedad y la altitud. Los atletas pueden adaptar las pautas generales para la comida previa a la competición basadas en la literatura y ajustarlas a sus necesidades únicas y al

entorno competitivo en el que se encuentran.

En las comidas antes de la competición se tendrá en cuenta el momento adecuado, la composición de la comida y el líquido, el evento o deporte, y las preferencias individuales del atleta. Con el fin de minimizar el riesgo potencial de un trastorno estomacal, se consumirán cantidades menores de líquidos y alimento cuando la comida esté más próxima al momento de iniciar la competición. El atleta debe conocer los alimentos y bebidas que toma antes de la competición (y que debe haber probado en los entrenamientos); los alimentos deben ser bajos en grasa y fibra para que el vaciado del estómago sea rápido y se reduzca cualquier posible incomodidad gastrointestinal, y con un contenido moderado de proteínas (las proteínas sacian durante más tiempo) (5).

Los atletas pueden elegir entre tomar antes de la competición hidratos de carbono de índice glucémico bajo o alto (124), dado que los estudios de investigación no especifican si unos son más ventajosos que otros (12). Aunque consumir hidratos de carbono que eleven rápidamente los niveles de insulina, como la glucosa, conllevará un descenso inicial de la glucemia al comienzo del ejercicio, esta suele recuperar la normalidad en unos 20 minutos, y el descenso inicial no tiene efecto negativo sobre el rendimiento (78).

Deportes de resistencia aeróbica

La comida previa a la competición tal vez sea muy importante para los atletas de resistencia aeróbica que compiten en actividades prolongadas (>2 horas) por la mañana después de una noche de ayuno. Al despertar por la mañana, los niveles de glucemia son bajos y las reservas de glucógeno en el hígado se reducen sustancialmente. Ambas situaciones disminuyen la cantidad de hidratos de carbono disponibles para su uso como energía. Los hidratos de carbono de la comida antes de la competición mejoran significativamente las reservas de glucógeno y prolongan el tiempo que dura el ejercicio hasta el agotamiento de los atletas que regularmente incluyen hidratos de carbono en su dieta, cuando el alimento se ingirió 3 horas o más antes de la competición (27, 137).

Un estudio transversal examinó si con una comida antes de la competición rica en hidratos de carbono, junto con una bebida isotónica con hidratos de carbono y electrolitos consumida durante el ejercicio, se conseguía mejorar la capacidad de resistencia aeróbica al correr (al 70% del $\dot{V}O_2$ máx hasta el

agotamiento) más que con las bebidas isotónicas solas (23). Los científicos hicieron que varios hombres corrieran sobre una cinta sin fin en tres ocasiones separadas por una semana, después de un ayuno nocturno seguido por: (1) una comida con hidratos de carbono 3 horas antes del ejercicio, además de una bebida rica en hidratos de carbono y electrolitos durante la carrera; o (2) una bebida placebo baja en calorías (con el mismo sabor que la bebida isotónica habitual) 3 horas antes del ejercicio y agua durante la carrera. Durante los dos días previos a la primera prueba importante, los sujetos se pesaron y se registró su ingesta de alimentos. Repitieron la misma dieta durante los dos días previos a cada prueba. No se apreciaron diferencias en la media de la ingesta calórica diaria entre los tres ensayos. Con el consumo de una comida rica en hidratos de carbono previa al ejercicio se mejoró un 9% la capacidad para correr fondo en comparación con la bebida placebo antes del ejercicio y el agua durante el rodaje. No obstante, con la comida rica en hidratos de carbono más la bebida isotónica durante el rodaje la capacidad de resistencia mejoró un 22% en comparación con la ingesta previa de un placebo y de una bebida isotónica durante el rodaje. Estos resultados evidencian que ingerir una comida antes de la competición o el ejercicio rica en hidratos de carbono ayuda a mejorar la resistencia aeróbica al correr (23).

Minimizar los trastornos gastrointestinales

Para reducir la posibilidad de sufrir molestias estomacales durante la competición, los atletas deben hacer lo siguiente:

- Probar primero los alimentos durante los entrenamientos. Siempre se probarán alimentos nuevos durante varias sesiones prácticas antes de utilizarlos en la competición (5).
- Cuando la comida esté próxima al comienzo del partido o evento deportivo, se consumirán cantidades más pequeñas de alimento y líquido.
- Se evitarán los alimentos ricos en grasas y en fibra. Tanto la fibra como las grasas ralentizan la digestión. Cuando todavía se están digiriendo los alimentos durante el ejercicio, a veces se padecen retortijones (5).
- Se evitarán los alcoholes de sabor dulce. A pesar de su nombre, no contienen alcohol, pero su estructura química se parece a la del azúcar y el alcohol. Estas bebidas contienen un tipo de hidratos de carbono que no se absorben por completo en el intestino. Por consiguiente, su consumo en ocasiones genera gases, sensación de plenitud, calambres gastrointestinales y a veces tienen un efecto laxante. Los alcoholes de sabor dulce se encuentran en algunos productos sin azúcar y con pocos hidratos de carbono, incluyendo los chicles sin azúcar, la pasta dentífrica y los elixires bucales. Los dos alcoholes que es más probable que causen problemas gastrointestinales son el sorbitol y el manitol (131). Cualquier producto que pueda

suponer el consumo de 20 g de manitol debe llevar esta advertencia en su etiqueta: «Un consumo excesivo puede tener efectos laxantes». Las respuestas individuales al alcohol de sabor dulce varían. Estos alcoholes son, entre otros: xilitol (el más habitual en los productos dentales), eritritol, sorbitol, manitol, maltitol, isomaltitol, lactitol, hidrolizados de almidón hidrogenado y jarabes de glucosa hidrogenada (131).

Los atletas de fondo que no estén adaptados crónicamente a una dieta baja en hidratos de carbono y que empiecen a ejercitarse con las reservas de glucógeno agotadas destruirán músculo para emplear sus proteínas como energía, y tal vez experimenten supresión de la función de los sistemas inmunitario y nervioso central. Por tanto, una comida previa al ejercicio rica en hidratos de carbono ayudará a atenuar el catabolismo de músculo esquelético y aportará hidratos de carbono para el funcionamiento del sistema inmunitario y el sistema nervioso (20, 72). Con el tiempo, la adaptación al consumo crónico de una dieta baja en hidratos de carbono aumenta la dependencia del cuerpo de sus enormes reservas de grasas como fuente de energía durante el ejercicio, si bien el entrenamiento con reservas bajas de glucógeno tal vez cause supresión de la función del sistema inmunitario y del sistema nervioso (20, 45). En un estudio que examinó el catabolismo de las proteínas, seis personas pedalearon en un cicloergómetro durante 1 hora al 61% del $\dot{V}O_2$ máx tras un protocolo de **carga de hidratos de carbono**, o tras la depleción de los hidratos de carbono. En el estado de depleción, se calculó que la destrucción de proteínas fue de 13,7 g por hora, lo cual representó el 10,7% de las calorías usadas durante el ejercicio (72).

Está claro que ingerir una comida horas antes de la competición mejorará el rendimiento en pruebas de resistencia aeróbica. Sin embargo, las horas tan tempranas a las que comienzan muchas carreras complican el poder armonizar las ganas de comer con el deseo de dormir el máximo tiempo posible. Por ejemplo, a un corredor que tenga que estar en la línea de salida a las 7 de la mañana tal vez no le parezca práctico levantarse a las 3 o las 4 para comer algo. Los atletas que se ven en esta tesitura deben practicar la ingesta de pequeñas cantidades de comida 1 a 2 horas antes de empezar, además de asegurarse de que ingieren una cantidad adecuada de hidratos de carbono durante la competición.

Las siguientes son recomendaciones generales que se pueden adaptar para cubrir las necesidades individuales. Se necesitan más estudios de investigación que examinen los requerimientos de los atletas en diferentes deportes y determinen los efectos de distintas cantidades de cada

macronutriente sobre el rendimiento (95). Hasta ese momento, las pautas para los atletas de resistencia aeróbica se tendrán que adaptar a otros deportes.

- Los atletas se hidratarán previamente, si es necesario varias horas antes del ejercicio, para que el cuerpo absorba el líquido y produzca orina. La lectura de la gravedad específica de la orina (USG) debe ser <1,020 (112).
- Los atletas que tiendan a sentir náuseas con facilidad, que hayan sufrido diarrea durante la competición, que se pongan nerviosos o experimenten ansiedad antes de la competición o que compitan en deportes de alta intensidad (los movimientos descoordinados aumentan la posibilidad de trastornos estomacales), así como los que compitan con calor ambiental, tal vez se deban plantear comer al menos 4 horas antes de la competición. Los atletas de resistencia aeróbica que coman al menos 4 horas antes de la competición incluirán de 1 a 4 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal y de 0,15 a 0,25 g de proteínas por kilogramo de peso corporal (124).
- Si la comida previa a la competición se ingiere 2 horas antes del ejercicio, los atletas tratarán de ingerir aproximadamente 1 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal. Los atletas seguirán un plan de hidratación individualizado. Durante actividades prolongadas con calor ambiental, consumirán una bebida isotónica que contenga de 20 a 30 mEq de sodio (460-690 mg con el anión cloruro) por litro, de 2 a 5 mEq de potasio (78-195 mg) por litro e hidratos de carbono en una concentración del 5% al 10% (112).
- Cuando la ingesta se realice más cerca de la competición, la comida será más parca. Además, a veces son preferibles fuentes líquidas de hidratos de carbono cuando la comida es una hora antes de la prueba, porque el vaciado gástrico es así más rápido que con alimentos sólidos (5). Los geles, las gominolas y fuentes parecidas de hidratos de carbono también se digieren con gran rapidez. La tabla 10.1 ofrece un resumen de estas recomendaciones y aporta posibles opciones de alimentos.

Es probable que los atletas quieran llevar un registro de su ingesta de alimentos, especificando la hora de las comidas o aperitivos y sus sensaciones durante el entrenamiento. Al llevar un registro de los tipos y cantidades de alimentos consumidos, y de las horas de la ingesta respecto al

entrenamiento, resulta posible identificar cualquier problema que repercuta en el rendimiento o cualquier trastorno estomacal, para desarrollar un plan mejorado para la precompetición.

TABLA 10.1 Recomendaciones sobre la ingesta de líquidos y alimentos antes de una competición para atletas de resistencia aeróbica*

Antes de la competición	Recomendaciones sobre alimentos	Recomendaciones sobre líquidos	Ejemplos de comidas para un atleta de 68 kg	Muestra de comidas basadas en las recomendaciones sobre alimentos y líquidos	
≥1 hora	0,5 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal		34 g de hidratos de carbono	· 1 plátano pequeño · 25 cl de bebida isotónica	· 37 g de hidratos de carbono · 25 cl de líquido
2 horas	1 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal	Si no se está bien hidratado, se beberá a sorbos 3-5 ml de líquido por kilogramo de peso corporal (112)	· 68 g de hidratos de carbono · 20-35,4 cl de líquido	· 2,5 tazas de patata hervida sin piel · 2 *bagels* pequeños con 1 cda de mermelada · 25 cl de bebida isotónica	· 66 g de hidratos de carbono · 72 g de hidratos de carbono · 25 cl de líquido
4 horas o más	1-4 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal y 0,15-0,25 g de proteínas por kilogramo de peso corporal (100)	5-7 ml de agua o una bebida isotónica por kilogramo de peso corporal (112)	· 68-272,8 g de hidratos de carbono · 10-17 g de proteínas · Mínimo de grasas	Cuenco de cereales y fruta: 25 cl de leche desnatada + 2 tazas de cereales Cheerios + ¼ taza de pasas	· 72 g de hidratos de carbono (1 rebanada = 64 g) · 17 g de proteínas · 42 cl de agua
				Sándwich de pan blanco con huevo: 2 claras sobre 2 rebanadas de pan blanco (no tomar panes ricos en fibra antes de hacer ejercicio)	· 72 g de hidratos de carbono (1 rebanada = 64 g) · 17 g de proteínas · 42 cl de agua

*Estas recomendaciones son para atletas de resistencia aeróbica y es posible adaptarlas a otros tipos de atletas.

El principal propósito de la comida previa a una competición es aportar suficiente líquido con que mantener la hidratación y el aporte de hidratos de carbono con el fin de potenciar la glucemia y las reservas de glucógeno, además de satisfacer el hambre.

Carga de hidratos de carbono

La depleción del glucógeno muscular y el glucógeno almacenado en el hígado deriva en fatiga durante el ejercicio de resistencia aeróbica de larga duración (109, 123, 133). Por eso se lleva aplicando durante décadas una

técnica llamada carga de hidratos de carbono para mejorar las reservas de glucógeno muscular antes de los eventos de resistencia aeróbica. Y aunque hay muchas opciones distintas de la carga de hidratos de carbono, todas incluyen una ingesta rica en hidratos de carbono los días previos a una competición con el fin de recargar al máximo las reservas de glucógeno y, por tanto, disponer de hidratos de carbono en los estadios finales de la competición (25). La carga de hidratos de carbono ofrece beneficios potenciales para los fondistas, los ciclistas de carretera, los esquiadores de fondo y otros atletas de resistencia aeróbica que se arriesgan a agotar las reservas de glucógeno, y es posible que pueda beneficiar también a otros atletas (105).

Un régimen habitual de carga de hidratos de carbono consiste en tres días siguiendo una dieta rica en hidratos de carbono al mismo tiempo que disminuye gradualmente el ejercicio la semana previa a la competición y se impone un día de descanso completo justo antes de la competición. La dieta debe aportar suficientes calorías e hidratos de carbono por día: 8 a 10 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal. Este régimen aumenta las reservas de glucógeno en los músculos entre un 20% y un 40% por encima de lo normal (25). Sin embargo, se han sugerido ingestas mayores, de 10 a 12 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal, para los corredores durante las 36 a 48 horas previas a un maratón (19).

Los estudios han demostrado que la carga de hidratos de carbono es eficaz en los hombres (123, 139). Sin embargo, los estudios sobre mujeres han dado resultados contradictorios. Un estudio examinó los efectos de la carga de hidratos de carbono sobre el rendimiento en pruebas de resistencia aeróbica y la utilización de sustratos en corredoras eumenorreicas de peso estable y edades comprendidas entre 20 y 40 años, con un promedio habitual de 53 km semanales durante al menos 12 meses antes del estudio y una ingesta típica de hidratos de carbono que no llegó a sumar el 65% de la ingesta calórica total (7). Cada mujer completó tres carreras de 24,2 km a su ritmo sobre una cinta sin fin después de seguir durante cuatro días un régimen experimental: (1) suplementación de hidratos de carbono (el 50% de las calorías proceden de hidratos de carbono); (2) carga y suplementación de hidratos de carbono (el 75% de las calorías proceden de hidratos de carbono), y (3) un placebo (el 50% de las calorías proceden de hidratos de carbono).

Los dos primeros grupos consumieron una solución al 6% de hidratos de carbono y electrolitos antes del ejercicio (6 ml/kg) y luego cada 20 minutos

durante el ejercicio (3 ml/ kg). Y aunque esos dos primeros grupos usaron una mayor porción de energía procedente de hidratos de carbono durante sus rodajes, no hubo una diferencia significativa entre los grupos en su rendimiento al correr. Sin embargo, no se plasmó el total de calorías ni los gramos de hidratos de carbono por día; por tanto, es posible que el total de calorías o las ingestas de hidratos de carbono (o ambos) no fueran adecuados para las corredoras. Además, dado el reducido número de sujetos incluidos en este estudio, tal vez se hubieran apreciado diferencias en el rendimiento si se hubiese ampliado el número de mujeres (7).

En otro estudio, los investigadores hallaron que los hombres incrementaban significativamente el contenido de glucógeno, pero no así las atletas, después de incrementar la ingesta de hidratos de carbono de un 58% a un 74% de calorías los cuatro días previos a una prueba de esfuerzo submáximo y resistencia aeróbica, lo cual se debió a una ingesta inadecuada de calorías o hidratos de carbono (o ambos), o bien a diferencias por el sexo en el almacenamiento de glucógeno (123). En un estudio de seguimiento, los mismos investigadores examinaron la capacidad de almacenamiento de glucógeno en seis hombres y seis mujeres bien entrenados (125). A dichos sujetos se les asignó aleatoriamente una de tres posibles dietas durante cuatro días: una dieta rica en hidratos de carbono (el 75% de la ingesta total de calorías); una dieta rica en hidratos de carbono más calorías extra (el 75% de las calorías de hidratos de carbono y un incremento del 34% en el total de calorías) o su dieta diaria habitual. En los hombres, tanto la dieta rica en hidratos de carbono como la dieta rica en hidratos de carbono más calorías extra derivaron en niveles significativamente mayores de glucógeno almacenado en comparación con la dieta habitual. Sin embargo, en las mujeres, solo la dieta rica en hidratos de carbono con calorías extra consiguió aumentos significativos en las reservas de glucógeno en comparación con la dieta habitual. En los estados de nivel alto de hidratos de carbono, los hombres aumentaron su ingesta total de hidratos de carbono hasta 7,9 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal, mientras que las mujeres alcanzaron justo 6,4 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal. No se apreciaron diferencias entre hombres y mujeres en su capacidad para usar el glucógeno atendiendo a la actividad enzimática. Por tanto, la incapacidad de estudios previos para mostrar mejoras en el rendimiento con la carga de hidratos de carbono en las mujeres es probable que se debiera a una ingesta general inadecuada de hidratos de carbono (125). Esta teoría (la

de que las mujeres no consumen suficientes hidratos de carbono en muchos de los protocolos) fue respaldada por un estudio que sometió a examen a mujeres ciclistas. En mujeres ciclistas entrenadas, tres o cuatro días de una dieta moderada de hidratos de carbono (un 48% de calorías procedentes de hidratos de carbono) seguidos por tres o cuatro días consumiendo un 78% de calorías procedentes de hidratos de carbono (8,14 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal) derivaron en aumentos significativos de las reservas de glucógeno y una prolongación del tiempo sobre la bicicleta hasta el agotamiento, en comparación con siete días siguiendo una dieta moderada de hidratos de carbono (133). Los investigadores han hallado que la capacidad de almacenamiento de glucógeno en el período de 4 horas tras el ejercicio no difirió entre hombres y mujeres cuando consumieron la misma cantidad de hidratos de carbono por unidad de peso corporal (1 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal inmediatamente tras el ejercicio y una hora después de acabar el ejercicio) (122). Y aunque la capacidad para almacenar glucógeno sea mayor durante la fase lútea del ciclo menstrual de las mujeres en comparación con la fase folicular inicial debido a diferencias hormonales, puede que sea la carga de hidratos de carbono la que marque esa diferencia (94).

El principal reto con la carga de hidratos de carbono en las mujeres parece ser la ingesta calórica diaria general. Las mujeres que habitualmente consumen menos de 2.400 calorías al día tal vez tengan problemas para consumir mayores cantidades de hidratos de carbono. Por lo tanto, las atletas quizá tengan que incrementar su ingesta total de energía y superar las 2.400 calorías, además de consumir una dieta rica en hidratos de carbono con el fin de elevar las reservas de glucógeno (123, 133).

Aunque la mayoría de los estudios sobre la carga de hidratos de carbono se hayan centrado en atletas de resistencia aeróbica, algunas investigaciones también se han propuesto examinar la carga de hidratos de carbono en atletas que practican deportes de alta intensidad. En un estudio aleatorio de grupos cruzados, siete futbolistas profesionales que consumieron una media del 46% de las calorías procedente de hidratos de carbono ingirieron una dieta con un 39-65% de hidratos de carbono dos días antes de someterse a una prueba. La prueba consistió en acumular 6.856 metros de trabajo de campo (completado al 65%, 57% y el 81% del $\dot{V}O_2$ máx), seguido por un rodaje en la cinta sin fin hasta el agotamiento en un intento por reproducir un partido de fútbol. Después de seguir la dieta rica en hidratos de carbono, los jugadores

corrieron 17,1 km en total, lo cual supuso 0,9 km más (una diferencia significativa) que la distancia recorrida con una dieta baja en hidratos de carbono. Sin embargo, tres de los atletas corrieron menos de 420 m más, lo cual manifiesta la variabilidad de las respuestas de los atletas a un régimen rico en hidratos de carbono (11). Los resultados de este estudio pueden ser aplicables o no a los futbolistas, dado que la distancia media recorrida en un partido de fútbol es considerablemente más corta (10,3 km con un margen de 9,7 a 11,3 km, según registró un estudio), y se recorre de manera intermitente y con distintos niveles de intensidad (68).

En un estudio que examinó el efecto de la carga de hidratos de carbono sobre el rendimiento durante un ejercicio resistido, a ocho hombres jóvenes y sanos se les asignó aleatoriamente una dieta rica en hidratos de carbono (6,5 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal) o una dieta moderada de hidratos de carbono (4,4 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal) durante cuatro días. Pasado este período, participaron en una prueba de ejercicio resistido que comprendía cuatro series de 12 repeticiones de sentadillas con saltos de máximo esfuerzo con una carga del 30% de 1 repetición máxima (1RM) y un período de descanso de 2 minutos entre series (44). No hubo diferencias significativas en la potencia de los sujetos que siguieron una u otra dieta. Por tanto, en este estudio la ingesta de una dieta rica en hidratos de carbono no mejoró la potencia durante una prueba de esfuerzo consistente en cuatro series de ejercicio resistido. Sin embargo, no está claro si el régimen de carga con hidratos de carbono podría haber afectado a la potencia si se hubiesen completado más series o si la carga de hidratos de carbono se hubiese parecido más a la de un atleta de fondo, aportando 8-10 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal (44).

El grado de los beneficios derivados de la carga de hidratos de carbono varía entre individuos, incluso entre atletas de resistencia aeróbica, por lo que cada uno debería determinar el valor de este régimen sopesando al mismo tiempo cualquier efecto secundario negativo, como un aumento temporal de peso en los entrenamientos antes de la competición. Los atletas que recurren a la carga de hidratos de carbono para potenciar al máximo las reservas de glucógeno también deberían saber el modo en que les afectan los distintos tipos de hidratos de carbono. Por ejemplo, los oligosacáridos, presentes en las alubias secas y en los guisantes, en las cebollas y alimentos con inulina añadida u otros oligosacáridos (como algunas barritas y batidos

nutricionales), fermentan rápidamente por acción de las bacterias presentes en el intestino, lo cual tal vez derive en una producción excesiva de gases y meteorismo. La fibra dietética se encuentra en las verduras, la fruta y los cereales integrales, en las alubias secas y los guisantes, en los frutos secos y las pipas (130). La tabla 10.2 proporciona un plan de muestra de comidas diarias para un atleta de 68 kg que sigue las recomendaciones sobre hidratos de carbono —basadas en los estudios de investigación— para atletas de resistencia aeróbica.

La carga de hidratos de carbono es una estrategia eficaz para potenciar al máximo las reservas de glucógeno. Sin embargo, los atletas deben consumir de 8 a 10 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal al día durante el período de carga para apreciar alguna ventaja de la carga de hidratos de carbono.

Nutrición durante la competición

La nutrición es un factor importante durante las pruebas de resistencia aeróbica que duren más de 45 minutos, en deportes de actividad intermitente o cuando un atleta compita en múltiples pruebas en un mismo día. Los líquidos e hidratos de carbono afectan al rendimiento, mientras que la provisión de aminoácidos tal vez minimice los daños musculares.

TABLA 10.2 Regímenes de carga de hidratos de carbono y muestra de planes diarios de comidas para atletas de resistencia aeróbica*

Cantidad de hidratos de carbono	Muestra de plan de comidas para un atleta de 68 kg	Listado de composición nutricional
	Desayuno 3 huevos 4 tostadas multicereales 1 taza de macedonia de frutas 1 yogur de 170 g con trozos de fruta **Aperitivo** 40 minipretzels **Comida** Pollo salteado con 2 tazas de arroz integral 170 g de pechuga de pollo	91 g de grasa

8-10 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal el día 3 previo a una competición (25)	1 taza de verduras salteadas cocinadas con 2 cdas de aceite de sésamo **Aperitivo a media tarde** 1 bagel con 2 cdas de mermelada 100% fruta **Tras el rodaje** 25 cl de zumo natural 2 tazas de cereales integrales 25 cl de leche desnatada **Cena** 3 tazas de pasta 1 taza de salsa para la pasta Ensalada de verduras coloridas y 57 g de queso 1 cucharada de aliño para ensalada	576 g de hidratos de carbono 141 g de proteínas 8,5 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal
10-12 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal los dos días previos a una competición (19)	**Desayuno** 3 huevos 4 tostadas de 15 cereales 1 taza de macedonia de frutas 1 yogur de 170 g con trozos de fruta **Aperitivo** 40 minipretzels 1 vaso de zumo 100% **Comida** Pollo salteado con 2 tazas de arroz integral 113 g de pechuga de pollo 1 taza de verduras salteadas cocinadas con 2 cdas de aceite de sésamo **Aperitivo a media tarde** 1 bagel con 2 cdas de mermelada 100% fruta **Tras el rodaje** 25 cl de zumo 100% 2 tazas de cereales	91 g de grasa 689 g de hidratos de carbono 128 g de protemas 10,1 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal

	integrales 1/3 taza de pasas de Corinto 25 cl de leche desnatada **Cena** 3 tazas de pasta 1 taza de salsa para la pasta Ensalada de verduras coloridas y 57 g de queso 1 cucharada de aliño para ensalada	

*Estas recomendaciones son para atletas de resistencia aeróbica y es posible adaptarlas a otros tipos de atletas.

Una correcta hidratación durante la competición es esencial para el rendimiento además de ayudar a prevenir la hipertermia, la deshidratación y las termopatías. Los atletas se deben hidratar varias horas antes del ejercicio para que se produzca la absorción de los líquidos y la producción de orina antes de competir. Además, hay que consumir suficiente líquido durante el ejercicio para prevenir pérdidas de peso en agua que superen el 2% del peso corporal (112). Las bebidas isotónicas óptimas contienen 20-30 mEq de sodio (460-690 mg con el anión cloruro) por litro, de 2 a 5 mEq de potasio (78-195 mg) por litro e hidratos de carbono en una concentración del 5% al 10% (53). Las bebidas isotónicas con una mayor concentración de hidratos de carbono —las que contienen más del 8%— difieren el vaciado gástrico (la rapidez con la que la bebida abandona el estómago), lo cual podría causar molestias estomacales (82). Por tanto, tal vez lo ideal sea una concentración de hidratos de carbono del 6% al 8% (112).

Las pautas para la ingesta de líquidos difieren en el caso de los niños. Según la American Academy of Pediatrics, los niños que pesan 40 kg deben beber 148 ml de agua fría o una bebida que sepa bien y contenga sal cada 20 minutos durante la práctica, mientras que los adolescentes que pesen 60 kg deben beber 256 ml cada 20 minutos aunque no tengan sed. También recomiendan una concentración de cloruro sódico de 15 a 20 mmol/L, lo cual aumenta un 90% la hidratación voluntaria en comparación con la ingesta de agua (4, 13, 138). A pesar de estas recomendaciones, tengamos presente que 266 ml de líquido ingeridos de una vez es un cantidad considerable para un adolescente y tal vez cause molestias estomacales. Por tanto, estas pautas se

tendrán que ajustar individualmente.

Deportes de resistencia aeróbica

El consumo de hidratos de carbono durante un ejercicio prolongado de resistencia aeróbica mejora el rendimiento además de reducir el estrés inducido por el ejercicio y la supresión de la función del sistema inmunitario (90). Y aunque las bebidas isotónicas aporten hidratos de carbono, no pueden seguir el ritmo de utilización de los hidratos de carbono durante una actividad intensa y prolongada (a menos que se ingiera una cantidad excesiva de líquido). De hecho, los atletas que entrenan con intensidad tal vez quemen de 600 a 1.200 calorías o más por hora (66). Varios estudios han demostrado que una ingesta de hidratos de carbono entre 28 y 144 g por hora (con cantidades superiores en una actividad ciclista) durante una actividad de resistencia aeróbica disminuye la dependencia de las reservas limitadas de glucógeno, prolonga el tiempo que transcurre hasta el agotamiento y mejora el rendimiento al aportar una fuente continua de hidratos de carbono que se pueden usar como energía (26, 62, 85,128).

A pesar de una ingesta mayor por hora, tal y como se apuntó antes, las tasas de oxidación de hidratos de carbono exógenos (o externos, es decir, que se ingieren) no superan 1-1,1 g por minuto, probablemente debido a la tasa de absorción de la glucosa y posiblemente también a la tasa de liberación en el torrente circulatorio limitada a 1 g por minuto de glucosa (61). Sin embargo, cada hidrato de carbono tiene una tasa distinta de oxidación. La glucosa, sucrosa, maltosa, maltodextrinas y amilopectina se oxidan con rapidez; las tasas de oxidación de la fructosa, galactosa y amilosa son un 25-50% más lentas (61). Además, cada tipo de hidrato de carbono tiene un sistema de transporte diferente. Si un atleta consume un tipo de hidrato de carbono, la fructosa por ejemplo, la digestión de los hidratos de carbono será limitada cuando se saturen los transportadores de la fructosa a nivel intestinal. Por tanto, el consumo conjunto de múltiples tipos de hidrato de carbono, como sucrosa, fructosa y glucosa o maltodextrina, aumenta la tasa de absorción de los mismos y la oxidación de los hidratos de carbono exógenos en comparación con consumir una cantidad **isocalórica** de un solo azúcar (58). Además de mejorar la tasa de utilización por el cuerpo de los hidratos de carbono, el consumo de múltiples tipos de ellos durante el ejercicio mejoró el rendimiento en una contrarreloj ciclista después de 120 minutos de actividad (el diseño del estudio simuló las últimas fases de una carrera de resistencia

aeróbica en las que los atletas deben generar un esfuerzo máximo) cuando a los sujetos se les dio glucosa combinada con fructosa en comparación con solo glucosa a un ritmo de 1,8 g por minuto (108 g de hidratos de carbono por hora) (28). Además, los atletas a los que se dio 36 g de glucosa y fructosa cada 15 minutos tuvieron una mejor marca ciclista en 100 km que los ciclistas a los que solo se dio glucosa cada 15 minutos (128).

El hecho sencillo de saborear alimentos con hidratos de carbono en la boca (sin llegar a ingerirlos) parece mejorar un 2-3% el rendimiento en pruebas de aproximadamente 1 hora al influir en el sistema nervioso central (60).

Fructosa y síntomas gastrointestinales

A la fructosa, un azúcar que se encuentra de forma natural en la fruta y que también se añade a diversos alimentos y bebidas, como a muchos productos de nutrición deportiva, se le culpa de los síntomas de trastornos estomacales durante el ejercicio. Aunque algunas personas no absorben por completo la fructosa y, por tanto, tal vez experimenten sensación de plenitud, gases, molestias abdominales y alteraciones de la función intestinal después de consumir este azúcar (116), los estudios no han abordado los síntomas gastrointestinales relacionados con la ingestión exclusiva de fructosa en los atletas. Por tanto, estos necesitan someter a prueba, en la práctica, si el cambio de las bebidas isotónicas u otros productos que consuman durante el entrenamiento (y también los que no tienen fructosa) ayuda a aliviar cualquier síntoma gastrointestinal que puedan tener (119). Es más probable que los atletas con síndrome del intestino irritable tengan un problema para absorber la fructosa y, por tanto, experimenten efectos secundarios (116).

Además de aportar hidratos de carbono durante actividades de resistencia aeróbica, la adición de proteínas a un gel de hidratos de carbono derivó en que se prolongara el tiempo hasta el agotamiento durante una sesión de ciclismo y atenuó la elevación del nivel de creatincinasa (un indicador de que se han producido daños musculares) durante la sesión, debido a las mismas proteínas o a las calorías adicionales aportadas por las proteínas (111). Un metaanálisis y revisión de los estudios de investigación que exploraron cómo la adición de proteínas a los hidratos de carbono influía en el rendimiento de resistencia aeróbica obtuvo hallazgos diversos (111). Solo los estudios sobre el tiempo transcurrido hasta el agotamiento demostraron que la adición de proteínas suponía una diferencia significativa. Sin embargo, estos estudios no controlaron la ingesta de calorías durante el ensayo; por tanto, no está claro si la ventaja se debió a las proteínas o a las calorías añadidas por las proteínas. Los tres estudios sobre contrarrelojes no mostraron diferencias entre el consumo exclusivo de hidratos de carbono y una dieta de hidratos de carbono

más proteínas (120).

Deportes intermitentes de alta intensidad

Muchos deportes de equipo, como el fútbol, el tenis, el baloncesto y el fútbol americano, consisten en una actividad de alta intensidad con tandas repetidas de corta duración, además de precisar el dominio de gran variedad de destrezas. El cansancio durante el juego se puede deber a varios factores, como la disminución o depleción de las reservas de glucógeno y la deshidratación. La provisión de fluidos e hidratos de carbono es esencial para el rendimiento durante deportes prolongados de actividad intermitente. Por ejemplo, un partido de tenis largo quizá dure 4 horas, considerablemente más que muchas pruebas de resistencia aeróbica. Como los tenistas no pueden beber continuamente durante los partidos y llegan a perder más de 2,5 L de líquido por hora, se ha hecho la recomendación de beber de 200 a 400 ml por cambio de lado de pista (65). Además de mantener el estado hídrico, los estudios de investigación demuestran que la suplementación con hidratos de carbono no afecta supuestamente a las tasas de esfuerzo percibido (38), pero sí mejora la calidad de los golpes (lo cual incluye mediciones de la velocidad, precisión y tasa de errores) durante juegos prolongados (132).

En los futbolistas, ingerir 5 ml por kilogramo de peso corporal de una bebida al 6,9% de polímeros de glucosa, 15 minutos antes del partido y durante el descanso, no supuso ninguna diferencia en varias mediciones del rendimiento, como la habilidad para disparar, driblar, rematar de cabeza o entrar en falta (142). Sin embargo, otro estudio sobre el fútbol, esta vez realizado con futbolistas profesionales, registró que el grupo que consumía una bebida con electrolitos e hidratos de carbono mejoró algunos parámetros del rendimiento durante el juego. En este estudio, 22 futbolistas profesionales siguieron la misma dieta durante siete días (el 55% de las calorías derivadas de hidratos de carbono, el 25% de grasas y el 20% de proteínas), pasaron tres días sin hacer ejercicio antes del partido y tomaron un desayuno estándar 4 horas antes del partido. Se dividieron en dos grupos, uno de los cuales (*a*) recibió una bebida con electrolitos e hidratos de carbono (7% de hidratos de carbono, 24 mmol de sodio/L, 12 mmol de cloruro/L, 3 mmol de potasio/L) y el otro (*b*) recibió un placebo. Cada grupo bebió 5 ml por kilogramo de peso corporal antes del partido y 2 ml por kilogramo de peso corporal cada 15 minutos durante los 90 minutos que duró el partido. El primer grupo terminó la prueba específica de regates más rápido que los que tomaron un placebo.

Además, las tasas de precisión fueron más altas en el primer grupo, aunque no hubo diferencias en las pruebas de coordinación o de potencia entre ambos grupos. En este estudio concreto, la suplementación con una bebida con electrolitos e hidratos de carbono mejoró el rendimiento en destrezas específicas del fútbol en comparación con el grupo del placebo (96).

En otro estudio que halló que el consumo de hidratos de carbono durante el juego era beneficioso, se empleó un ensayo aleatorio a doble ciego. Diecisiete futbolistas recibieron 8 ml de una bebida con un 6,4% de electrolitos e hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal antes del ejercicio, además de 3 ml por kilogramo de peso corporal cada 15 minutos (hasta un total de 52 g de hidratos de carbono por hora) durante un *test de course-navette* (test de resistencia cardiorrespiratoria) con carreras intermitentes durante 90 minutos (3). El consumo de una bebida con electrolitos e hidratos de carbono atenuó el descenso significativo en la reducción de la destreza entre antes del ejercicio y los últimos 15 a 30 minutos del mismo en comparación con el grupo que tomó un placebo. En el ensayo en que se tomaron hidratos de carbono, hubo una reducción del 3% en la ejecución de destrezas durante este período de tiempo, mientras que en el ensayo en que se tomó un placebo el declive fue del 15%. Sin embargo este ensayo se practicó después de un ejercicio que terminó con la depleción de los hidratos de carbono, seguido por una comida baja en hidratos de carbono y luego ayuno nocturno; por tanto, el efecto de los hidratos de carbono sobre el rendimiento tal vez dependiese no solo de la cantidad consumida durante actividades intermitentes, sino también de si los atletas que competían habían comido, estaban en ayunas o en un estado de depleción del glucógeno (3).

Recomendaciones sobre líquido y alimentos durante la competición

Debido a las grandes variaciones en las tasas de sudoración y en las concentraciones de electrolitos, los atletas deben medir los cambios de peso durante el entrenamiento y la competición con condiciones meteorológicas específicas, y desarrollar estrategias de hidratación individualizadas basadas en esta información (112). Durante actividades prolongadas con calor ambiental, el Instituto de Medicina recomienda ingerir bebidas isotónicas que contengan de 20 a 30 mEq de sodio (460-690 mg con el anión cloruro) por litro, de 2 a 5 mEq de potasio (78-195 mg) por litro e hidratos de carbono en una concentración del 5% al 10% (53).

- Los niños que pesen 40 kg deben beber 148 ml de agua fría o de un refresco con sal añadida cada 20 minutos durante la práctica.
- Los adolescentes que pesen 60 kg deben beber 256 ml cada 20 minutos incluso si no

tienen sed (4 ,13).

- Los atletas de resistencia aeróbica deben consumir juntos de 30 g a 90 g de múltiples tipos de hidratos de carbono, como sucrosa, fructosa y glucosa, o maltodextrina, cada hora durante actividades prolongadas de resistencia aeróbica (58).
- Los tenistas deben tratar de consumir de 200 a 400 ml de líquido en los cambios de lado y que parte de este líquido sea una bebida isotónica de electrolitos e hidratos de carbono (65).

En otro estudio en el que se procedió a un realizar una actividad de alta intensidad variable (caminar, trotar, correr, esprintar y saltar) durante cuatro cuartos intermitentes de 15 minutos, separados por un descanso de 20 minutos al acabar la primera parte, y seguidos por un *test de course-navette* hasta sentir cansancio (diseñado para imitar un partido competitivo de fútbol o baloncesto), los sujetos que consumieron una bebida con electrolitos e hidratos de carbono antes del ejercicio (5 ml de una solución al 6% por kilogramo de peso corporal) y en el descanso al término de la primera parte (5 ml de una solución al 18% por kilogramo de peso corporal) corrieron un 37% más en la carrera hasta la aparición de cansancio que los que tomaron un placebo, y también fueron significativamente más rápidos en un esprín de 20 metros durante el último cuarto. Además, el grupo que tomó un suplemento de hidratos de carbono rindió mejor en la prueba de destrezas motoras con todo el cuerpo durante las fases finales del ejercicio y registró una disminución de la percepción del cansancio, lo cual revela que el consumo de una bebida con electrolitos e hidratos de carbono durante deportes de actividad intermitente resulta ventajoso (136).

Deportes de fuerza y potencia

Los hidratos de carbono también son una fuente esencial de energía usada durante el entrenamiento resistido y, por tanto, en deportes de fuerza y potencia. Los estudios de investigación con una serie de distintos protocolos de halterofilia hallaron que los participantes utilizaban una cantidad significativa de glucógeno muscular (74). En la mayoría de estos estudios, los atletas practicaron una serie de ejercicios. Por tanto, aquellos que practican o compiten en deportes de fuerza y potencia, o en posiciones en las que dependen de la fuerza y la potencia musculares (lanzadores de martillo, linieros ofensivos en fútbol americano), podrían agotar sus reservas de glucógeno muscular. Además, empezar con unas reservas de hidratos de carbono de por sí bajas también aumentará la destrucción de tejido muscular

(72). Los atletas de fuerza y potencia pueden mantener sus reservas de glucógeno, lo cual tal vez reduzca la fatiga muscular de las fibras de contracción lenta y posiblemente derive en un mejor rendimiento mediante la suplementación con hidratos de carbono antes y durante la competición (39, 54).

Nutrición tras la competición

La comida después de la competición ayuda a los atletas a rehidratarse, a reabastecer las reservas de glucógeno y a reparar el tejido muscular. Por tanto, lo que consumen durante el período posterior e inmediato al entrenamiento o la competición prepara el cuerpo para la siguiente tanda de actividad. Las necesidades de cada atleta tras la competición varían según el deporte, la intensidad durante el juego, la duración del esfuerzo, el peso y edad, y probablemente el sexo de la persona. Sin embargo, se han hecho muchos más estudios de investigación con hombres que con mujeres, por lo que las recomendaciones no se dividen por sexos debido a la falta de datos suficientes sobre las mujeres.

Después de la competición, los atletas deben remplazar las pérdidas de líquido y electrolitos. Si el tiempo lo permite, las comidas y aperitivos habituales (siempre y cuando contengan algo de sodio) y el agua restablecerán dichas pérdidas. Se puede añadir más sal a los alimentos cuando las pérdidas de sodio por el sudor sean sustanciales (51, 112). Los atletas pueden optar por una bebida isotónica con electrolitos e hidratos de carbono o por agua, junto con alimentos que contengan cloruro sódico (también existe la posibilidad de echar sal a los alimentos) puesto que el sodio es esencial para que el cuerpo retenga líquidos (79, 112, 118). Las estrategias de rehidratación se individualizarán cuanto sea posible. Los atletas que compiten en deportes con categorías por el peso, como la lucha libre y las artes marciales mixtas, tal vez se deshidraten deliberadamente para ajustarse a un peso y luego intenten rehidratarse antes de la competición, aunque esos cortos períodos de tiempo entre el pesaje y la competición signifiquen empezar la competición en un estado de deshidratación, lo cual afecta al rendimiento y supone un riesgo para la salud.

Competiciones de resistencia aeróbica

Después de competiciones prolongadas de resistencia aeróbica, es importante

reabastecer las reservas de hidratos de carbono antes de la siguiente sesión de entrenamiento o competición (la que vaya primero) y consumir suficientes proteínas para generar y reparar el tejido muscular. La síntesis de glucógeno ocurre en dos fases diferenciadas. La primera fase es independiente de la insulina y dura de 30 a 60 minutos, y la síntesis de glucógeno ocurre con rapidez. La segunda fase dura varias horas, y la síntesis de glucógeno se desarrolla a un ritmo mucho más lento. La síntesis de glucógeno se produce a un ritmo rápido cuando se consumen grandes cantidades de hidratos de carbono —de 1 a 1,85 g por kilogramo de peso corporal y hora—, inmediatamente después del ejercicio o competición, y a intervalos regulares cada 15 a 60 minutos hasta que transcurran 5 horas (57). Aunque los atletas sean capaces de remplazar por completo sus reservas de glucógeno de inmediato o en el curso de un período de 24 horas tras una sesión larga de entrenamiento, este no es necesariamente el caso después de una competición. Las pruebas agotadoras de resistencia aeróbica, que causan daños mensurables en el tejido muscular, como el maratón, derivan en una síntesis diferida de glucógeno incluso si el atleta consumió una dieta rica en hidratos de carbono, posiblemente debido a un trastorno metabólico o a los daños mecánicos sufridos por las células musculares (9, 117, 134).

Aunque a los atletas se les suele decir que necesitan ingerir hidratos de carbono inmediatamente después de que acaben de competir, los estudios de investigación demuestran que esto no siempre es necesario; es posible esperar dos horas después de acabar un evento en que se hayan agotado las reservas de glucógeno antes de comer hidratos de carbono. En un estudio que examinó el ritmo de resíntesis de glucógeno, se dieron cinco comidas hiperglucémicas a los atletas en el curso de un período de 24 horas después de una sesión de ciclismo de 2 horas en que se agotó el glucógeno. Un grupo recibió las tres primeras comidas a intervalos regulares de 2 horas durante el período de 4 horas posterior al ejercicio, mientras que el segundo grupo recibió las tres primeras comidas a intervalos regulares de 2 horas comenzando 2 horas después de acabar y durante las 6 horas siguientes al ejercicio. El ritmo de resíntesis del glucógeno fue el mismo entre los grupos pasadas 8 horas y después de 24 horas (98). Por tanto, los atletas que tienen más de 24 horas para recuperarse pueden esperar a comer después del ejercicio y remplazar el glucógeno durante el período de 24 horas posterior al ejercicio siempre y cuando consuman una cantidad adecuada de hidratos de carbono. No obstante, aquellos que entrenan dos o tres veces al día o tienen menos de 24

horas para recuperarse tal vez quieran plantearse comer o beber una comida rica en hidratos de carbono inmediatamente después de acabar el ejercicio, así como a intervalos regulares en adelante, para reabastecer rápidamente las reservas de glucógeno.

Como el ejercicio prolongado de resistencia aeróbica destruye tejido muscular, hay que incluir proteínas en la comida tras el entrenamiento de los atletas de resistencia aeróbica para iniciar la creación y reparación del músculo, lo cual quizá atenúe las agujetas después del evento y el entrenamiento (80). El consumo de proteínas después del entrenamiento tiene otro beneficio: aumenta la tasa de almacenamiento de glucógeno si la ingesta de hidratos de carbono es insuficiente (es decir, <1,2 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal y hora) (57). En un ensayo con distribución aleatoria, 18 especialistas en orientación de elite participaron en 13 sesiones de ejercicio durante una semana. La mitad de estos individuos (el grupo PRO-CON) ingirió una bebida de proteínas antes (0,3 g por kilogramo de peso corporal) y una bebida con hidratos de carbono y proteínas después del entrenamiento (0,3 g de proteínas por kilogramo de peso corporal más 1 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal). La otra mitad de los participantes consumieron una bebida solo de hidratos de carbono antes y después del ejercicio (CHO). La dieta se mantuvo constante durante el estudio (15/63, 22% de proteínas/hidratos de carbono/grasas) excepto por la adición de los suplementos. La dieta básica más los suplementos aportaron 3 g de proteínas por kilogramo de peso corporal/día y de 8,3 a 9,3 g hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal/día en el grupo PRO-CON; el grupo CHO consumió 1,8 g de proteínas por kilogramo de peso corporal/día y de 8,8 a 10,8 g hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal/día. Se realizó una prueba de correr 4 km al comienzo y al final del estudio, y 2 horas después los participantes consumieron un desayuno estándar. El grupo PRO-CON mejoró significativamente el rendimiento y redujo los indicadores de destrucción de tejido muscular, mientras que el grupo CHO no mejoró su rendimiento. Sin embargo, no está claro en este estudio si fue el momento elegido para tomar las proteínas lo que marcó la diferencia o lo fue el aumento de la ingesta total diaria de proteínas en el grupo PRO-CON en comparación con el grupo CHO (40).

Otros estudios de investigación sugieren que es importante ingerir proteínas después del ejercicio de fondo. Por ejemplo, se usó un ensayo ciego, aleatorizado y triple cruzado para evaluar el modo en que la ingesta de

distintas dosis de una mezcla de leucina y proteínas influían en la tasa sintética fraccional (FSR) de proteínas miofibrilares (síntesis de proteínas musculares) en doce fondistas entrenados después de 100 minutos de pedaleo de alta intensidad (practicado 3 horas después de un desayuno normal; la dieta del día previo a la prueba fue estándar y basada en las necesidades calóricas, y aportó el mismo porcentaje de hidratos de carbono, proteínas y grasas a todos los sujetos de estudio). Los ciclistas consumieron 70/15/180/30 g de proteínas/leucina/hidratos de carbono/grasas, o 23/5/180/30 g, o 0/0/274/30 g (controles) en cuatro raciones durante los primeros 90 minutos de un período de recuperación de 240 minutos (4 horas). El grupo al que se le administró el suplemento con menos proteínas y menos leucina (23/5/180/30 g) presentó una elevación de la FSR del 33 ±12% en comparación con los controles, mientras que el grupo que ingirió proteínas y leucina adicionales (70/15/180/30 g) experimentó una elevación de la FSR del 51 ±12% en comparación con los controles. Aunque no se registraron diferencias significativas entre los dos grupos que tomaron proteínas y leucina, ambos obtuvieron mejores resultados que el grupo que tomó un placebo, lo cual revela que la ingesta de proteínas es importante después de una sesión larga y dura de ejercicio (110). Debido a las diferentes sesiones de ejercicio, a que el ejercicio se completase en ayunas o no y a las distintas dosis de proteínas (10-96 g) empleadas en otros estudios, no está claro cuál es la dosis mínima y precisa de proteínas para potenciar al máximo la FSR después de un ejercicio de fondo (18, 49). Tampoco está claro si potenciar al máximo la FSR durante el período de tiempo inmediatamente después de un ejercicio de fondo se traduce en una mejora del rendimiento en el tiempo. Por último, queda por dilucidar el período de tiempo ideal después de un entrenamiento de fondo durante el cual se deberían consumir proteínas, y tal vez dependa de si se completó el entrenamiento en ayunas o no, así como de la ingesta diaria total de proteínas. Sin embargo, un estudió documentó que diferir, aunque solo fueran 3 horas, la ingesta de proteínas tras un ejercicio de fondo mitigaba sus efectos anabólicos (73).

Deportes intermitentes de alta intensidad

Como los atletas que practican deportes intermitentes de alta intensidad —baloncesto, hockey o fútbol— a veces juegan más de un partido diario, en ocasiones con solo unas horas entre partidos de un torneo, la recuperación inmediata tras un partido es imperativa para mantener el rendimiento en el

siguiente duelo. Al competir en deportes que suponen una actividad prolongada e intermitente de alta intensidad, como el fútbol, el fútbol americano, el hockey sobre hielo o sobre hierba, el rugby y el tenis, los atletas tal vez reduzcan en grado significativo sus reservas de glucógeno, lo cual deriva en fatiga muscular (10, 55). El reabastecimiento total del glucógeno antes de una nueva tanda de ejercicio o de una competición prolongará el tiempo transcurrido hasta la aparición del cansancio y mejorará el rendimiento. En un estudio concebido para imitar un partido de fútbol, Nicholas (89) hizo que seis varones completaran la misma prueba de esfuerzo separada por 22 horas en dos días consecutivos: 75 minutos de un *test de course-navette* intermitente, prolongado y de alta intensidad, tras el cual completaron tantas carreras de ida y vuelta de 20 metros como les fue posible (cada carrera alternaba entre trote y esprín). A los sujetos se les asignaron una de dos posibles dietas para el período de recuperación de 22 horas: una dieta de recuperación que contenían 10 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal, y una dieta isocalórica con más proteínas y grasas que la dieta diaria normal. La capacidad de correr intermitentemente mejoró con la dieta rica en hidratos de carbono en comparación con la dieta rica en hidratos de carbono pero con más proteínas y grasas. Por otro lado, Balsom (10) halló que los sujetos del estudio completaron un cantidad significativamente mayor de trabajo tanto en sesiones de ejercicio intermitente de alta intensidad a corto plazo (<10 minutos) como prolongado (>30 minutos) después de consumir una dieta rica en hidratos de carbono comparada con otra que no lo era, durante el período de 48 horas previas a las sesiones de ejercicio.

Los deportes intermitentes de alta intensidad pueden producir cierto grado de daños musculares dependiendo de muchos factores, como la duración y la intensidad del juego y el tamaño corporal. Los estudios demuestran que consumir proteínas después del ejercicio ayuda a mitigar ciertos marcadores de daños en el tejido muscular (34). La cantidad ideal de proteínas que debe consumir un atleta inmediatamente después de jugar un partido, por ejemplo, de fútbol americano o fútbol, sigue sin estar clara en la actualidad. Y aunque la ingesta de hidratos de carbono tras el ejercicio influya en el rendimiento de la siguiente competición o sesión de entrenamiento, en especial cuando las sesiones están próximas en el tiempo, la adición de proteínas no influirá en el rendimiento de la siguiente tanda de ejercicio durante el período de recuperación de cuatro horas que sigue a la práctica o sesión de ejercicio iniciales (80).

Deportes de fuerza y potencia

Los atletas que practican deportes de fuerza y potencia dependen de la glucemia y del glucógeno como fuentes de energía durante la competición. Como un solo entrenamiento resistido provoca reducciones significativas del glucógeno (74) y la disminución del nivel de glucógeno altera la producción de fuerza, así como la fuerza muscular isométrica, al tiempo que acentúa la debilidad muscular, es imperativo que estos atletas restablezcan los niveles de glucógeno antes de la siguiente sesión de ejercicio (39, 54). Durante el período de recuperación tras competiciones de fuerza y potencia, los atletas se centrarán en ingerir hidratos de carbono con un índice glucémico alto justo después del ejercicio si deben competir o entrenar de nuevo durante las siguientes 24 horas tras la sesión de entrenamiento o la competición iniciales. La cantidad de hidratos de carbono que necesitan para reabastecer por completo las reservas de glucógeno depende de muchos factores, como la intensidad y el tiempo transcurrido compitiendo, el peso corporal y la masa muscular en general, la comida previa al ejercicio (y el estado de las reservas de glucógeno antes de la competición) y si han consumido o no hidratos de carbono durante la competición. En un estudio transversal, tras el ayuno nocturno, ocho hombres completaron seis series de extensiones con una sola pierna al 70% de 1RM, hasta que ya no fue posible alcanzar el 50% de la extensión completa de la rodilla, con los niveles de glucógeno agotados hasta el 71%. Remplazaron las reservas de glucógeno hasta el 91% de los niveles previos al ejercicio unas seis horas después del entrenamiento tras consumir 1,5 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal inmediatamente después de la sesión de entrenamiento resistido, y de nuevo una hora después. Sin embargo, cuando los sujetos del estudio solo consumieron agua inmediatamente después del entrenamiento y de nuevo una hora más tarde, apenas aumentaron el contenido de glucógeno de los músculos por encima de los niveles de depleción hasta el 75% (99).

El equilibrio neto de proteínas depende de la destrucción y síntesis de proteínas musculares. Y aunque los hidratos de carbono no influyen en la síntesis de proteínas musculares, mitigan el catabolismo agudo de proteínas producto del ejercicio resistido. Es probable que el aumento de la destrucción de proteínas dependa del estímulo de la resistencia, de la ingesta nutricional general de la persona y de la ingesta dietética antes y durante el entrenamiento o la competición. Un estudio con hombres jóvenes sin entrenar halló que la destrucción aguda de proteínas aumentaba un 51 ±17% tras una

tanda de entrenamiento resistido (14). En otro estudio, se midieron la tasa sintética fraccional (FSR) de proteínas musculares y la tasa catabólica fraccionada después de una tanda de ejercicio concéntrico o excéntrico en cuatro mujeres y cuatro hombres no entrenados. La tasa de síntesis se elevó significativamente por encima de los niveles en reposo: un 112% en el período de 3 horas tras el ejercicio, un 65% durante el período de 24 horas después del ejercicio y un 34% durante el período de 48 horas después del ejercicio. El catabolismo muscular también aumentó un 31% y un 18% en los períodos de 3 y 24 horas después del ejercicio, pero volvió a los valores normales antes de acabar las 48 horas después del ejercicio (104). Cantidades relativamente pequeñas de hidratos de carbono, en algún caso entre 30 y 100 g, reducen significativamente el catabolismo de las proteínas musculares (16, 35). Y aunque el catabolismo de las proteínas musculares cumpla un papel en el equilibrio general de las proteínas, su síntesis es mucho más importante en ese equilibrio (35).

La suplementación con proteínas después de una tanda de ejercicio resistido que causó daños musculares aumenta la síntesis inmediata de proteínas musculares. Se han utilizado diversas cantidades de proteínas después de un entrenamiento resistido para estimular la síntesis de proteínas musculares, aunque la estimulación máxima ocurre con 20 a 25 g (que aportan de 8,5 a 10 g de aminoácidos esenciales) de proteínas de liberación rápida de alta calidad y con una cantidad elevada de leucina (que causa una rápida elevación de los aminoácidos en el torrente circulatorio) en personas jóvenes, mientras que tal vez se necesiten 40 g o más para los adultos mayores (103). El arroz contiene proteínas de liberación intermedia y poca leucina (aunque la elevación del nivel de leucina en el torrente circulatorio se manifiesta rápidamente tras el consumo de proteína de arroz); dosis mayores de arroz estimularon eficazmente la síntesis de proteínas musculares hasta el mismo grado que proteínas de mayor calidad cuando se equiparan por el contenido de leucina (63). Por tanto, el contenido de leucina de las proteínas, y posiblemente la velocidad de liberación, parece ser el factor determinante de los cambios intensos en la estimulación máxima de la síntesis de proteínas musculares. Una dosis de proteínas que contenga de 2 a 3 g de leucina, o 0,05 g de leucina por kilogramo de peso corporal, estimulará al máximo la síntesis de proteínas musculares en los adultos jóvenes (91, 97, 127).

Además del incremento inmediato de la síntesis de proteínas musculares, suplementarse continuamente con proteínas después del entrenamiento

resistido produjo incrementos pequeños a moderados en la hipertrofia muscular en el tiempo, en comparación con las condiciones en las que los sujetos no recibieron suplementos de proteínas (22, 115). Hasta la fecha solo un estudio ha examinado directamente la relación entre las mediciones agudas de la síntesis de proteínas musculares y la hipertrofia debido al entrenamiento resistido. En este estudio, 23 hombres jóvenes que se mantenían activos a nivel recreativo pero no habían participado en un programa deportivo de entrenamiento resistido en al menos un año se sometieron a un test inicial de la fuerza y se evaluaron las tasas de síntesis de proteínas musculares tras el ejercicio y en reposo. A continuación, participaron en un programa de entrenamiento resistido lineal de 16 semanas que consistió en dos días de ejercicios para el hemicuerpo inferior (*press* de pierna, extensiones de pierna, flexiones de pierna y *press* de pantorrilla) y dos días de ejercicios para el hemicuerpo superior (*press* de pecho, *press* de hombro, remo sentado, dominadas, flexiones de bíceps, extensión de tríceps) a primera hora de la mañana después de una noche en ayunas. Después del ejercicio diario y durante el desayuno en los días que no entrenaron consumieron una bebida nutricional que contenía 30 g de proteínas de leche de vaca, 25,9 g de hidratos de carbono y 3,4 g de grasa. Los autores del estudio no hallaron relación entre la subida aguda (6 horas después del entrenamiento) en la síntesis de proteínas musculares debido al entrenamiento y la bebida nutricional y la hipertrofia muscular. Sin embargo, los autores también repararon en que los cambios en la síntesis de proteínas musculares con el entrenamiento no eran uniformes entre los sujetos del estudio; por tanto, aunque los cambios inmediatos en la síntesis de proteínas musculares sean importantes para la hipertrofia muscular, no son el único factor determinante que predice el potencial de una persona para aumentar su crecimiento muscular (81). Treinta gramos de proteína de leche de vaca, como los utilizados en este estudio, aportan unos 24 g de caseína, 6 g de proteína de suero y un total de 2,8 g de leucina (129).

TABLA 10.3 Necesidades proteínicas para deportes específicos

Deporte	Necesidad diaria de proteínas (g/kg de peso corporal)	Muestra de ingesta diaria (g de proteínas) para un hombre o mujer de 90 kg	Necesidades proteínicas después del ejercicio	Ejemplos proteínicos después del ejercicio
Actividad de baja a moderada de fondo (p. ej., *footing*, triatlón)	1-1,1	1 taza de yogur griego (22 g) Sándwich de pollo a la plancha (28 g) 1 barrita rica en proteínas (20 g) Espaguetis con albóndigas (115 g de albóndigas) (20 g)	0,2-0,5 g/kg de peso corporal	1 barrita rica en proteínas (20 g) 1 taza de yogur griego rico en proteínas con 2 cdas de mantequilla de cacahuetes y mezclado 25 g de proteínas de suero
Fondista de elite o alguien que entrena con intensidad	>1,6	1 taza de yogur griego (22 g) Sándwich de pollo a la plancha Queso (56 g) con galletas saladas integrales (20 g) Espaguetis con albóndigas (170 g de albóndigas) (30 g) 240 ml de leche (8 g) ½ taza requesón (15 g)	0,2-0,5 g por kilogramo de peso corporal	60 cl de leche o leche de soja rica en proteínas (20 g)

Fútbol americano	1-2, aunque es posible que en el margen superior de estos valores para quienes jueguen a un nivel de alta intensidad	2 g/ kg de peso corporal: 5 claras de huevos grandes o huevos completos, cocinados con 38 g de queso Sándwich de pollo a la parrilla (28 g) 1 vaso de leche (o leche de soja rica en proteínas) (8 g) 2 cdas de mantequilla de cacahuetes mezclada en ½ taza de harina de avena (con leche) (unos 20 g) 50 g de salmón a la parrilla 350 ml de leche + 1 cucharada de proteínas de suero (37 g)	Todavía no ha sido aclarado con estudios de investigación; por tanto, los jugadores tal vez quieran seguir las pautas para el entrenamiento resistido y consuman un mínimo de 20-25 g de una proteína de absorción rápida, de alta calidad y rica en leucina (2-3 g de leucina)	Batido de proteínas de suero + fruta Otros ejemplos (aunque no proteínas de absorción rápida): >1 taza de yogur griego rico en proteínas Sándwich de queso a la plancha con pavo o pollo
Gimnasia	Las restricciones dietéticas aumentan las necesidades proteínicas (si se restringen las calorías); no hay estudios sobre las necesidades proteínicas de los gimnastas		Todavía no ha sido aclarado con estudios de investigación	
Deportes de equipo	Posiblemente 1-2 g/kg de peso corporal, dependiendo del deporte y de la intensidad del ejercicio	2 g/kg de peso corporal; sigue la misma muestra diaria de comidas que la señalada antes para el fútbol americano	No ha sido aclarado con estudios de investigación	
Halterofilia	1,5-2	2 g por kilogramo de peso corporal; sigue la misma muestra diaria de comidas que la señalada antes para el fútbol americano	20 g de proteínas de huevo o 25 g de proteínas de suero antes o después del ejercicio o ambos; los estudios han utilizado 20-70 g de proteínas en proximidad temporal con el ejercicio resistido, aunque se recomienda una proteína que contenga 2-3 g de leucina por ración	Batido de proteínas de suero
Lucha libre	Desconocida, aunque la restricción dietética aumenta las necesidades de proteínas		No hay estudios sobre las necesidades específicas de proteínas para antes o después de la lucha libre	

Nutrición para diversos objetivos en el rendimiento

Nutrición para el rendimiento y la recuperación de

actividades de resistencia aeróbica

- Los atletas de resistencia aeróbica necesitan consumir de 8 a 10 g de hidratos de carbono y de 1 a 1,6 g de proteínas por kilogramo de peso corporal y día, sobre todo si el entrenamiento dura 90 minutos o más.
- Los atletas que comen al menos 4 horas antes de la competición incluirán entre 1 y 4 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal y de 0,15 a 0,25 g de proteínas por kilogramo de peso corporal (124). Si la comida previa a la competición se consume 2 horas antes del ejercicio, los atletas intentarán ingerir aproximadamente 1 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal (112).
- Los deportistas consumirán de 28 a 144 g de múltiples tipos de hidratos de carbono (como sucrosa, fructosa y glucosa o maltodextrina) por hora durante el ejercicio prolongado de resistencia aeróbica para prolongar el tiempo que transcurre hasta el agotamiento y con el fin de mejorar el rendimiento (26, 28, 62, 85, 128).
- Durante actividades prolongadas con calor ambiental, los atletas consumirán bebidas isotónicas que contengan de 20 a 30 mEq de sodio (460-690 mg con el anión cloruro) por litro, de 2 a 5 mEq de potasio (78-195 mg) por litro e hidratos de carbono en una concentración del 5% al 10% (53).
- Después del ejercicio, se consumirán aproximadamente 1,5 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal durante los 30 minutos siguientes al ejercicio. Algunos estudios, aunque no todos, demuestran que si a las proteínas se les añaden hidratos de carbono tras el entrenamiento se atenúa la destrucción de tejido muscular y la intensidad de las agujetas, y aumenta la síntesis de proteínas musculares. La cantidad ideal de proteínas y el período de tiempo tras el ejercicio en que se deben consumir no están claros si nos basamos en la literatura actual y tal vez dependan de si el ejercicio se practicó en ayunas o no, así como del total de calorías consumidas tras el entrenamiento (36, 49, 80). Sin embargo, como pauta general, también se deben consumir al menos 10 g de proteínas en un plazo de 3 horas tras el ejercicio de fondo (cuanto antes, mejor, aunque el período exacto todavía lo tengan que dilucidar nuevas investigaciones) (73).
- Las reservas de glucógeno se reabastecerán después del ejercicio y antes de la siguiente sesión de entrenamiento. Una dieta constante con una ingesta adecuada de hidratos de carbono restablecerá el glucógeno a lo largo de un período de 24 horas. Para que la síntesis de glucógeno sea más rápida, los atletas tomarán una comida rica en hidratos de carbono inmediatamente después del ejercicio y a intervalos regulares de ahí en adelante. Esto es sobre todo importante para los individuos que entrenan de nuevo en menos de 24 horas tras la sesión inicial de entrenamiento (57).

Nutrición para la fuerza

- Los atletas se plantearán la suplementación con hidratos de carbono antes y durante la competición para mantener la fuerza y minimizar la destrucción de tejido muscular (39, 54). En general, los atletas de fuerza/velocidad consumirán de 5 a 6 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso corporal y día. Con solo 30 g de hidratos de carbono después del ejercicio, se puede reducir el catabolismo muscular. El período ideal para el consumo de hidratos de carbono tras un entrenamiento resistido todavía se tiene que determinar con claridad; sin embargo, consumir pronto hidratos de carbono (en vez de esperar) tal vez sea más beneficioso, sobre todo si el entrenamiento se desarrolló en ayunas (35).
- Como un nivel bajo de glucógeno altera la fuerza muscular, los atletas consumirán

hidratos de carbono de alto valor glucémico justo después de competiciones de halterofilia o de fuerza y potencia, si deben competir o entrenar de nuevo en un período de 24 horas tras la competición inicial. De lo contrario, ya consumirán suficientes hidratos de carbono a lo largo del día para restablecer los niveles de glucógeno antes de la siguiente sesión de entrenamiento o competición (39, 54, 99).

- En general, los atletas de fuerza/velocidad consumirán de 1,4 a 1,7 g de proteínas por kilogramo de peso corporal y día, incluso si su deporte o entrenamiento contiene un componente de resistencia aeróbica. Tras el entrenamiento resistido, los jóvenes consumirán al menos de 20 a 25 g (aportando de 8,5 a 10 g de aminoácidos esenciales) de proteínas de alta calidad ricas en leucina (2-3 g), mientras que los adultos mayores consumirán 40 g o más para estimular al máximo la síntesis de proteínas musculares en el breve período justo después del entrenamiento (103). Si el ejercicio se practicó en ayunas (a primera hora de la mañana o más de 3 horas después de la última comida rica en proteínas), las proteínas se deberían consumir durante los 30 minutos siguientes al final de la sesión; pero si el ejercicio se practicó habiendo comido (una comida o un suplemento ricos en proteínas previos al ejercicio), este período de oportunidad postejercicio tal vez sea considerablemente más largo (8).
- Se consumirán entre 30 y 100 g de hidratos de carbono hiperglucémicos después de un ejercicio en que haya sufrido el tejido muscular para reducir dicho catabolismo (16, 35).
- Los atletas adultos tomarán en las comidas al menos 20-30 g de proteínas ricas en leucina.

Nutrición para la hipertrofia

- Se consumirán entre 30 y 100 g de hidratos de carbono hiperglucémicos después de un ejercicio en que sufra el músculo, para así reducir el catabolismo de las proteínas musculares (16, 35).
- Después del entrenamiento resistido, los jóvenes consumirán al menos de 20 a 25 g (que aportarán de 8,5 a 10 g de aminoácidos esenciales) de proteínas de alta calidad y ricas en leucina (2-3 g), mientras que los adultos mayores deben consumir 40 g o más para estimular al máximo la síntesis de proteínas musculares en el breve período tras el entrenamiento (103).
- Los atletas adultos tomarán en las comidas al menos 20-30 g de proteínas ricas en leucina cada 3 a 4 horas.

Nutrición para la resistencia muscular

- Se debe mantener una hidratación adecuada para impedir que las pérdidas de agua superen el 2% del peso corporal.
- Durante entrenamientos o competiciones prolongados, nos plantearemos tomar una bebida que contenga electrolitos e hidratos de carbono para diferir la aparición del cansancio y mejorar el rendimiento, sobre todo si se practica después de una noche en ayunas (136) (3).
- Se remplazarán por completo las reservas de glucógeno antes de la siguiente sesión de entrenamiento o competición.
- Se consumirán proteínas después del entrenamiento o de partidos para reducir los daños musculares y las agujetas (34).

Entrenamiento concurrente

La interferencia del ejercicio concurrente es un concepto que sugiere que el ejercicio de fondo combinado con entrenamiento de la fuerza (sesiones contiguas) reduce las mejoras en la fuerza si se compara con un entrenamiento solo de la fuerza, si bien se producen mejoras en el rendimiento de fondo (140). Aunque recientemente ha crecido el interés por las investigaciones basadas en el entrenamiento concurrente, las recomendaciones nutricionales para este entrenamiento a menudo se basan en estudios aislados que examinaron el impacto de las intervenciones nutricionales sobre el entrenamiento de fondo o sobre el rendimiento resistido. El consumo de hidratos de carbono después del ejercicio de fondo y los levantamientos previos con pesas ayuda a evitar la destrucción de tejido de músculo esquelético. Además, dado el impacto que la ingesta de proteínas después del ejercicio de fondo tiene sobre la síntesis de proteínas musculares, así como el hecho de que los estudios sugieren que la ingesta de proteínas durante un entrenamiento resistido prolongado (>2 horas) respalda mayores tasas de síntesis de proteínas musculares durante el ejercicio en comparación con controles que tomaron solo hidratos de carbono, los atletas deberían plantearse el consumo de proteínas después del ejercicio de fondo y de los levantamientos previos o durante las sesiones de levantamiento de pesas (101).

Proteínas durante las comidas

Además de consumir proteínas justo después de entrenar, los adultos se centrarán también en la ingesta de proteínas en las comidas principales, sobre todo porque el entrenamiento resistido aumenta la sensibilidad del músculo a los aminoácidos durante las 24 a 48 horas posteriores al ejercicio, mientras que el efecto anabólico de una comida dura de 3 a 5 horas. Para la remodelación muscular óptima, los expertos sugieren consumir al menos de 20 a 30 g de proteínas por ingesta y que las comidas se programen cada 3 a 4 horas (77, 101).

Contamos con datos limitados sobre la síntesis de proteínas musculares en niños, debido a los procedimientos invasivos necesarios para las mediciones (15), y no hay estudios que hayan examinado la síntesis de proteínas musculares después del entrenamiento ni la ingestión de proteínas tras el entrenamiento en niños sanos. Sin embargo, una cosa está clara en referencia

a los niños: No necesitan seguir las mismas pautas que los adultos sobre proteínas en las comidas, porque la actividad de la síntesis de proteínas es regulada por la insulina y por la ingesta de calorías en vez de por la leucina. Los niños pueden, por tanto, consumir menores cantidades de proteínas y a lo largo del día para cubrir sus necesidades proteínicas (75). Véase la tabla 10.3 para más información sobre las necesidades proteínicas en relación con los deportes.

Estrategias nutricionales para alterar la composición corporal

Los atletas que quieran alterar su composición corporal suelen tener que ganar músculo, perder grasa corporal o ambas cosas. Aunque haya algunos casos (por lo general en personas con trastornos de la conducta alimentaria) en que los atletas necesiten adquirir músculo y grasa, esta sección se centra en ganar músculo y perder grasa corporal.

El primer paso para alterar nuestra composición corporal consiste en calcular las necesidades calóricas (aunque *caloría* sea el término habitual, el término técnico es *kilocaloría*). El número de calorías que necesita un atleta a diario depende de varios factores, como la genética, el peso corporal, la composición corporal, el programa de entrenamiento y la edad. Los niños y adolescentes también necesitan calorías para su crecimiento y desarrollo.

El índice metabólico basal (IMB) es el factor contribuyente más importante para el gasto total de energía, constituyendo aproximadamente el 65-70% del gasto energético diario (59, 107). Es una medición de las calorías necesarias para mantener las funciones corporales normales, como la respiración, la circulación de la sangre y los procesos renal y gastrointestinal. El *índice metabólico basal* y el *índice metabólico en reposo* (IMR) se suelen usar como intercambiables, aunque son ligeramente diferentes. El índice metabólico basal se mide después de una noche en ayunas (12 a 14 horas sin comer) con el sujeto en decúbito supino y sin moverse pero despierto (32, 52). El índice metabólico en reposo se emplea a menudo en lugar del IMB debido a la facilidad de la medición (no se requiere una noche en ayunas), si bien las cifras son un 10-20% mayores que las del IMR debido al aumento del gasto de energía por la reciente ingesta de alimentos o a la actividad física desarrollada ese día. Varios factores influyen en el IMB y el IMR, en particular la masa magra, lo cual explica el 70-80% de la diferencia en el

IMR entre los individuos (52, 88, 108). Otros factores son la edad, el estado nutricional, la genética y las diferencias en la función endocrina (como el hipotiroidismo y el hipertiroidismo).

El segundo componente en importancia de las necesidades de energía individuales es la energía gastada en la actividad física. De todos los componentes, es el más variable entre individuos. El número de calorías gastadas en la actividad física aumenta con la frecuencia, intensidad y duración del programa de entrenamiento, así como con la actividad diaria ajena al entrenamiento (lavar el coche, labores del hogar, etc.). Por lo general, el 20-30% del gasto diario total de energía corresponde a la actividad física, aunque esta cifra tal vez sea considerablemente mayor en los atletas (59, 107). El coste energético más alto se concentra en actividades aeróbicas practicadas por atletas corpulentos durante largos períodos de tiempo, mientras que el coste energético menor se asocia con deportes de destreza o de potencia practicados por atletas más pequeños.

El efecto térmico de los alimentos, también llamado **termogénesis inducida por la dieta**, no es otra cosa que el incremento en el gasto de energía por encima del IMR que se puede medir durante varias horas después de una comida. El efecto térmico de los alimentos comprende el coste energético de la digestión, la absorción, el metabolismo y el almacenamiento de la comida en el cuerpo. El efecto térmico de los alimentos responde aproximadamente del 10-15% del total de calorías quemadas a diario (59, 107).

Son muchas las ecuaciones que se emplean para calcular las necesidades calóricas, incluida la ecuación de Cunningham y la ecuación de Harris-Benedict, que son ecuaciones predictivas. La ecuación de Harris-Benedict tiene en cuenta el sexo, el peso corporal, la altura y la edad para predecir el IMR. A continuación se multiplica el índice metabólico en reposo por un factor de actividad de 1,2 (sedentario) a 1,9 (actividad física intensa) para predecir los requisitos energéticos (42). Sin embargo, la ecuación de Harris-Benedict no tiene en cuenta el modo en que la masa muscular influye en el IMR (83). La ecuación de Cunningham tiene en cuenta las mismas variables que la ecuación de Harris-Benedict, pero también incorpora la masa magra (MCM), con lo cual es más aplicable a los atletas (126).

$$IMR = 550 + 22\ (MCM)$$

Después de usar la ecuación de Cunningham para calcular el IMR basado

en la masa magra, se aplica un factor de actividad para calcular el gasto diario total de energía. En vez de emplear un factor básico de actividad, el entrenador de la fuerza y el acondicionamiento físico tal vez opte por recurrir a equivalentes metabólicos (valores de MET), una estimación del gasto calórico durante la actividad. Un MET es el equivalente energético a estar sentado en silencio; por tanto, cuanto mayor sea la intensidad del ejercicio, mayor será el valor de MET (2).

TABLA 10.4 Cálculo de las necesidades calóricas diarias de hombres y mujeres atletas según el nivel de actividad

Nivel de actividad	Hombres	Mujeres
	kcal/kg	kcal/kg
Ligero	38	35
Moderado	41	37
Duro	50	44

Nivel de actividad ligero: Caminar por llano a un ritmo de 4 a 4,8 km/h, trabajo en el garaje, trabajo de electricista, carpintería, restauración, limpieza del hogar, cuidado de los niños, golf, vela o tenis de mesa.

Nivel de actividad moderado: Caminar a un ritmo de 5,6 a 6,4 km/h, cavar y limpiar las malas hierbas, ciclismo, esquí, tenis o danza.

Nivel de actividad duro: Caminar con carga subiendo cuestas, cavar, baloncesto, escalada, fútbol americano o fútbol.

Otro método menos laborioso a disposición de los atletas muy motivados es llevar un registro de la ingesta dietética a lo largo de un mínimo de tres días representativos y consecutivos durante un período de peso corporal estable. Se asume que los requisitos energéticos diarios individuales equivalen al promedio de calorías consumidas a diario. El inconveniente de este método es que llevar un registro de la ingesta de alimentos suele alterar los hábitos alimenticios normales y las personas no siempre anotan con precisión dicha ingesta (47,114). Por último, en la tabla 10.4 se expone un método muy sencillo para evaluar con rapidez las necesidades calóricas.

Aumento de peso

La capacidad de un atleta para subir de peso depende de numerosos factores; entre los que se pueden controlar destacan la alimentación y el entrenamiento. El período fuera de temporada suele ser el momento que se aprovecha para

hacer cambios dietéticos centrados en aumentar de peso, dado que los sujetos no sufren la presión de la competición.

Si los atletas aumentan su ingesta calórica brusca y constantemente, quizá adquieran más grasa de la que desean. Una pauta general, que debería ajustarse según el caso, es consumir unas 500 calorías adicionales al día con el fin de ganar peso (106). Consumir porciones de mayor tamaño, aumentar la frecuencia de las comidas y centrarse en alimentos densos en calorías son estrategias que ayudan a aumentar de peso. Además de aumentar la ingesta calórica total, los atletas se deben asegurar de que ingieren suficientes proteínas para potenciar las mejoras de la masa magra: de 1,5 a 2 g por kilogramo de peso corporal al día. Aumentar la ingesta de proteínas tal vez resulte una tarea difícil, dado el profundo efecto que estas tienen sobre la saciedad, además de aumentar el efecto térmico de la ingesta asociado con las dietas ricas en proteínas. Sin embargo, la ingesta excesiva de proteínas es ventajosa si el atleta soporta la dieta. En un estudio comparativo y aleatorizado sobre la sobrealimentación, 16 adultos sanos convivieron en una sala metabólica durante ocho semanas y fueron sobrealimentados con una dieta que contenía pocas proteínas (el 5% del total de calorías), una cantidad normal (el 15% del total de calorías) o muchas proteínas (el 25% del total de calorías). Los sujetos que siguieron la dieta normal y rica en proteínas almacenaron aproximadamente el 45% del exceso de calorías en forma de masa magra, mientras que los que siguieron una dieta baja en proteínas almacenaron el 95% del exceso de calorías en forma de grasa corporal (31). Además de hacer cambios dietéticos, los atletas que quieran ganar peso se deberían plantear la suplementación con monohidrato de creatina, un suplemento que aumenta de manera segura y eficaz el peso corporal magro (69).

Por último, aunque los atletas conozcan sus necesidades de energía y proteínas, llevar esos conocimientos a la práctica resulta complicado. Por tanto, el asesoramiento nutricional (o instrucción) a cargo de un dietista deportivo o de un nutricionista deportivo con titulación superior es una estrategia recomendada para facilitar un mayor aumento de peso. Un estudio con 21 atletas de elite con grandes cargas de entrenamiento, que aleatoriamente recibieron asesoramiento nutricional o comieron con libertad, mostraron que, durante el curso del período de aumento de peso de 8 a 12 semanas, el grupo que recibió asesoramiento dietético tuvo en total un mayor aumento de masa magra durante la intervención y después de 12 meses; esto

significa que el grupo que recibió el asesoramiento nutricional siguió beneficiándose de él durante varios meses después de que acabase dicho asesoramiento (33).

Pérdida de peso (grasa)

Los atletas que participan en determinados deportes tal vez necesiten perder grasa corporal para mejorar aspectos del rendimiento como la velocidad o la tolerancia física. Por otra parte, la regulación del peso corporal tal vez confiera a ciertos atletas una ventaja mental en la competición (102). Además, mantener o ganar peso es un aspecto recurrente de los deportes en que hay categorías por el peso, limitaciones de peso o se valora al atleta por su aspecto físico, como la halterofilia, la lucha libre, el boxeo, las modalidades de peso ligero de remo y la gimnasia rítmica.

A pesar de todos los libros para adelgazar que hay en las listas de éxitos de ventas, no existe una dieta ideal que sirva a todo el mundo. Los estudios demuestran que diversos tipos de dietas, como las dietas bajas en hidratos de carbono y en grasa, consiguen perder peso siempre y cuando las personas que las siguen consuman menos calorías de las que necesitan para mantener su peso. Parece que no hay diferencia entre la cantidad de peso perdido siguiendo una dieta baja en hidratos de carbono en comparación con otra baja en grasas (y, por tanto, más rica en hidratos de carbono) (17, 30). La ingesta calórica total y el cumplimiento de la dieta, así como la capacidad para ceñirse a una dieta a la larga, son dos de los factores más importantes que predicen el éxito de la pérdida de peso. Sin embargo, existe el riesgo de que una buena porción del peso perdido durante la dieta sea tejido muscular (135). Y como la síntesis de proteínas musculares es un proceso que consume mucha energía, la restricción calórica cuando se está a dieta tal vez disminuya la síntesis de proteínas musculares. Los atletas que quieren mantener el músculo y perder grasa corporal mientras están a dieta deberán consumir de 1,8 a 2,7 g de proteínas por kilogramo de peso corporal al día (o alrededor de 2,3-3,1 g de proteínas por kilogramo de masa magra y día), además de mantener un déficit energético moderado de aproximadamente 500 calorías/día (84).

Dietas bajas en hidratos de carbono

La popularidad y eficacia de las dietas bajas en hidratos de carbono tal vez tengan que ver

menos con el recorte de los hidratos de carbono (en personas sanas) que con una disminución temporal del peso en agua, con el recorte de las calorías y con el aumento de la ingesta de proteínas. Cuando la gente reduce significativamente su ingesta de hidratos de carbono, agotan sus reservas de glucógeno (hidratos de carbono almacenados con tres o cuatro partes de agua) y, por tanto, bajan rápidamente de peso en agua. Una vez que se reintroducen los hidratos de carbono en la dieta, es fácil que se recupere ese peso con rapidez (67).

Sin embargo, con el tiempo, las dietas bajas en hidratos de carbono tal vez sirvan a algunas personas debido al incremento de los niveles de proteínas. Las proteínas aumentan la sensación de plenitud (saciedad) dependiendo de la dosis; cuantas más proteínas se consuman de una sentada, mayor será su efecto sobre la saciedad. Sin embargo, en este momento la «dosis óptima» para conseguir una saciedad plena no está clara. Las proteínas también aumentan el efecto térmico de la digestión. Se queman más calorías durante la digestión y procesamiento de las proteínas que durante los de los hidratos de carbono y las grasas. Por último, las proteínas ayudan a ahorrar tejido muscular magro metabólicamente activo durante el período de adelgazamiento. Esto es importante porque el músculo quema unas pocas calorías más en reposo que la grasa, y con el tiempo esto influye en el peso corporal. Igualmente, más músculo tal vez signifique que una persona puede entrenar más duro y, por tanto, quemar más calorías durante el entrenamiento (84).

Aunque recortar los hidratos de carbono tal vez sea perjudicial para algunos atletas competitivos, sobre todo durante las fases de precompetición y competición, es un método muy eficaz para quienes manifiestan resistencia a la insulina (afección que causa una elevación de la glucemia porque el cuerpo no usa la insulina eficazmente), así como diabetes tipo II. Quizá también sea un método eficaz para las personas obesas y con sobrepeso (43, 46, 141).

No existe una dieta ideal. Los atletas tienen que elegir un método dietético basado en que sea seguro para ellos, que contenga suficientes proteínas para cubrir sus necesidades y que se ajuste a su estilo de vida para poder seguirla con facilidad.

Con el fin de que sean sostenibles a largo plazo, las dietas se deben individualizar, deben ser fáciles de cumplir y tener en cuenta los hábitos diarios, los antecedentes personales patológicos (como diabetes, resistencia a la insulina, otras enfermedades y problemas médicos), los hábitos nutritivos y las preferencias de comidas, a la vez que se aportan todos los nutrientes y se cubren todas las necesidades atléticas para entrenar y rendir óptimamente. Por último, los estudios de investigación demuestran que la psicoterapia conductista en curso y su apoyo mejoran los resultados a largo plazo (76).

Sobrepeso y obesidad

El sobrepeso y la **obesidad**, definida como un **índice de masa corporal (IMC)** de 25 a 29,9 kg/m^2 y >30 kg/m^2, respectivamente, aumentan el riesgo

de morbilidad de las personas por hipertensión, dislipidemia, arteriopatía coronaria, colescitopatía, ictus, diabetes tipo II, apnea del sueño, osteoartritis, problemas respiratorios y cáncer de endometrio, de mama, de próstata y de colon (86). La obesidad se categoriza como una enfermedad y afecta al 34,9% de los adultos y al 17% de los niños de Estados Unidos (92).

Las causas de la obesidad son complejas y comprenden la interacción de los genes y el ambiente, un aspecto que implica factores sociales, conductuales, culturales, metabólicos, fisiológicos y genéticos. Sin embargo, son muchas las opciones de tratamiento eficaces, incluyendo el tratamiento nutricional, la alteración de los patrones de actividad física, las técnicas de psicoterapia conductista, la farmacoterapia y la cirugía. Algunos pacientes y médicos emplean una combinación de estos tratamientos. El objetivo inicial de la pérdida de peso en personas obesas o con sobrepeso debe ser rebajar un 10% del peso inicial en un plazo de seis meses (86).

El índice de masa corporal se considera una medida de la grasa corporal calculada a partir de la altura y el peso. Este índice se emplea a menudo para evaluar el riesgo de enfermedades asociadas con un exceso de grasa corporal; sin embargo, en realidad, es una medida del exceso de peso y no del exceso de grasa corporal (86), porque el IMC no distingue entre exceso de grasa corporal y la masa ósea y muscular (21). Por último, la edad, el sexo, la etnia y la masa muscular afectan a la relación entre IMC y grasa corporal. Por tanto, el IMC puede calcular por exceso la grasa corporal en los atletas y otras personas de constitución musculosa y medir a la baja la grasa corporal de personas mayores u otras que hayan perdido masa muscular (86). Los mismos factores que influyen en la relación entre el IMC y la grasa corporal de los adultos son aplicables a los niños. Además, la altura y la madurez sexual influyen en el IMC de los niños. El mismo cálculo se emplea con los niños, si bien las interpretaciones del IMC tienen en cuenta la edad y el sexo.

Cálculo de IMC

Para calcular el IMC usando kilogramos y metros, aplicaremos esta ecuación:

$$\text{Peso (kilogramos)} / \text{Altura (metros)}^2$$

El sobrepeso se define como un IMC de 25 a 29,9 kg/m^2, y la obesidad como un IMC de 30 kg/m^2 o más.

El índice de masa corporal no se empleará como herramienta diagnóstica,

sino como una herramienta del examen discriminatorio inicial para identificar potenciales problemas de peso en personas concretas y para el seguimiento de las tasas poblacionales de sobrepeso y obesidad. Además, ninguna medida de la grasa corporal se puede usar individualmente para evaluar la salud, la enfermedad o el riesgo de enfermedades (21). El sobrepeso y la obesidad se combinan con otros factores de riesgo, como la hipertensión, el colesterol ligado a las lipoproteínas de baja densidad, el colesterol ligado a las lipoproteínas de alta densidad, los triglicéridos altos, la hiperglucemia, la inactividad física, los antecedentes patológicos familiares de cardiopatía prematura, el tabaquismo y el aumento del riesgo personal de cardiopatías (86).

El índice de masa corporal no se empleará como herramienta diagnóstica, sino como una herramienta del examen discriminatorio inicial para identificar potenciales problemas de peso en personas concretas y para el seguimiento de las tasas poblacionales de sobrepeso y obesidad.

La circunferencia de cintura es otra medición usada habitualmente para la evaluación inicial del riesgo de enfermedades. Los hombres presentan un aumento del riesgo relativo de enfermedad si su circunferencia de cintura supera los 102 cm, mientras que las mujeres presentan un mayor riesgo relativo si su circunferencia de cintura supera los 88 cm (86).

La tabla 10.5 presenta una lista de categorías del IMC para los percentiles correspondientes a los niños. Si se quiere más información sobre el proceso de detección sistemática y la evaluación inicial del riesgo, remitimos a las pautas clínicas para la identificación, evaluación y tratamiento del sobrepeso y la obesidad en adultos, que recoge la web del National Heart, Lung anb Blood Institute. Los especialistas en la fuerza y el acondicionamiento físico deben usar otras mediciones más precisas de la composición corporal, como los pliegues cutáneos o la absorciometría por rayos X de doble energía (DEXA), en los atletas con más músculo que sus pares de la misma edad y sexo, dado que es más probable que el IMC calcule al alza el sobrepeso y la obesidad (70).

Aunque todas las personas obesas comparten el rasgo del exceso de grasa corporal, no se pueden tratar como un grupo homogéneo. Se deben someter a un proceso de detección sistemática por si hubiese enfermedades coexistentes como diabetes, problemas ortopédicos, cardiopatías, trastornos psicológicos como el **trastorno por atracón** o depresión, influencias sociales y culturales,

y disposición personal al cambio. Los atletas obesos a los que se ha mandado que adelgacen (p. ej., un médico) plantean un reto especial, porque la pérdida de peso es un mandato proveniente de una fuente externa y no de una meta interiorizada. Adelgazar requiere mucha dedicación por parte del individuo, y estos atletas tal vez necesiten trabajar estrechamente con un profesional de la salud mental o un dietista titulado para ayudarles a cumplir el objetivo.

Pérdida rápida de peso

Aunque no haya una definición uniforme en la literatura, una *rápida pérdida de peso* se refiere en general a una pérdida más rápida de la que es posible conseguir en un corto período de tiempo limitando la ingesta calórica y aumentando el ejercicio (29). Los atletas pueden usar distintas técnicas para bajar de peso con rapidez con el fin de competir en una categoría de peso y alcanzar un peso marcado por el entrenador o para mejorar el rendimiento. Las técnicas para adelgazar potencialmente peligrosas tal vez incluyan ayuno, dietas de moda, **deshidratación voluntaria** (consumo de diuréticos, sauna, manipulación del agua y la sal, llevar varias capas de ropa), escupir en exceso, vómito autoinducido, abuso de laxantes y uso excesivo o inapropiado de ayudas termógenas (29).

Los atletas que intentan perder demasiado peso muy rápidamente tal vez pierdan masa magra, se sientan cansados, experimenten cefaleas o cambios de ánimo, estén poniendo en peligro su entrenamiento y rendimiento, y sufran varios efectos secundarios potencialmente graves, como deshidratación, termopatía, calambres musculares, fatiga, mareos, supresión de la función del sistema inmunitario, desequilibrios hormonales, hipertermia, reducción de la fuerza muscular, disminución del volumen plasmático y sanguíneo, tensión arterial baja, desequilibrios de los electrolitos, insuficiencia renal (consumo abusivo de diuréticos), desvanecimiento y muerte (en casos extremos) (29).

TABLA 10.5 Categorías por edad del IMC y percentiles correspondientes en los niños

Percentil	Peso
Menos del percentil 5	Delgadez
Del percentil 5 a menos del percentil 85	Peso saludable
Del percentil 85 a menos del percentil 95	Sobrepeso
Igual o superior al percentil 95	Obesidad

Fuente: Centers for Disease Control.

El especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe ser capaz de reconocer los signos y síntomas asociados con técnicas para perder peso con rapidez y derivar al atleta al profesional apropiado, al tiempo que manifiesta su preocupación al resto del equipo del entrenador. Es posible que también se plantee documentar los pasos que ha dado para ayudar al atleta (para llevar un buen registro y prevenir litigios por responsabilidades), además de trabajar con un médico o dietista licenciado para marcarse unas metas apropiadas con el peso teniendo en cuenta la composición corporal, la alimentación, la anamnesis y los antecedentes de trastornos de la conducta alimentaria. Algunos atletas tal vez se tengan que replantear la categoría por peso en la que están compitiendo si no les es posible alcanzar el peso correcto sin poner en peligro su salud o rendimiento.

Trastornos de la conducta alimentaria

Los trastornos de la conducta alimentaria, como el trastorno por atracón, la **anorexia nerviosa** y la **bulimia nerviosa**, son trastornos graves de la salud mental que afectan a hombres y mujeres, aparecen en cierto punto de la vida y aumentan la mortalidad. Quienes padezcan trastornos de la conducta alimentaria presentan una mayor prevalencia de sufrir otros trastornos psiquiátricos, como trastornos de ansiedad, trastornos psíquicos como depresión, trastornos del control de impulsos y trastornos por consumo de sustancias (41, 50).

Los estudios muestran un aumento de la prevalencia de trastornos de la conducta alimentaria y de alimentación desordenada en atletas en comparación con los controles (37, 121, 143). En concreto, los atletas que practican deportes con categorías por el peso como la lucha libre y los que practican deportes que hacen mucho hincapié en la delgadez como las carreras de *cross* y los deportes estéticos como la gimnasia rítmica son más propensos a los trastornos de la conducta alimentaria y la alimentación desordenada (37, 121, 143). Los signos de una alimentación desordenada tal vez sean seguir una alimentación restrictiva, ayunar, saltarse comidas y consumir pastillas adelgazantes, laxantes y diuréticos. Sin embargo, las personas con una alimentación desordenada no cumplen todos los criterios diagnósticos de un trastorno de la conducta alimentaria (37).

Los trastornos de la conducta alimentaria son enfermedades

multifactoriales y, como tales, requieren el enfoque de un equipo multidisciplinario. El especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe estar al tanto de los signos y síntomas de estos trastornos y contar con una red de derivación de pacientes *in situ* para que los atletas reciban la ayuda psicológica, médica y nutricional que necesitan por parte de expertos en estos trastornos.

Anorexia nerviosa

La anorexia nerviosa se caracteriza por una imagen distorsionada del cuerpo y por un miedo intenso a ganar peso o volverse gordo, lo cual lleva a los que padecen esta enfermedad a imponerse una restricción calórica excesiva y una grave pérdida de peso (6). Los pacientes con anorexia nerviosa también ponen mucho énfasis en su figura y su peso, aunque no son conscientes de la gravedad de su enfermedad. Además, las personas con anorexia nerviosa suelen incurrir en conductas ritualistas como pesarse repetidas veces, cortar la comida en trozos pequeños y separar cuidadosamente la comida en porciones (87).

Síntomas de la anorexia nerviosa

- Adelgazamiento de los huesos (osteopenia u osteoporosis).
- Cabello y uñas quebradizos.
- Piel reseca y amarillenta.
- Proliferación de un vello muy fino por todo el cuerpo (lanugo).
- Anemia leve y atrofia y debilidad musculares.
- Estreñimiento grave.
- Hipotensión arterial, respiración y pulso lentos.
- Daños en la estructura y función del corazón.
- Daños cerebrales.
- Insuficiencia multiorgánica.
- Caída de la temperatura central del cuerpo, que causa que las personas sientan siempre frío.
- Letargo, pereza o sensación de cansancio en todo momento.
- Infertilidad.

Fuente: Reproducido del National Institute of Mental Health.

Hay dos subtipos de esta enfermedad. La anorexia nerviosa restrictiva no incurre habitualmente en los atracones y las purgas, mientras que la anorexia tipo atracón y purga incurre habitualmente en esa conducta.

La edad media del inicio de la enfermedad son los 19 años, y la prevalencia de vida en hombres y mujeres es del 0,3% y 0,9%, respectivamente. El 33,8% de las personas con anorexia nerviosa están en tratamiento (50), si bien tales estadísticas se basan en criterios más antiguos para la anorexia nerviosa; las tasas de prevalencia quizá se eleven con los criterios diagnósticos revisados en 2013 (48). Es importante reparar en que, entre todos los trastornos de la salud mental, la anorexia nerviosa presenta la tasa de mortalidad más elevada (41). Para más información sobre la anorexia nerviosa, puede consultarse el *Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales, quinta edición*, de la American Psychiatric Association (2013).

Trastorno por atracón

Previamente considerado un «trastorno de la conducta alimentaria no especificado», el trastorno por atracón presenta una categoría propia en el *Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales, quinta edición* (6). El trastorno por atracón se caracteriza por repetidos episodios, al menos una vez semanalmente durante un período de tres semanas, de atracones incontrolados (en que se come significativamente más comida en un período corto de tiempo que la mayoría de la gente en las mismas circunstancias) (6). Los episodios se asocian con tres o más de los actos siguientes:

- Comer mucho más rápido de lo normal.
- Comer hasta sentirse incómodamente lleno.
- Comer mucha comida cuando no se experimenta hambre.
- Comer solo por sentir vergüenza por lo mucho que se ingiere.
- Sentirse disgustado con uno mismo, deprimido o muy culpable después del episodio (6).

Debido a que los episodios de atracón no se acompañan de purgas, como en el caso de la bulimia nerviosa, las personas con este trastorno a menudo presentan sobrepeso u obesidad. La prevalencia de por vida en hombres y mujeres es del 2% y el 3,5% respectivamente, y la edad media del inicio son los 25 años. Su prevalencia de por vida se asocia con obesidad mórbida (IMC >40). Durante el transcurso de sus vidas, solo el 43,6% de las personas con este trastorno reciben tratamiento (50); sin embargo estas estadísticas se basan en los criterios antiguos de este trastorno, antes de su inclusión en 2013

como un trastorno específico de la conducta alimentaria. Las tasas de prevalencia tal vez aumenten con estos criterios revisados (48). Los atracones se asocian con problemas físicos y psicológicos significativos. Además, las personas con el trastorno por atracón se sienten muchas veces avergonzadas, culpables o disgustadas con su conducta y quizá intenten ocultar su comportamiento comiendo a solas (6).

Bulimia nerviosa

La bulimia nerviosa se caracteriza por el consumo recurrente de alimentos en cantidades significativamente mayores a lo que habitualmente es lo normal en un período discreto de tiempo; por ejemplo, una pizza entera y medio litro de helado junto con una caja de galletas. Las purgas siguen a estos atracones y pueden incluir uno o más de estos elementos: vómito autoinducido, ejercicio intenso y consumo de laxantes o diuréticos. Los atracones y las purgas se producen al menos una vez por semana durante tres meses (6). Las personas con bulimia nerviosa sienten que pierden el control sobre su alimentación durante estos atracones y es más probable que su peso sea normal y no presenten delgadez; están a disgusto con su peso y su cuerpo, y temen engordar. La edad media del comienzo de la bulimia nerviosa son los 20 años, y la prevalencia de por vida es del 0,6%. Solo el 43,2% de estos pacientes reciben tratamiento (50), si bien estas estadísticas también se basan en los criterios antiguos de esta enfermedad, y las tasas de prevalencia tal vez se eleven con los criterios revisados en el *Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales, quinta edición* (48). Para más información sobre la bulimia, animamos al lector a leer dicho libro.

Síntomas de la bulimia nerviosa

- Dolor e inflación crónicos de garganta.
- Glándulas salivales inflamadas en el cuello y el área de la mandíbula.
- Erosiones del esmalte dental, dientes cada vez más sensibles y con caries como resultado de la exposición a los ácidos del estómago.
- Reflujo ácido y otros problemas gastrointestinales.
- Trastorno intestinal e irritación por el consumo abusivo de laxantes.
- Deshidratación grave por la purga de líquidos.
- Desequilibrio de electrolitos (niveles muy bajos o muy altos de sodio, calcio, potasio y otros minerales), que puede causar un ataque al corazón.

Fuente: Reproducido del National Institute of Mental Health.

Síndrome de alimentación selectiva

El síndrome de alimentación selectiva (SED) se caracteriza por la aparente falta de interés por la comida, evitación basada en las características sensitivas de los alimentos, o por una preocupación por las consecuencias adversas de la alimentación. Este trastorno se manifiesta por la incapacidad persistente para cubrir las necesidades nutricionales o energéticas asociadas con uno (o más) de estos elementos (6):

- Pérdida de peso significativa (o incapacidad para aumentar de peso o crecimiento deficiente de los niños).
- Déficit nutricional significativo.
- Dependencia de la alimentación enteral o de suplementos nutricionales orales.
- Acusada interferencia con la función psicosocial.

El trastorno no se explica por la falta de alimentos disponibles ni por una práctica asociada culturalmente sancionada.

El trastorno de la conducta alimentaria no se produce exclusivamente en el curso de la anorexia nerviosa o la bulimia nerviosa, y no hay pruebas de que haya un trastorno formal en el que se experimente con la figura o el peso.

El trastorno de la conducta alimentaria no es atribuible a una enfermedad concurrente ni se explica mejor con otro tipo de trastorno mental. Cuando ocurre en el contexto de otra enfermedad o trastorno, la gravedad del trastorno de la conducta alimentaria supera la asociación rutinaria con la otra afección y requiere atención clínica adicional (6).

Pica

Las personas con pica ingieren sustancias carentes de nutrientes durante al menos un mes. Sustancias habituales son arcilla, hielo, colillas de cigarrillos, pelo, yeso o tiza (64). Las personas con pica tal vez presenten, entre otros problemas, trastornos metabólicos y de electrolitos, obstrucción intestinal, erosión del esmalte dental y problemas gastrointestinales. Se recomienda hacer pruebas de anemia porque la pica se asocia con déficits de hierro (64).

Trastorno de rumiación

El trastorno de rumiación o merecismo consiste en masticar, devolver a la boca la comida masticada y escupir la comida regurgitada. Para considerar que alguien padece este trastorno, tiene que desplegar esta conducta durante un mes por lo menos y sin guardar relación con ninguna enfermedad.

El trastorno de rumiación se puede manifestar en concomitancia con otros problemas o trastornos de la conducta alimentaria.

Trastornos de la conducta alimentaria: Asistencia y tratamiento

No es responsabilidad del especialista en fuerza y acondicionamiento físico diagnosticar o tratar este tipo de trastornos. Sí es su responsabilidad ética ayudar al atleta a obtener un diagnóstico correcto de un médico y tratamiento de un equipo cualificado. Por tanto, deben estar atentos a los síntomas de estos trastornos, así como a los signos de una alimentación desordenada. Tengamos presente que la amenorrea y los patrones alimentarios anormales, por sí solos, no revelan que haya un trastorno de la conducta alimentaria. Hay que ponerse en contacto con un profesional experto y cualificado en el diagnóstico y tratamiento de estos trastornos cuando nos preocupe la conducta de un atleta.

El especialista en fuerza y acondicionamiento físico no es responsable de tratar los trastornos de la conducta alimentaria, pero sí debe estar atento a los síntomas asociados con tales trastornos y derivar a los atletas a los profesionales adecuados.

Fuentes para el tratamiento de trastornos de la conducta alimentaria

National Eating Disorders Association
www.nationaleatingdisorders.org

International Association of Eating Disorders Professionals
www.iaedp.com

The Renfrew Center Foundation
www.renfrewcenter.com

National Association of Anorexia Nervosa and Associated Disorders, Inc.
www.anad.org

Remuda Ranch
www.remudaranch.com

Federación Española de Asociaciones de Ayuda y Lucha contra la Anorexia y Bulimia (FEACAB)
www.feacab.org

Asociación Española para el Estudio de Trastornos de Comportamiento Alimentario (AEETCA)
www.aeetca.com

Asociación en Defensa de la Atención a la Anorexia Nerviosa y Bulimia (ADANER)
www.adaner.org

Conclusión

El principal papel de la nutrición en la fuerza y el acondicionamiento físico es respaldar el rendimiento atlético. Un conocimiento general de los principios y aplicaciones de la nutrición es esencial para los especialistas en la fuerza y el acondicionamiento físico, con el fin de ofrecer información segura y precisa a sus atletas, así como para identificar signos y síntomas potenciales de un trastorno de la conducta alimentaria. Y aunque una correcta nutrición antes, durante y después de la competición mejore el rendimiento, también hay que subrayar la importancia de una alimentación nutricionalmente segura para la salud en general, así como para mejorar las adaptaciones al entrenamiento y el rendimiento.

TÉRMINOS CLAVE

alimentación desordenada
anorexia nerviosa
bulimia nerviosa
carga de hidratos de carbono
comida de precompetición
deshidratación voluntaria
índice de masa corporal (IMC)
isocalórico
obesidad
termogénesis inducida por la dieta
trastorno
de la conducta alimentaria por atracón

PREGUNTAS DE REPASO

(respuestas en la página 657)

1. El principal macronutriente que debe contener la comida previa a la competición es:
   a. Grasas.
   b. Hidratos de carbono.
   c. Proteínas.
   d. Vitaminas.

2. ¿Cuál de los siguientes procesos aporta la MAYOR contribución al gasto total de energía?
   a. Índice metabólico en reposo.
   b. Gasto de energía durante la actividad física.
   c. Efecto térmico de los alimentos.
   d. Glucemia en reposo.

3. ¿Cuál de los siguientes elementos es característico de la anorexia nerviosa?
   a. Peso corporal normal.
   b. Ingesta dietética muy baja en grasas.
   c. Preocupación con la comida.
   d. Comer en secreto.

4. Cuando se sospeche que hay un trastorno de la conducta alimentaria, el especialista en fuerza y acondicionamiento físico debería:
   a. Monitorizar la ingesta alimentaria diaria del atleta.
   b. Proceder al pesaje de los atletas con frecuencia.
   c. Animar a que un especialista en trastornos de la conducta alimentaria realice una evaluación.
   d. Aportar información nutricional.

5. Para mantener la hidratación durante competiciones que duren menos de 1 hora, se recomienda que los atletas consuman de 88 a 236 mililitros de agua o una bebida isotónica cada:
   a. 15 minutos.
   b. 30 minutos.
   c. 60 minutos.
   d. 2 horas.

CAPÍTULO 11

Métodos y sustancias para mejorar el rendimiento

Bill Campbell*

A la conclusión del capítulo, el lector:

- Podrá proporcionar a los atletas información fiable y actual sobre los riesgos y beneficios de las sustancias para mejorar el rendimiento, entre otros, de los esteroides anabolizantes.
- Comprenderá la eficacia y los efectos indeseables de los suplementos dietéticos sin receta médica que se venden a los atletas con el fin de mejorar su rendimiento físico y deportivo.
- Determinará qué suplementos para mejorar el rendimiento son beneficiosos para el rendimiento de fuerza y potencia, para el rendimiento de fondo, o para ambos.
- Distinguirá entre aquellos suplementos que mejoran el rendimiento imitando los efectos de las hormonas del cuerpo y los que mejoran el rendimiento por otros medios.

* El autor agradece la significativa aportación de Jay R. Hoffman y Jeffrey R. Stout en la redacción de este capítulo.

Los atletas que toman la decisión de consumir sustancias para mejorar el rendimiento lo hacen con la esperanza de potenciar sus adaptaciones al entrenamiento y, en todo caso, aumentar su rendimiento deportivo (198). Idealmente, las sustancias que mejoran el rendimiento también refuerzan la salud del atleta y cumplen las pautas éticas establecidas en su deporte. Debido a los aspectos éticos relacionados con la ventaja ilícita que pudiesen otorgar durante la competición, así como sus potenciales efectos indeseables, la mayoría de los órganos rectores del atletismo han establecido una lista de

sustancias prohibidas para las competiciones nacionales e internacionales. Los atletas pillados consumiendo estas sustancias quedan suspendidos de toda participación, son obligados a devolver sus medallas o ambas cosas. En situaciones en que los atletas dan positivo en una sustancia prohibida repetidas ocasiones, se arriesgan a quedar apartados de por vida de toda competición deportiva. No obstante, existen numerosas ayudas ergogénicas y suplementos nutricionales permitidos que los atletas consumen con frecuencia para potenciar las mejoras del rendimiento. A menudo el consumo de estas sustancias se promociona sobre la base de afirmaciones infundadas (198), por lo que es imperativo que los atletas se informen bien sobre la legalidad de las sustancias, conozcan los riesgos asociados con su consumo y sepan si hay estudios científicos que respalden la eficacia del producto. Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico pueden ser de gran ayuda a los atletas en este sentido suministrándoles información relevante sobre estos temas, así como derivándolos a especialistas en nutrición. Aunque **ayuda ergogénica** sea cualquier sustancia, ayuda mecánica o método de entrenamiento que mejoren el rendimiento deportivo, por lo que a este capítulo respecta, el término se refiere específicamente a las ayudas farmacológicas.

Los atletas pueden intentar adquirir ventaja en la competición consumiendo suplementos que gocen de buena reputación como ayudas ergogénicas y no estén prohibidos, aunque también se dan casos en que consumen a sabiendas sustancias prohibidas con la creencia de que no son todavía detectables por los análisis antidopaje (198). Una consecuencia tal vez sea que los atletas que normalmente se abstienen del consumo de estas sustancias sientan la presión de consumirlas para no estar en inferioridad de condiciones respecto a sus competidores. Sin embargo, los atletas bien informados están seguros cuando evitan productos inútiles y posiblemente dañinos pese a lo que sus compañeros puedan decir. También es posible evitar que los atletas consuman sustancias prohibidas si son conscientes de los riesgos para su salud y seguridad, y si saben que los competidores tramposos corren un gran riesgo de ser detectados.

Los atletas se deben centrar en aplicar métodos de acondicionamiento físico periodizados apropiadamente y en seguir prácticas nutricionales concebidas para mejorar el rendimiento. Si se solucionan estos dos factores, será el momento de que el atleta se plantee usar suplementos deportivos o ayudas ergogénicas. Es importante que los deportistas busquen orientación de

profesionales apropiados con el fin de asegurarse de que la elección es legal y eficaz.

La primera prioridad de un atleta debe ser guiarse por unos principios seguros del entrenamiento, como una nutrición adecuada, antes de usar suplementos nutricionales o ayudas ergogénicas. Antes de comprar o consumir un producto, los atletas deben buscar el asesoramiento de profesionales cualificados con el fin de asegurarse de que la elección es legal y eficaz.

Tipos de sustancias que mejoran el rendimiento

En este capítulo se exponen las dos categorías de sustancias que mejoran el rendimiento: (1) hormonas y fármacos que reproducen sus efectos, y (2) suplementos dietéticos. Ciertas hormonas, como la testosterona, desempeñan un papel integral en la respuesta adaptativa a las actividades de fuerza y acondicionamiento; otras, como la adrenalina, son importantes para la movilización de energía durante el entrenamiento. Estos y otros tipos de hormonas se analizan con más detalle en este capítulo. La distinción entre droga o fármaco y suplemento dietético no es fácil ni intuitiva. Por ejemplo, la cafeína, presente en muchas bebidas como el café, se considera una droga. La distinción entre una droga y un suplemento dietético influye en si un producto cumple las consideraciones de seguridad y eficacia dictadas por la Agencia de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (Food and Drug Administration o FDA). Si un producto no se clasifica como droga o fármaco ni se publicita como poseedor de valor terapéutico, la normativa de la FDA respecto a su venta es relativamente laxa. Esto significa que cualquier fabricante puede introducir en el mercado nuevos suplementos dietéticos sin contar con una aprobación especial y sin que la FDA investigue su seguridad y eficacia a menos que algún peligro para la salud llame la atención de la agencia (87). La definición que hace la FDA de droga abarca todas sustancias que cambien la función o estructura del cuerpo, lo cual incluye las sustancias que estimulan la secreción de hormonas. Además, si se administra un compuesto de manera distinta a como se consumen los alimentos, tal vez también se clasifique como una droga.

La distinción entre una droga y un suplemento dietético depende del visto bueno de la FDA sobre su seguridad y eficacia.

En general, los **suplementos dietéticos** son productos muy refinados que

no hay forma de confundir con los alimentos. Tal vez no tengan un valor nutricional positivo, razón por la cual no reciben el nombre de suplementos nutricionales. La carga de hidratos de carbono para reabastecer las reservas de glucógeno antes de una competición atlética se considera nutrición deportiva, porque consiste en un comprimido que contiene un aminoácido purificado (y que no se ha publicitado por tener propiedades médicas); pese a ello, el comprimido se considera un suplemento dietético.

Definición de productos que se pueden vender como suplementos dietéticos

Los puntos siguientes definen los productos que se pueden vender como suplementos dietéticos en Estados Unidos:

1. Productos (que no sean tabaco) cuya finalidad sea complementar la dieta y que contengan uno o más de los siguientes ingredientes dietéticos:
   a. Vitamina A.
   b. Algún mineral.
   c. Alguna hierba o producto botánico.
   d. Algún aminoácido.
   e. Alguna sustancia dietética para el consumo por seres humanos y para suplementar la dieta incrementando la ingesta dietética total.
   f. Algún concentrado, metabolito, componente, extracto o combinación de ingredientes identificados y pertenecientes a los puntos *a*-*e*.
2. El producto también se tiene que ingerir por vía oral y no se puede promocionar como un alimento convencional o como el único producto aconsejable para una comida o dieta.

La FDA regula los productos que se comercializan como suplementos dietéticos y también los ingredientes dietéticos. La FDA regula los suplementos dietéticos siguiendo una serie de pautas distintas a las que regulan los alimentos convencionales y las drogas (véase la web de la FDA: www.fda.gov/food/dietarysupplements/default.htm). En 1994, el Congreso de Estados Unidos aprobó una ley innovadora, llamada «Ley de salud y educación sobre los suplementos dietéticos» (The Dietary Supplement Health and Education Act o DSHEA). Bajo esta ley, fabricantes y distribuidores de suplementos dietéticos tienen prohibido comercializar productos que estén adulterados o cuyas etiquetas mientan. Esto significa que dichas empresas son responsables de valorar la seguridad y etiquetar sus productos antes de comercializarlos para asegurarse de que cumplen todos los requisitos de la DSHEA y las normativas de la FDA. No obstante, las empresas pueden hacer

propaganda de los efectos sobre la función y estructura del cuerpo siempre y cuando los fabricantes demuestren que las afirmaciones son ciertas y no engañosas; esta es una exigencia mucho menos severa que las que evalúan la verdad de las afirmaciones que se hacen sobre fármacos y drogas.

Las sustancias ergogénicas suelen estar prohibidas en las competiciones atléticas cuando se llega a un consenso según el cual aportan alguna ventaja competitiva improcedente o suponen un riesgo para la salud. Esta prohibición no se tiene que basar en datos concluyentes de que una sustancia aporte alguna ventaja; simplemente representa un acuerdo entre los administradores y médicos de que ese podría ser el caso. Como se mencionó previamente, todos los órganos rectores de los deportes publican su propia lista de sustancias prohibidas. Probablemente, la organización internacional reguladora del dopaje a nivel mundial que goza de más reconocimiento sea la Agencia Mundial Antidopaje (AMA), que supervisa los controles antidopaje y elabora la lista de sustancias prohibidas para el Comité Olímpico Internacional (69). Todos los países cuentan con una agencia afiliada (p. ej., la Agencia Antidopaje de Estados Unidos [USADA] o la Agencia Antidopaje de Australia [ASADA]). La ASADA no solo supervisa el tema del dopaje en los deportes olímpicos, sino también los controles antidopaje en los deportes profesionales de Australia. La lista de sustancias prohibidas se coteja y pone al día todos los años por la AMA. Mientras que la lista de la AMA es la norma internacional, otras organizaciones, como los deportes universitarios y profesionales de Estados Unidos, cuentan con listas distintas de sustancias prohibidas, así como diversos castigos para los casos de dopaje. Con independencia de la organización que regule los controles antidopaje, es a los atletas, entrenadores, especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico, así como a todo el personal de apoyo, a quienes incumbe garantizar que cumplan la normativa de sus respectivas organizaciones. La figura 11.1 presenta una lista de las clases de drogas prohibidas en 2013-2014 por la National Collegiate Athletic Association (Asociación Nacional Atlética Universitaria). Muchas universidades aplican en Estados Unidos esta lista, la cual experimenta cambios todos los años.

Listas de sustancias prohibidas de las principales organizaciones deportivas

Major League Baseball

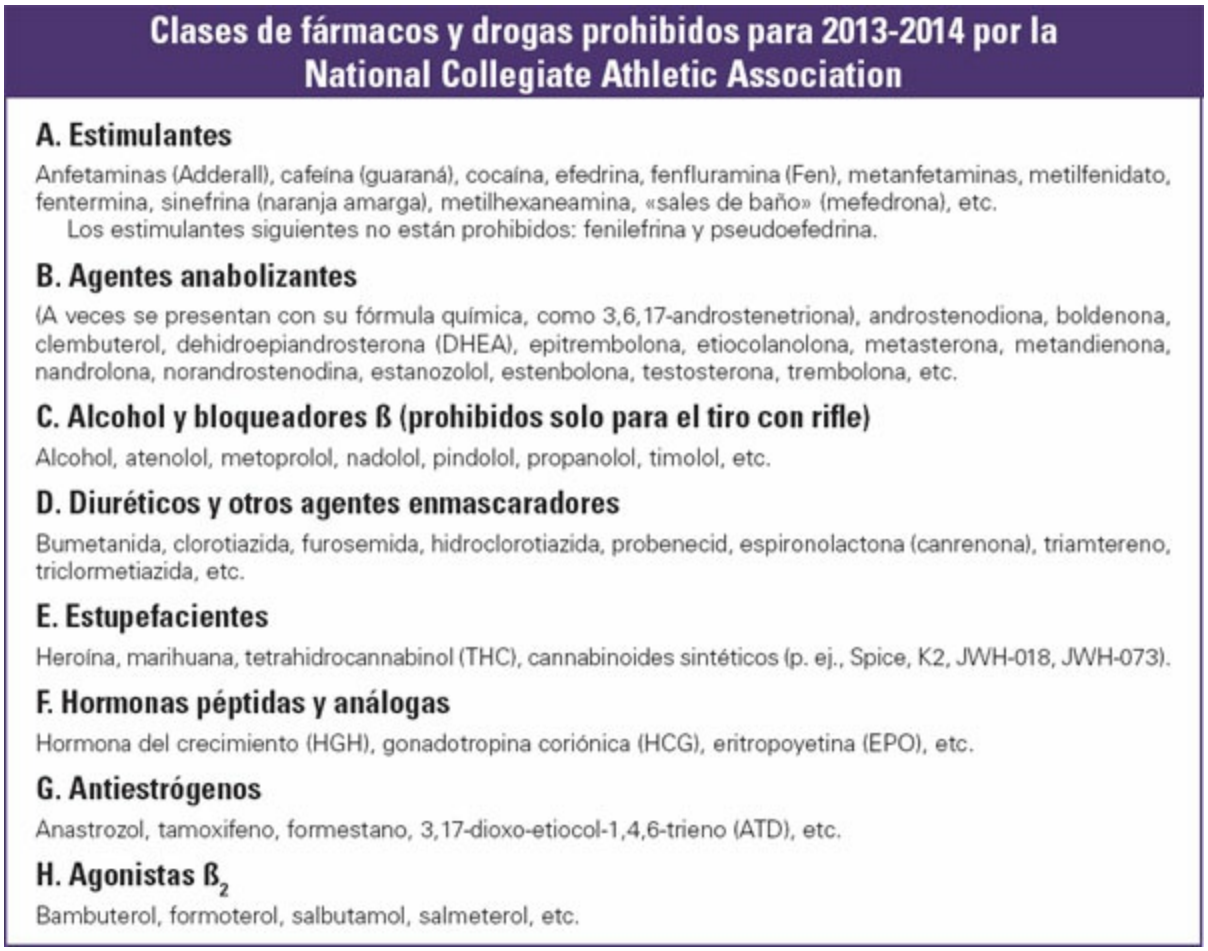
http://mlbplayers.mlb.com/pa/info/cba.jsp

National Collegiate Athletic Association
www.ncaa.org/health-and-safety/policy/2013-14-ncaa-banned-drugs

National Football League
www.nflplayers.com/About-us/Rules--Regulations/Player-Policies/Banned-Substances

National Hockey League (utiliza la lista de sustancias prohibidas por la AMA)
www.nhl.com/ice/page.htm?id=26397

Agencia Mundial Antidopaje (AMA)
https://www.wada.ama.org/en



Clases de fármacos y drogas prohibidos para 2013-2014 por la National Collegiate Athletic Association

A. Estimulantes

Anfetaminas (Adderall), cafeína (guaraná), cocaína, efedrina, fenfluramina (Fen), metanfetaminas, metilfenidato, fentermina, sinefrina (naranja amarga), metilhexaneamina, «sales de baño» (mefedrona), etc.
Los estimulantes siguientes no están prohibidos: fenilefrina y pseudoefedrina.

B. Agentes anabolizantes

(A veces se presentan con su fórmula química, como 3,6,17-androstenetriona), androstenodiona, boldenona, clembuterol, dehidroepiandrosterona (DHEA), epitrembolona, etiocolanolona, metasterona, metandienona, nandrolona, norandrostenodina, estanozolol, estenbolona, testosterona, trembolona, etc.

C. Alcohol y bloqueadores ß (prohibidos solo para el tiro con rifle)

Alcohol, atenolol, metoprolol, nadolol, pindolol, propanolol, timolol, etc.

D. Diuréticos y otros agentes enmascaradores

Bumetanida, clorotiazida, furosemida, hidroclorotiazida, probenecid, espironolactona (canrenona), triamtereno, triclormetiazida, etc.

E. Estupefacientes

Heroína, marihuana, tetrahidrocannabinol (THC), cannabinoides sintéticos (p. ej., Spice, K2, JWH-018, JWH-073).

F. Hormonas péptidas y análogas

Hormona del crecimiento (HGH), gonadotropina coriónica (HCG), eritropoyetina (EPO), etc.

G. Antiestrógenos

Anastrozol, tamoxifeno, formestano, 3,17-dioxo-etiocol-1,4,6-trieno (ATD), etc.

H. Agonistas $ß_2$

Bambuterol, formoterol, salbutamol, salmeterol, etc.

FIGURA 11.1 Lista de la Asociación Nacional Atlética Universitaria de sustancias prohibidas para los atletas universitarios de Estados Unidos. Hay que consultar con la institución y el órgano rector de nuestro deporte para contar con una lista específica.

Algunas de las sustancias son ilegales y su consumo está prohibido por el gobierno. Los esteroides anabolizantes son una sustancia de clase III, lo cual hace que su posesión, si no es para fines médicos, sea castigable con una pena máxima de un año en prisión y una multa mínima de 1.000 dólares por

un primer delito de posesión de estupefacientes. La pena máxima por traficar con drogas (o por comerciar con productos ilegales) son cinco años de cárcel y una multa de 250.000 dólares si es el primer delito grave por tráfico de estupefacientes. Si es el segundo delito, la multa y la pena en prisión se doblan. Aunque estas penas son para delitos federales, cada Estado impone multas y penas de cárcel por el consumo ilegal de esteroides anabolizantes.

Hormonas

Para mejorar el rendimiento deportivo se utilizan diversas hormonas endógenas, de las cuales la más empleada es la **testosterona**, junto con sus derivados sintéticos (121). La testosterona es la principal hormona andrógena que interactúa con el tejido del músculo esquelético. Además de la testosterona, los atletas han empleado otras hormonas producidas por el cuerpo como ayudas ergogénicas que estimulan los testículos para que produzcan testosterona, o porque tienen propiedades anabólicas; la hormona del crecimiento es un ejemplo. La eritropoyetina, secretada por los riñones, estimula la producción de glóbulos rojos con el fin de mejorar la capacidad de resistencia aeróbica; y las catecolaminas, como la adrenalina, poseen efectos sobre el metabolismo y el sistema nervioso, y se usan a menudo para acelerar la pérdida de peso y aportar una mayor activación durante el ejercicio.

Esteroides anabolizantes

Los **esteroides anabolizantes** son los derivados sintéticos (artificiales) de la hormona sexual masculina, la testosterona. A nivel fisiológico, la elevación de las concentraciones de testosterona estimula la síntesis de proteínas, lo cual potencia el aumento del tamaño muscular, la masa corporal y la fuerza (27). Además, la testosterona y sus derivados sintéticos son responsables del desarrollo y maduración de las características sexuales secundarias del varón (proliferación del vello corporal; voz grave; aparición de la calvicie de patrón masculino, aumento de la libido, producción de esperma y agresividad). Estas propiedades andrógenas comprenden el desarrollo completo de las características sexuales primarias del varón. Por tanto, es más preciso referirse a los derivados sintéticos de la testosterona como esteroides anabolizantes-andrógenos; sin embargo, también reciben el nombre de andrógenos, esteroides andrógenos o esteroides anabolizantes.

La secreción de testosterona ocurre sobre todo en las células intersticiales de Leydig en los testículos. Aunque se producen otras hormonas esteroides con propiedades anabólicas-andrógenas en los testículos (p. ej., dihidrotestosterona y androstenediona), la testosterona se sintetiza en cantidades mucho mayores. La testosterona y esas otras hormonas sexuales masculinas también se secretan en cantidades significativamente menores en las glándulas suprarrenales (en hombres y mujeres) y en los ovarios (en las mujeres). Muchas de las ayudas ergogénicas en el mercado son precursores de la testosterona (androstenediona) y se analizan con más detalle más adelante en este capítulo.

No fue hasta la década de 1930 cuando se aisló la testosterona, se sintetizó y más tarde se investigaron sus efectos en el ser humano (61). Los cambios fisiológicos que regula la testosterona la han convertido en una de las drogas de elección para los atletas de fuerza y potencia u otros atletas interesados en aumentar la masa muscular (121). No obstante, la testosterona en sí es una ayuda ergogénica muy deficiente. Se produce una rápida degradación cuando la testosterona se administra por vía oral o inyectada (256). Por tanto, fue necesaria la modificación química de la testosterona para retardar el proceso de degradación a fin de lograr efectos anabolizantes y andrógenos con menores concentraciones y aportar durante más tiempo concentraciones eficaces en la sangre (256). Se desarrollaron muchos derivados de la testosterona desde 1940 hasta 1960 (207); una vez se producen estas modificaciones, el consumo de esteroides anabolizantes por vía oral o inyectados resulta posible. En años recientes, la administración de esteroides anabolizantes mediante cremas, geles de aplicación tópica y parches cutáneos ha crecido en popularidad, sobre todo por razones médicas. Sin embargo, las vías más usadas para la administración a los atletas son por vía oral e inyectada (121). En la tabla 11.1 aparece una lista de esteroides anabolizantes inyectables.

TABLA 11.1 Tipos de esteroides anabolizantes usados por atletas

Nombre genérico o categoría	Ejemplos de nombres comerciales
Esteroides oralmente activos	
Metandrostenolona	Dianabol
Oxandrolona	Anavar
Estanozolol	Winstrol

Oximetolona	Anadrol 50
Fluoximesterona	Halotestin
Metiltestosterona	Metandren
Mesterolona	Proviron
Esteroides inyectables	
Esteres de testosterona*	Depo-testosterone
Esteres de nandrolona*	Deca-Duurabolin
Estanozolol	Winstrol
Enantato de metenolona	PrimobolanDepot
Undecilenato de boldenona	Equipoise
Acetato de trenbolona	Finaject

*Estas son categorías genéricas de sustancias; existen muchas preparaciones diferentes.

Dosis

Los atletas suelen utilizar esteroides anabolizantes en un régimen de «**apilamiento**», en que se administran al mismo tiempo varios fármacos simultáneamente (187). La razón del apilamiento es aumentar la potencia de cada droga por su efecto aditivo. Es decir, la potencia de un agente anabolizante mejora en ocasiones cuando se consume simultáneamente con otro agente anabolizante. La investigación sobre este tema es limitada y todavía no se ha demostrado la eficacia de una forma u otra. Las personas consumen compuestos orales e inyectables. La mayoría de los consumidores toman esteroides anabolizantes siguiendo un patrón cíclico, lo que significa que consumen los fármacos durante varias semanas o meses y alternan esos ciclos con períodos de consumo discontinuo (187). A menudo los usuarios se administran el fármaco siguiendo un patrón en pirámide por el cual las dosis se incrementan de forma continuada durante las horas siguientes (121). Hacia el final del ciclo, el atleta «disminuye escalonadamente» las dosis para reducir la posibilidad de que haya efectos secundarios negativos. En este punto, algunos atletas interrumpen el consumo de drogas o inician otro ciclo con distintos fármacos (p. ej., drogas que aumentan la producción de testosterona endógena con el fin de prevenir el descenso indeseable en las concentraciones de testosterona que sigue a la retirada de los agentes farmacológicos). Un estudio demostró que el típico régimen de esteroides implicaba una media de 3,1 agentes, con un típico ciclo de 5 a 10 semanas

(187). La dosis administrada al atleta varió entre 5 y 29 veces por encima de las dosis de reposición fisiológica (187). Estas dosis farmacológicas más altas parecen ser necesarias para que se manifiesten las mejoras que desean los atletas. En uno de los primeros estudios sobre la curva de respuesta a la dosis de los esteroides anabolizantes, Forbes (81) demostró que la dosis total de esteroides anabolizantes presentaba una relación logarítmica respecto a los incrementos de la masa corporal magra; dosis bajas solo obtenían ligeros efectos, aunque había un aumento progresivo de la masa corporal magra con dosis cada vez mayores. Estos resultados reforzaron la convicción entre los atletas de que si una dosis baja era eficaz, una dosis mayor tenía que ser mejor.

Los atletas suelen emplear dosis más altas de las sustancias que se prescriben a varones con niveles bajos de testosterona. La metandrostenolona, por ejemplo, mantiene las características sexuales secundarias normales de los hombres hipogonadales mediante una dosis de reposición de aproximadamente 15 mg/día; los atletas han registrado un consumo de hasta 300 mg/día (88). Esta droga oralmente activa no está disponible para uso médico en Estados Unidos desde hace más de una década, pero sigue estando disponible en el mercado negro. El enantato de testosterona es un éster de testosterona y también un esteroide inyectable disponible en Estados Unidos, el cual se usa clínicamente en algunas enfermedades poco corrientes y para tratamientos de reposición. Una dosis de reposición consiste aproximadamente en 75 a 100 mg/semana, administrada cada una o dos semanas. Los esteroides inyectables se administran por vía intramuscular, habitualmente con inyecciones profundas en los glúteos. También son más potentes que los esteroides orales por su vía de administración, y quizá también porque no requieren una modificación adicional para protegerlos de su metabolización inmediata en el hígado. Los compuestos inyectables presentan gran diversidad de hemividas. Entre los ésteres de testosterona, el propionato de testosterona sigue en circulación aproximadamente 1,5 días, mientras que el buciclato de testosterona aún se mantiene tres meses después con una sola inyección (18).

¿Quién consume esteroides anabolizantes?

Se cree que los atletas (sobre todo los atletas de fuerza) cuyos objetivos son mejorar el rendimiento atlético son los principales usuarios de los esteroides anabolizantes. George J. Mitchell, exsenador de Estados Unidos, en el

famoso «Informe Mitchell» de 2007 afirmó que el consumo de esteroides andrógenos-anabolizantes por jugadores de la Liga Nacional de Béisbol en Estados Unidos era generalizado (49). Antes de esta revelación sobre el consumo de esteroides anabolizantes entre los atletas, informes previos que se remontan a los Juegos Olímpicos de 1952 y 1956 ya denunciaban el uso sistemático de andrógenos entre los miembros del equipo soviético de halterofilia (49). También se ha documentado en otros países el consumo de esteroides anabolizantes amparado por el Estado. En la antigua República Democrática Alemana, tras la caída del gobierno comunista en 1990, documentos desclasificados revelaron la existencia de un programa secreto que se inició en 1966 para mejorar el rendimiento atlético nacional mediante el consumo de andrógenos (49, 86). En Estados Unidos también se ha documentado un consumo extendido entre *powerlifters* (59), jugadores de la Liga Nacional de Fútbol Americano (125) y atletas universitarios (167). Aunque los resultados de varias encuestas sugieren que el consumo de esteroides anabolizantes parece haber declinado las últimas décadas (133, 238), hoy en día son uno de los principales problemas en el deporte por las acusaciones sobre un consumo extendido en muchos deportes durante los últimos años (84).

Los atletas de fuerza no son los únicos usuarios de los esteroides anabolizantes. Las personas ajenas a los deportes organizados emplean los esteroides para mejorar su aspecto y no el rendimiento (66). Las encuestas nacionales a varones universitarios estadounidenses en último año de carrera demostraron que aproximadamente el 7% estaban consumiendo, o habían consumido, esteroides anabolizantes (14, 39). Un tercio de los usuarios confesos de consumir esteroides no practicaban deportes universitarios y más de una cuarta parte de ellos afirmaron que su principal razón para consumir esteroides fue mejorar su aspecto y no su rendimiento atlético. Pope (191, 193) describió una subserie de fisioculturistas con una imagen alterada de sí mismos, ya que se veían pequeños y débiles a pesar de ser corpulentos y musculosos. Estas personas utilizaron sustancias ergogénicas y entrenamiento con pesas para aumentar el tamaño corporal. Pope llama a esta afección «anorexia nerviosa inversa», que también se conoce como **dismorfia muscular**. Estos fisioculturistas parecen ser sustancialmente distintos de los atletas competitivos en lo que se refiere a sus objetivos, a los riesgos sustanciales para la salud que algunos están dispuestos a correr y a sus estrategias por usar dosis extremadamente grandes de esteroides

anabolizantes. Este fenómeno tal vez sugiere por qué las enfermedades más graves asociadas con el consumo de esteroides se han concentrado casi exclusivamente entre los fisioculturistas y no en otros atletas que consumen esteroides (88).

Eficacia

Los supuestos beneficios ergogénicos habitualmente atribuidos al consumo de esteroides anabolizantes son el aumento de la masa muscular, la fuerza y el rendimiento atlético, sobre todo en deportes que exigen niveles máximos de fuerza. Cuando se consumen esteroides anabolizantes en dosis suprafisiológicas, se manifiestan estos beneficios ergogénicos (27, 240). El grado y la incidencia de estos cambios son variables, dependiendo en gran medida, entre otros factores, del estado de entrenamiento del individuo (27).

Masa muscular y fuerza Una de las razones principales por la que atletas y no atletas consuman esteroides anabolizantes es que aumenta la masa muscular y la fuerza máxima. Si se producen tales mejoras, el rendimiento mejora en el terreno de juego, aunque todas las demás variables se mantengan constantes. Cuando los esteroides anabolizantes se administran en dosis parecidas a las empleadas por los atletas de competición y los que siguen un entrenamiento recreativo, se aprecian incrementos en la síntesis de proteínas musculares (106). Estos incrementos en la síntesis de proteínas probablemente sean responsables de los aumentos observados en la masa corporal magra de atletas entrenados recreativos y competitivos que consumían esteroides anabolizantes (111, 113, 153, 240, 250). Incluso cuando se administraron esteroides anabolizantes a hombres adultos normales que no practicaban ningún entrenamiento intenso de fondo, se observaron incrementos en la masa corporal, como el tejido magro (27, 82, 88, 252). La extensión que alcanzan las mejoras de la masa corporal magra y de la fuerza máxima con el consumo de esteroides anabolizantes se ha documentado en la literatura científica en el estudio de un caso (2). En este estudio, un fisioculturista varón, adulto y de nivel internacional se inyectó hormonas andrógenas (en dosis de 53 mg/día) durante un año de entrenamiento que solo incluyó un período de abstinencia de cuatro semanas a mitad de año. Durante este período, el fisioculturista ganó unos 7 kg de tejido magro, aumentó en seis meses un 11% el área media de las fibras del músculo vasto lateral, e incrementó significativamente su fuerza máxima. Pese a estas mejoras en la

masa y fuerza musculares, la salud del individuo se vio afectada negativamente. En concreto, después de la retirada del fármaco, el sujeto experimentó atrofia testicular y niveles bajos de hormona luteinizante, hormona folicular y testosterona. También bajó significativamente el nivel de colesterol ligado a las lipoproteínas de alta densidad (HDL), lo cual manifiesta un mayor riesgo de aterogénesis. (Véase más información sobre las consecuencias para la salud derivadas del consumo de esteroides anabolizantes en el apartado «Efectos indeseables»).

Durante cierto tiempo se postuló que los incrementos en la masa corporal con el consumo de andrógenos se debían a un aumento de la presencia de agua en el cuerpo (113). Es de esperar un aumento del agua corporal total con un incremento de la masa muscular, dado que el agua es responsable de la mayor parte del peso celular; sin embargo, se ha postulado que los esteroides anabolizantes tal vez también causen retención de agua al aumentar el volumen intersticial y extracelular. Aunque la retención de agua tal vez explique por qué no todo el aumento de peso se mantiene al cesar el consumo de esteroides anabolizantes, este aspecto todavía no se comprende del todo. En un estudio con fisioculturistas experimentados, la administración durante un ciclo de ocho semanas de decanoato de nandrolona (200 mg/semana, intramuscular) posibilitó un aumento significativo de 2,2 kg en la masa corporal, un incremento de 2,6 kg en la masa magra y un decremento de 0,4 kg en la masa adiposa, sin cambio en la hidratación de la masa magra (240). Por lo demás, la relación de agua extracelular e intracelular no sufrió ningún cambio. Incluso después de seis semanas de consumo discontinuo de andrógenos, la masa corporal de los fisioculturistas siguió siendo significativamente mayor que la de los niveles iniciales de referencia (1,6 kg más), aunque no se apreciaron cambios en la hidratación. El aumento de la masa magra y la posible reducción de la masa adiposa tal vez duren varios meses tras el cese de su consumo (82) (figura 11.2). Por tanto, los atletas tal vez obtengan beneficios del consumo de esteroides incluso si dejan de tomar las drogas el tiempo suficiente antes de la competición para dar negativo en las pruebas antidopaje. Esta es la razón de que las pruebas antidopaje sin avisar a lo largo del año para ciertos atletas de elite sean importantes para la prevención de un consumo ilegal de fármacos.

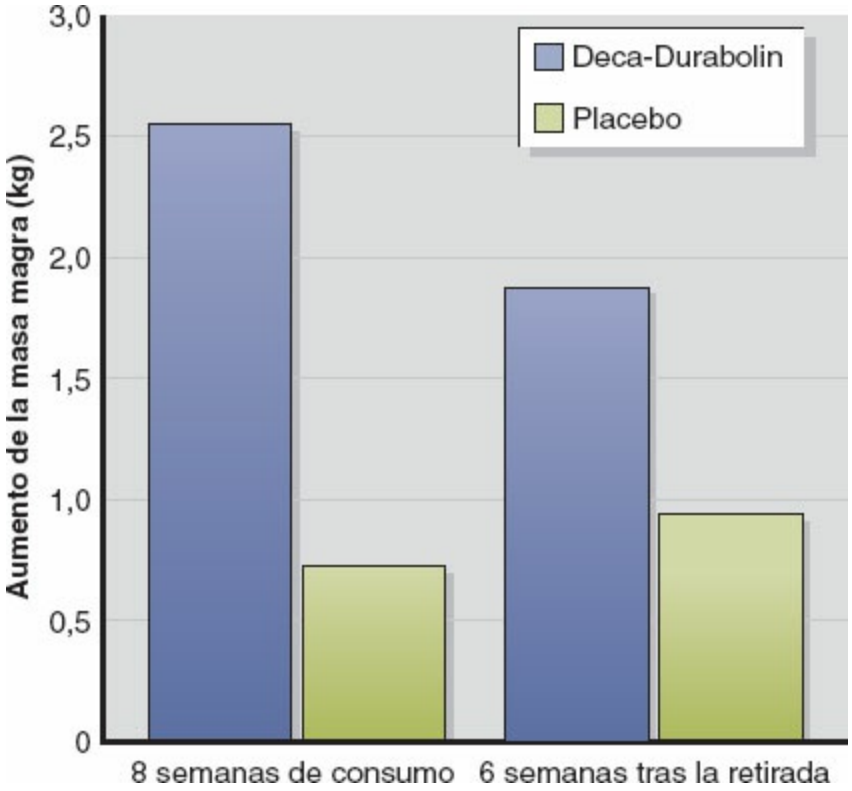


FIGURA 11.2 Cambios en la masa corporal magra con la administración de esteroides anabolizantes y tras la retirada del fármaco.

Fuente: Datos de Forbes, Porta, Herr y Griggs, 1992 (82).

Rendimiento atlético En principio, los investigadores que examinaron la ergogenicidad de los esteroides anabolizantes administrados exógenamente no fueron capaces de apreciar efectos significativos en el rendimiento (75, 85, 161, 223). Por consiguiente, la comunidad científica y médica sugirió que los esteroides anabolizantes tenían poca influencia sobre el rendimiento atlético. Esto, sin embargo, contradecía los informes anecdóticos procedentes de gimnasios y centros de entrenamiento, que mostraban grandes mejoras en la fuerza de los atletas. Al examinar más a fondo los estudios iniciales, fueron evidentes varios fallos metodológicos. Varios de estos estudios emplearon dosis fisiológicas, al contrario que las dosis suprafarmacológicas habitualmente consumidas por los atletas que se autoadministran andrógenos. En lo esencial, estos sujetos fueron suprimiendo su producción endógena y la remplazaron por un esteroide anabolizante exógeno. Otro fallo en alguna de estas investigaciones fue el método de evaluación de la fuerza. En varios estudios se evaluó el rendimiento de la fuerza mediante un modo de ejercicio diferente al estímulo del entrenamiento. Esta falta de especificidad probablemente enmascaró cualquier posible efecto del entrenamiento.

Además, varios estudios usaron sujetos con una mínima experiencia en el entrenamiento resistido (85, 223). Cuando se administran andrógenos exógenos a deportistas con experiencia en el entrenamiento resistido, se registran habitualmente mejoras significativas de la fuerza (3, 113, 217, 250). Las mejoras de la fuerza en atletas de fuerza con experiencia por lo general son más pequeñas respecto a las documentadas en halterófilos novatos; sin embargo, cuando los atletas de fuerza consumen esteroides anabolizantes, sus mejoras en la fuerza en ocasiones doblan o triplican las habituales en atletas similarmente entrenados pero que no toman suplementos (113, 240, 250).

Los supuestos beneficios ergogénicos habitualmente atribuidos al consumo de esteroides anabolizantes son el aumento de la masa muscular, la fuerza y el rendimiento atlético, aunque estos cambios dependen del estado de entrenamiento del individuo.

Efectos psicológicos

El consumo de esteroides anabolizantes también se asocia con cambios en los niveles de agresividad, motivación e irritabilidad (174). En la Alemania del Este supuestamente se usaron esteroides anabolizantes con este fin, suministrando altas dosis de esteroides al sistema nervioso central por la nariz. El tema todavía no ha sido bien estudiado, pero informes anecdóticos sugieren que esta práctica aumentaba mucho la agresividad y mejoraba el rendimiento de los atletas (65). Una mayor motivación y autoestima pueden ser un efecto secundario positivo del empleo de esteroides anabolizantes. El aumento de la agresividad tal vez también se considere un beneficio, sobre todo para los atletas que practican deportes de contacto.

Sin embargo, es posible que el aumento de la agresividad no se confine solo al rendimiento atlético. Los consumidores de esteroides anabolizantes que experimentan un aumento de la agresividad tal vez supongan un peligro para sí mismos y para aquellos con los que conviven (183, 192). Los esteroides anabolizantes también se asocian con cambios bruscos de humor y con episodios psicóticos. Los estudios han demostrado que casi el 60% de los consumidores de esteroides anabolizantes experimentan incrementos de la irritabilidad y la agresividad (192). Pope (194) registró un aumento significativo de la agresividad y de las puntuaciones en la escala para la evaluación de la manía tras 12 semanas de administración de inyecciones de cipionato de testosterona en un estudio transversal a doble ciego. Resulta interesante que los resultados de este estudio no fuesen uniformes entre los

sujetos. La mayoría de los individuos mostraron pocos efectos psicológicos y pocos de ellos manifestaron efectos destacados. Todavía hay que identificar una relación de causa y efecto en los consumidores de esteroides anabolizantes, aunque parece ser que las personas que experimentan cambios psicológicos o de la conducta se recuperan cuando se interrumpe el consumo de esteroides (91).

TABLA 11.2 Signos y síntomas del consumo abusivo de ayudas ergogénicas

Sistema afectado	Efectos indeseables
Cardiovascular	Cambios en el perfil lipfdico Hipertensión arterial Disminución de la función miocárdica
Endocrino	Ginecomastia Disminución del recuento de espermatozoides Atrofia testicular Impotencia e infertilidad transitoria
Genitourinario	Hombres Disminución del recuento de espermatozoides Atrofia testicular Disminución del tamaño de los testiculos Mujeres Irregularidades en el ciclo menstrual Clitoromegalia Voz más grave Masculinismo Hombres y mujeres Ginecomastia Cambios en la libido
Dermatológico	Acné Calvicie de patrón masculino
Hepático	Aumento del riesgo de daños y tumores hepáticos
Musculo-esquelético	Cierre prematuro de las láminas epifisarias Aumento del riesgo de roturas tendinosas Abscesos intramusculares
Psicológico	Manías Depresión Agresividad

	Hostilidad Cambios bruscos de humor

Efectos indeseables

En la tabla 11.2 se expone una relación de los efectos indeseables asociados con el consumo de esteroides anabolizantes. Es importante reparar en que existen diferencias entre los efectos secundarios del consumo de esteroides anabolizantes bajo supervisión médica y los asociados con su consumo abusivo (es decir, el consumo de muchos fármacos en dosis altas). La mayor parte de la información concerniente a los cuadros clínicos adversos asociados con el consumo de esteroides anabolizantes se ha documentado en atletas que se autoadministraron dichos fármacos. A su vez, parte de la literatura ha sugerido que quizá se hayan exagerado un tanto los problemas médicos relacionados con los esteroides anabolizantes (26, 258), teniendo en cuenta que muchos de los efectos indeseables relacionados con su abuso son reversibles al cesar su consumo. A nivel anecdótico parece evidente la magnitud desproporcionada del consumo y la incidencia de episodios adversos entre los fisioculturistas (conocidos también por el consumo de otros fármacos —como diuréticos, hormonas tiroideas, insulina y antiestrógenos— que alivian parte de los efectos secundarios, pero que también potencian otros factores de riesgo) en comparación con los atletas de fuerza y potencia.

Precursores de la testosterona (prohormonas)

Las prohormonas son precursores de la síntesis de otras hormonas, y se apunta la hipótesis de que aumentan la capacidad del cuerpo para producir una hormona específica. La base para el consumo de prohormonas como ayuda ergogénica evolucionó a partir de un estudio que mostró un incremento tres veces superior en los niveles de testosterona en mujeres sanas a las que se administraron 100 mg de androstenediona o de dehidroepiandrosterona (163). Es probable que los atletas que se han seguido administrando estos precursores de la testosterona (androstenediona, androstenediol y dehidroepiandrosterona [DEHA]) hagan lo mismo con la idea de aumentar las concentraciones de testosterona, la fuerza, el tamaño muscular y las ganas de entrenar, además de obtener mejoras generales en el rendimiento físico similares a las experimentadas por personas que toman esteroides

anabolizantes. Sin embargo, estos precursores poseen unas propiedades andrógenas relativamente débiles; la androstenediona y la DEHA solo tienen respectivamente una quinta y una décima parte de la actividad biológica de la testosterona (175). No obstante, los precursores de la testosterona pasaron oficialmente a formar parte de la lista de sustancias controladas en la Ley de Control de Esteroides Anabolizantes de 2004 aprobada por el Congreso de Estados Unidos, la cual exige contar con receta médica para consumir estas sustancias.

Los estudios que examinaron la eficacia de los precursores de la testosterona han obtenido resultados variables. Ninguna diferencia significativa en la fuerza o la composición corporal se apreció en hombres de mediana edad sometidos a un entrenamiento resistido suplementado, bien con DHEA, bien con androstenediona (100 mg) o bien con un placebo durante tres meses (248). Cuando se examinó la suplementación con DHEA (150 mg) en un grupo de varones jóvenes (19-29 años) que siguieron dicha suplementación durante dos semanas sí, dos semanas no durante ocho semanas, no hubo mejoras en la fuerza ni en el tejido magro (37). Por lo demás, los investigadores no fueron capaces de apreciar en los casos con suplementación ningún cambio en los niveles de concentración sérica de testosterona, estrona, estradiol o lípidos. Incluso en estudios en que se emplearon dosis más altas (300 mg) de androstenediona durante ocho semanas, siguiendo un protocolo parecido de dos semanas sí y dos semanas no, no se observó ningún efecto significativo en la fuerza, el tamaño muscular ni en las concentraciones de testosterona (144). Sin embargo, la suplementación con androstenediona sí causó un incremento de las concentraciones séricas de estradiol y estrona, y se asoció con niveles más bajos de lipoproteínas de alta densidad (HDL). Estos resultados sugieren que, aunque no se produzcan cambios en el rendimiento de los atletas que toman este suplemento, tal vez corran un mayor riesgo de sufrir alguno de los efectos secundarios negativos asociados con el consumo de esteroides anabolizantes. Broeder (34), en la conclusión de su estudio del Andro Project, en el cual se investigaron las influencias hormonales y fisiológicas de la androstenediona junto con un programa de entrenamiento resistido de alta intensidad, hace la siguiente afirmación:

> Los precursores de la testosterona no estimulan adaptaciones al entrenamiento resistido cuando se consumen en las dosis recomendadas

por los fabricantes. La suplementación con precursores de la testosterona no causa incrementos significativos de los compuestos afines a los estrógenos, de las concentraciones de sulfato de dehidroepiandrosterona, de la regulación decreciente en la síntesis de testosterona ni alteraciones desfavorables de la lipemia y los perfiles de riesgo de arteriopatía coronaria en hombres de 35 a 65 años de edad.

Basándonos en las pruebas científicas, parece como si las prohormonas no llegaran a proporcionar los efectos anabolizantes por lo general asociados con los andrógenos (36). Sin embargo, los estudios científicos se han centrado casi exclusivamente en solo unos pocos suplementos de prohormonas, como DHEA, androstenediol, 19-norandrostenediona y 19-norandrostenediol. Hay muchos otros suplementos de prohormonas en el mercado que no se han estudiado en atletas muy entrenados. Por lo demás, la administración oral ha sido el método primario para el consumo de prohormonas. El consumo oral de prohormonas tal vez no sea tan eficaz como otros medios de consumo (p. ej., inyecciones), todo lo cual sugiere que todavía se necesitan estudios continuados de la eficacia de los precursores de la testosterona con el fin de mejorar el rendimiento, específicamente, la exploración de otras vías de ingestión en atletas competitivos entrenados.

Gonadotropina coriónica (HCG)

La gonadotropina coriónica humana (HCG, *Human Chorionic Gonadotropin*) es una hormona obtenida de la placenta de las mujeres embarazadas y está estrechamente relacionada en su estructura y función con la hormona luteinizante. De hecho, es el indicador del embarazo usado por los kits de prueba de embarazo que venden en las farmacias, dado que habitualmente no se encuentra en el cuerpo en ningún otro momento. En la población general, a veces se inyecta HCG a mujeres con sobrepeso y bajo supervisión médica junto con dietas hipocalóricas con el propósito de adelgazar (99). Los estudios de investigación sugieren que, cuando se usa con este propósito, la HCG no es eficaz para inducir la pérdida de peso. La restricción calórica que acompaña a las inyecciones de HCG parece ser el principal factor contribuyente a la pérdida de peso asociada (99).

Ejemplos de suplementos con prohormonas prohibidos

Esta lista contiene algunos ejemplos de prohormonas que han sido prohibidas como parte de la Ley de Control de Esteroides Anabolizantes de 2004, si bien no es una lista exhaustiva.

- Androstanediol
- Androstanediona
- Bolasterona
- Metiltestosterona
- Norandrostenediol
- Norandrostenediona
- 19 nor-4-androstenediol
- 19-nor-5-androstenediol
- 1-testosterona

Eficacia

Mientras que la HCG no ofrece a las mujeres la posibilidad de mejorar el rendimiento, se cita anecdóticamente su utilidad para los hombres que consumen esteroides anabólicos. Cuando se inyecta en hombres, la HCG incrementa la producción de testosterona testicular; los niveles de testosterona casi se doblan cuatro días después de recibir una inyección intramuscular grande (54). La actividad de la HCG en el cuerpo del hombre se debe a su capacidad para imitar la hormona luteinizante, una hormona de la hipófisis que estimula a las células de Leydig presentes en los testículos para que fabriquen testosterona (160). La razón por la que los hombres querrían inyectarse HCG para aumentar los niveles de testosterona endógena es que la producción de esta se suprime al final de un ciclo de esteroides (173, 176). Por esa razón, si se usa HCG, probablemente lo hagan quienes están acabando un ciclo de esteroides anabolizantes con la intención de activar su propia producción de testosterona endógena.

Efectos indeseables

La gonadotropina coriónica se administra en forma de inyección subcutánea o intramuscular; los efectos secundarios habituales tras su administración son dolor, edema y sensibilidad dolorosa al tacto en el lugar de la inyección. Hay muy pocos estudios sobre los efectos secundarios de las inyecciones de HCG. En una investigación en que se inyectó HCG a mujeres obesas, no se registraron efectos indeseables respecto a la tensión arterial o el hemograma de rutina (218).

Insulina

La insulina es una potente hormona anabólica. Es secretada por el páncreas en respuesta a elevaciones de la glucemia o las concentraciones de un aminoácido específico (p. ej., leucina). Su papel es facilitar la captación de glucosa y aminoácidos dentro de la célula. Como la insulina incrementa la síntesis de proteínas, se considera una hormona anabólica.

Eficacia

Cuando las concentraciones de insulina se elevan de forma natural (es decir, endógenamente por el páncreas tras la ingestión de hidratos de carbono), no hay problemas de seguridad en personas por lo demás sanas. Además, varios informes revelan que la ingestión de hidratos de carbono tras el entrenamiento suprime el catabolismo de las proteínas musculares a través de los efectos anticatabólicos de la insulina (32, 201). En teoría, si se anula la destrucción de proteínas durante varias semanas o meses, resulta posible el aumento de la masa muscular magra.

Efectos indeseables

Debido a las propiedades anabólicas de la insulina y su rumoreada capacidad para potenciar los efectos de la hormona del crecimiento y de los factores de crecimiento insulinoides, algunas personas (sobre todo los fisioculturistas) se la administran mediante inyecciones. El consumo de insulina de esta manera conlleva consecuencias graves. Posibles resultados en atletas previamente sanos son muerte inminente, coma o desarrollo de diabetes insulinodependiente (160).

Hormona del crecimiento humano

La **hormona del crecimiento humano** (HGH, *Human Growth Hormone*) o somatotropina, una proteína secretada por la adenohipófisis, cumple varias funciones fisiológicas importantes que mejoran su efecto ergogénico. Es anabólica debido a que estimula el crecimiento óseo y del músculo esquelético, pero también desempeña importantes funciones metabólicas, como mantener la glucemia, aumentar la captación de glucosa y aminoácidos por las células musculares (80), y estimular la liberación de ácidos grasos de los adipocitos.

La fuente farmacológica primaria de la hormona del crecimiento es una molécula relativamente complicada que se puede sintetizar usando la

tecnología del ADN recombinante. Sin embargo, hasta 1986, la única fuente de la hormona era la hipófisis de cadáveres. Como los receptores de la HGH son incapaces de tener una reacción cruzada con la hormona del crecimiento de fuentes animales, el coste financiero de la HGH era muy alto antes de 1986. Aunque el uso de la hormona del crecimiento de cadáveres no estaba libre de riesgos significativos para la salud, estas consecuencias no impidieron que los atletas tomaran el suplemento, aunque solo de manera sustancialmente restringida (121). El desarrollo de la HGH recombinante proporcionó a los médicos un fármaco de riesgo relativamente bajo a un coste menor (comparado con la hormona del crecimiento de cadáveres) y una mayor disponibilidad. Los médicos ahora pueden prescribir HGH recombinante para aumentar la estatura de niños bajos con un déficit de la hormona del crecimiento y alterar la composición corporal de los adultos. Se cree que el empleo de HGH como sustancia para mejorar el rendimiento está extendido entre los atletas profesionales; se toma sola o combinada con esteroides anabolizantes (17). Aunque la tecnología recombinante haya aumentado la disponibilidad de la HGH, su coste, sobre todo en el mercado negro, es muy elevado: entre varios cientos y algunos miles de dólares al mes. Humatrope, Nutropin, Norditropin, Genotropin, Serostim, Saizen y Protropin son marcas comerciales de HGH habitualmente consumidas en Estados Unidos.

Eficacia

Parece ser que no hay estudios sobre la eficacia de la HGH en los atletas profesionales. La mayoría de las investigaciones sobre la HGH se han centrado en ella como terapia sustitutiva para adultos o niños con déficit de la hormona del crecimiento, o para personas ancianas sanas. Estos estudios han mostrado de forma sistemática alteraciones positivas de la composición corporal (incrementos del tejido corporal magro y disminución de la grasa corporal) (79, 120, 204, 228). En hombres con déficit confirmado de la hormona del crecimiento, las inyecciones por la noche de HGH recombinante durante seis meses consiguieron un incremento medio de 5,4 kg de la masa corporal magra y una cantidad similar de pérdida de grasa (204). La mayoría de los estudios no han abordado el efecto del tratamiento con la HGH sobre la fuerza muscular y el rendimiento. Un estudio no registró cambios en la fuerza isocinética después de 12 meses de tratamiento (120). Sin embargo, los sujetos de ese estudio no realizaron ningún entrenamiento resistido

durante el curso del tratamiento. Un estudio con adultos entrenados a los que se administró la hormona del crecimiento (tres días semanales durante seis semanas) registró cambios modestos en la composición corporal, si bien no se practicó ninguna evaluación inicial de la fuerza (58). Aunque la literatura científica no respalde la eficacia de la HGH en poblaciones atléticas, es probable que la incapacidad para realizar tales estudios (debido a restricciones éticas) limite mucho nuestro conocimiento de la HGH y el rendimiento humano. Años atrás, el consumo de HGH por atletas tal vez fuera prevalente en algunos deportes profesionales por su eficacia percibida y por el hecho de que no se podía detectar en **análisis antidopaje aleatorios**. En la actualidad, la HGH no es detectable en la orina con estos análisis y tal vez los atletas opten por su empleo por este motivo; sin embargo, fue en los Juegos Olímpicos de verano de 2004 en Atenas, Grecia, cuando se introdujo por vez primera un análisis de sangre para detectar la HGH.

La hormona del crecimiento es una molécula proteica. Su inyección es necesaria para evitar su completa metabolización y para mantener su eficacia. Su ingesta oral no aporta ningún beneficio. Muchas de las acciones de la hormona del crecimiento son mediadas por el factor de crecimiento insulinoide tipo I (IGF-I), otra hormona péptida que produce y secreta el hígado como respuesta a la estimulación de la hormona del crecimiento. El factor de crecimiento insulinoide tipo I se está sintetizando actualmente mediante tecnología de ADN recombinante y es probable que produzca los mismos efectos que la HGH.

Efectos indeseables

El consumo de HGH presenta, sin embargo, algunos riesgos potenciales significativos para la salud. La secreción excesiva de la hormona del crecimiento durante la infancia provoca gigantismo, una afección que hace que las personas crezcan hasta una talla anormal. Pasada la pubertad, una vez terminado el crecimiento lineal, la secreción excesiva de la hormona del crecimiento causa **acromegalia**, una enfermedad desfigurante caracterizada por el ensanchamiento de los huesos, artritis, engrandamiento de los órganos y anomalías metabólicas. Este es un riesgo potencial para los atletas que consumen HGH como ayuda ergogénica. Además, estos efectos secundarios tal vez indiquen qué atletas pueden estar consumiendo este fármaco. En los estudios clínicos sobre adultos con déficit de la hormona del crecimiento, los efectos secundarios parecen ser mínimos durante hasta dos años de terapia

sustitutiva (1, 120, 237). Sin embargo, los atletas que toman suplementos con HGH suelen consumir dosis que superan con mucho las dosis habitualmente administradas en los tratamientos sustitutivos (17). Por tanto, no hay que asumir que el consumo de HGH sea benigno respecto a cuadros clínicos adversos en las dosis habitualmente usadas por la población atlética. Los efectos secundarios indeseables del consumo abusivo de HGH son diabetes en personas con propensión, disfunción cardiovascular, dolor muscular, óseo o articular, hipertensión, crecimiento anormal de los órganos y osteoartritis acelerada (17).

Aunque la hormona del crecimiento humano como terapia sustitutiva para personas con déficit de IGF-I pueda resultar eficaz y tenga mínimas consecuencias indeseables, las dosis que es probable que usen los atletas suponen un riesgo significativo de sufrir acromegalia.

Eritropoyetina

Uno de los factores limitadores para el rendimiento de fondo es la capacidad de los atletas para suministrar oxígeno al músculo esquelético que se contrae. A lo largo de los años se han desarrollado varios métodos con el fin de aumentar la capacidad del cuerpo para suministrar oxígeno. Algunos métodos comprenden programas de entrenamiento novedosos que elevan naturalmente los niveles de glóbulos rojos y hemoglobina (es decir, entrenamiento en altura), mientras que otros métodos implican medios sintéticos para elevar la capacidad transportadora de oxígeno de la sangre (es decir, dopaje en sangre). El dopaje sanguíneo aumenta la masa celular de eritrocitos y se suele practicar mediante transfusiones sanguíneas o consumiendo una hormona llamada eritropoyetina. Mediante transfusiones de sangre, dos son las formas de dopaje sanguíneo: autólogo y homólogo. El dopaje sanguíneo *autólogo* es la transfusión de la propia sangre, que se almacena (refrigerada o congelada) hasta que es necesaria. El dopaje sanguíneo homólogo es la transfusión de sangre de otra persona con el mismo tipo sanguíneo. Desde finales de la década de 1980, el dopaje en sangre mediante transfusiones de sangre autóloga ha dado un paso atrás frente a otro método más popular, la administración de eritropoyetina humana recombinante (47).

La **eritropoyetina (EPO)** se produce en los riñones y estimula la producción de eritrocitos nuevos. También es una hormona proteica que es posible fabricar con técnicas de ADN recombinante y que se sabe que ha sido

objeto de un consumo abusivo por atletas (72). El consumo de eritropoyetina fue uno de los métodos de dopaje que Lance Armstrong admitió haber utilizado en su vida de ciclista. El nivel de EPO en la sangre aumenta como respuesta al ejercicio crónico de resistencia aeróbica. En ciertos tipos de anemia, sobre todo en pacientes con afección renal con una producción inadecuada de EPO, la EPO humana recombinante mejora la calidad de vida de estas personas.

Eficacia

Las inyecciones de EPO se asocian por lo general con elevaciones del hematocrito y la hemoglobina. Cuando se administró EPO a hombres normales durante seis semanas de tratamiento, los niveles del hematocrito se incrementaron del 44,5% al 50%; las concentraciones del hematocrito aumentaron un 10%; la capacidad aeróbica aumentó entre un 6% y un 8%, y el plazo de tiempo hasta el agotamiento mejoró hasta un 17% (25, 73). La mejora de la capacidad transportadora de oxígeno de la sangre hace de la EPO una ayuda ergogénica eficaz para los atletas de resistencia aeróbica.

Efectos indeseables

Aunque el uso supervisado médicamente de EPO aporte un beneficio terapéutico para el tratamiento de la anemia relacionada con pacientes con nefropatías, su administración incorrecta conlleva graves riesgos para la salud de los atletas que consumen esta sustancia tan solo para lograr una ventaja competitiva. El aumento del hematocrito con inyecciones de EPO representa un riesgo significativo para la salud. El aumento del número de glóbulos rojos eleva la viscosidad de la sangre (espesamiento). Esto presenta varios problemas, como el aumento del riesgo de coagulación sanguínea, la elevación de la tensión arterial sistólica y casos de embolia cerebral o pulmonar (95). Durante pruebas de resistencia aeróbica, el problema adicional de la deshidratación elevaba los riesgos cardiovasculares al eliminar cualquier margen de seguridad en el equilibrio entre las ventajas para el rendimiento generadas por un aumento artificial del hematocrito y los inconvenientes por el aumento de la viscosidad de la sangre. Las muertes de varios ciclistas de competición se han vinculado con la administración de EPO (95). El riesgo primario asociado con la EPO es su falta de previsibilidad en comparación con la infusión de glóbulos rojos. Una vez que

se inyecta EPO en el cuerpo, el estímulo para producir glóbulos rojos ya no está bajo control. Por consiguiente, los atletas de resistencia aeróbica deberían evitar este fármaco por el significativo riesgo cardiovascular y por ser una posible causa de defunción.

Agonistas adrenérgicos ß

Los agonistas adrenérgicos ß sintéticos o **agonistas ß**, son sustancias químicamente relacionadas con la adrenalina, una hormona producida en la médula suprarrenal que regula los efectos fisiológicos, como la **lipólisis** (el catabolismo de grasas) y la **termogénesis** (aumento del gasto de energía que deriva en la producción de calor). Los agonistas ß se desarrollaron originalmente para el tratamiento del asma y otras enfermedades potencialmente mortales. Se ha hallado que algunos de estos compuestos tienen efectos específicos sobre la composición corporal, como incrementos en la masa magra y decrementos de la grasa almacenada (195); por eso estos fármacos a veces reciben el nombre de *agentes de partición* (24). Uno de los agonistas ß más populares que consumen los atletas es el clembuterol (195).

Eficacia

El clembuterol es un agonista $ß_2$ y también un broncodilatador ampliamente usado (para invertir la restricción bronquial) en muchas partes del mundo. Los atletas consumen clembuterol como ayuda ergogénica para aumentar la masa muscular magra y reducir la grasa subcutánea (195). Los datos sobre la eficacia del clembuterol se han basado, no en los atletas sanos, sino en sujetos con insuficiencia cardíaca (138), pacientes que experimentan atrofia muscular progresiva (165) y modelos animales (162, 164). Aunque los estudios en humanos sean limitados, varios datos han revelado el potencial ergogénico de los agonistas $ß_2$ para la mejora de la fuerza (164, 166). Los atletas suelen consumir clembuterol en dosis que doblan la cantidad recomendada y administrada con fines clínicos, de una forma cíclica (tres semanas alternando con tres semanas sin dosis, con un ciclo de dos días sí y dos días no, durante las semanas de tratamiento) (195). Se cree que este régimen cíclico evita la regulación decreciente de los receptores $ß_2$ (160).

Efectos indeseables

Los atletas consumen clembuterol en cápsulas, a diferencia de la vía de inhalación que a menudo se emplea para aliviar la constricción bronquial. Aunque se han sugerido diversos potenciales efectos secundarios (taquicardia transitoria, hipertermia, temblores, mareos, palpitaciones e insomnio), los episodios documentados son bastante limitados (160). La escasez de datos sobre la capacidad ergogénica potencial del clembuterol en los humanos hace difícil determinar su eficacia.

Bloqueadores ß

Los bloqueadores ß son una clase de fármacos que bloquean los receptores adrenérgicos ß, impidiendo la unión de las catecolaminas (noradrenalina y adrenalina). Los cardiólogos suelen prescribir bloqueadores ß para el tratamiento de gran variedad de enfermedades cardiovasculares, como la hipertensión. Los beneficios ergogénicos de estos fármacos radican en su capacidad para reducir la ansiedad y los temblores durante las actuaciones (155). Por tanto, los atletas que precisan movimientos firmes y controlados durante sus actuaciones (arqueros o tiradores) deberían beneficiarse de estos fármacos. Además, los bloqueadores ß tal vez mejoren las adaptaciones fisiológicas del entrenamiento de resistencia aeróbica mediante una regulación creciente de los receptores ß. Si esto fuese cierto, se produciría una respuesta exagerada a la descarga simpática durante un ejercicio intenso tras el cese de la suplementación.

Eficacia

Varios estudios han demostrado que los bloqueadores ß mejoran la precisión de los tiradores al disparar rápido o lento (7, 152). Además, la dosis consumida parece tener efectos significativos sobre la magnitud de la mejoría. En tiradores a quienes se administraron bloqueadores ß en dos dosis diferentes (80 mg frente a 40 mg de oxprenolol), el grupo que tomó la dosis más alta disparó con más precisión (7). En algunos deportes, cierto grado de ansiedad puede ser importante. Tesch (229) documentó que los jugadores de bolos cuyo rendimiento mejoró durante el bloqueo con oxprenolol tuvieron una frecuencia cardíaca significativamente más elevada antes, durante y después de la competición que los sujetos cuyo rendimiento no mejoró con los bloqueadores ß.

Efectos indeseables

Los bloqueadores ß tal vez también tengan un efecto **ergolítico** (merman el rendimiento). Los estudios han demostrado que alteran la respuesta cardiovascular al ejercicio al reducir la frecuencia cardíaca máxima, el consumo de oxígeno y la marca en carreras de 10 km (6). Además, se asocian con un aumento del índice de percepción del esfuerzo (229). Los riesgos asociados con estos fármacos comprenden broncoespasmo, insuficiencia cardíaca, hipoglucemia prologada, bradicardia, bloqueo cardíaco y claudicación intermitente (89).

Suplementos dietéticos

La industria de los suplementos deportivos en todo el mundo sigue creciendo; el mercado global de la nutrición deportiva alcanzó un total de 20,7 mil millones de dólares en 2012 y se espera que alcance un valor de más de 37 mil millones de dólares en el año 2019 (235). Algunas compañías de nutrición deportiva hacen afirmaciones sin fundamento sobre la eficacia de sus productos. En ocasiones, empresas con pocos escrúpulos han puesto en circulación y a sabiendas sustancias análogas a otras prohibidas en sus productos para mejorar sus efectos (50). Como resultado, ha reinado la confusión entre los atletas para discernir los suplementos apropiados y las empresas éticas. Esta sección describe los suplementos dietéticos que suelen consumir los atletas y presenta un análisis científico de su eficacia.

Aminoácidos esenciales, aminoácidos de cadena ramificada

Los **aminoácidos esenciales (AAE)** no se producen en el cuerpo y se deben obtener de los alimentos. Aminoácidos esenciales son la isoleucina, leucina, valina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina y triptófano. Se hallan niveles altos de AAE en muy diversas proteínas de origen animal o como suplementos sin receta médica. La leucina también se encuentra en plantas como las espinacas y el brécol, pero en cantidad mínima en comparación con las fuentes de origen animal.

Eficacia

Los científicos han sido capaces de diferenciar varias categorías de

aminoácidos, así como aminoácidos individuales y su papel para estimular la síntesis de proteínas musculares. Por ejemplo, Tipton (230, 231) registró que los aminoácidos no esenciales no eran necesarios para estimular la síntesis de proteínas musculares, y que solo era necesaria la presencia de AAE. En este estudio (230), seis adultos sanos (tres varones y tres mujeres) participaron en un ejercicio resistido (ocho series de ocho repeticiones al 80% de 1 repetición máxima [1RM]) y luego consumieron 40 g de aminoácidos mixtos (esenciales y no esenciales), 40 g de AAE o un placebo. Aunque los aminoácidos mixtos y los AAE indujeron una respuesta anabólica que fue significativamente mayor que la del placebo, no hubo diferencia entre los tratamientos con aminoácidos. Como no hubo diferencia, se llegó a la conclusión de que los aminoácidos no esenciales no son necesarios para estimular la síntesis de proteínas musculares. En un estudio de seguimiento en que se empleó el mismo protocolo (pero con solo 6 g de AAE y 35 g de azúcar), Rasmussen (197) demostró que había un estímulo anabolizante significativamente mayor —es decir, la creación de tejido muscular nuevo— con el suplemento de AAE (cuando se administró poco antes de un ejercicio resistido) en comparación con el placebo.

Por consiguiente, Tipton (232) examinó los efectos de consumir 6 g de AAE más 36 g de azúcar, antes o después de un entrenamiento resistido, sobre el metabolismo de las proteínas musculares. Informó de que cuando se consumían AAE más azúcar 30 minutos antes de un entrenamiento resistido, la respuesta anabólica aguda (3 horas después del ejercicio) era un 158% mayor que cuando el suplemento de AAE y azúcar se consumió después del entrenamiento. Como resultado de estos hallazgos, Tipton (232) y Rasmussen (197) apuntaron la hipótesis de que una persona que consumiera AAE antes o después (o tanto antes como después) de cada sesión de entrenamiento resistido durante varias semanas experimentaría mayores cambios en la masa muscular que solo con el entrenamiento. Es importante reparar en que aunque los aminoácidos no esenciales no son necesarios para estimular la síntesis de proteínas musculares, esto no significa que no sean importantes para potenciar las adaptaciones al entrenamiento del atleta. Los aminoácidos condicionales esenciales y no esenciales actúan como sustratos que se incorporan en las proteínas musculares recién formadas; pero también ahorran la conversión de estos aminoácidos a partir de otros esenciales, con lo cual aumentan de manera eficaz los niveles de AAE.

El trabajo previo realizado con modelos animales identificó que, de los

ocho AAE, los **aminoácidos de cadena ramificada** (AACR) —isoleucina, leucina y valina— son los responsables de aumentar la síntesis de proteínas musculares (96). De los AACR, parece que la leucina es el aminoácido clave para estimular la síntesis de proteínas musculares (42, 139, 199), a través de la vía de la diana mecánica de la rapamicina en células de mamíferos (TORm) (figura 11.3). Norton (180) demostró en roedores que existe un umbral de leucina para estimular la síntesis de proteínas musculares. Basándose en muchos estudios pioneros, un elevado número de estudiosos de la nutrición creen ahora que el contenido de leucina en cualquier ingesta dada de proteínas es el factor limitante en lo que se refiere a la potenciación de la síntesis de proteínas musculares en el músculo esquelético, en vez de simplemente la cantidad total de proteínas ingeridas. Para respaldar esta teoría sobre la importancia del contenido de una comida proteica, Pasiakos (185) documentó que una bebida con AAE enriquecida con leucina producía una elevación significativa de la síntesis de proteínas musculares en comparación con una bebida con AAE y un contenido normal de leucina. En este estudio, hombres entrenados ingirieron una de dos bebidas distintas con 10 g de AAE durante un ejercicio de pedaleo — una que contenía 3,5 g de leucina (46 mg/kg de peso corporal) y otra con 1,87 g de leucina (~25 mg/kg de masa corporal). Después de la tanda de ejercicio (durante un período de evaluación de 3 horas), la síntesis de proteínas musculares fue un 33% mayor en los que tomaron la bebida de AAE enriquecida con leucina. La importancia de la ingesta de leucina y su papel en la respuesta anabólica del músculo esquelético después de un entrenamiento resistido es un tema popular en los estudios actuales de investigación sobre nutrición deportiva.

Efectos indeseables

No hay informes ni estudios científicos conocidos que hayan investigado los efectos indeseables de la suplementación con aminoácidos de cadena ramificada o con AAE.

La leucina, un aminoácido de cadena ramificada, es un regulador clave para estimular la síntesis de proteínas musculares. La leucina activa directamente la vía de la Akt/TORm en el músculo esquelético, que es una vía clave en la síntesis de proteínas musculares del tejido muscular esquelético.

Arginina

La arginina es un aminoácido condicional y desempeña funciones esenciales en la nutrición y el metabolismo. La arginina es necesaria para la síntesis de proteínas y creatina, y su metabolismo causa la producción de óxido nítrico. Los beneficios atribuidos a menudo a la suplementación con arginina son su capacidad para elevar los niveles de óxido nítrico, el aumento del riego sanguíneo de los músculos y la mejora del rendimiento físico. Cada una de estas proclamas se dirige a deportistas y personas físicamente activas, puesto que todos estos resultados serían beneficiosos para mejorar el rendimiento deportivo o potenciar las adaptaciones al entrenamiento. Por desgracia, hay muy pocas pruebas científicas que respalden estas afirmaciones sobre la suplementación con arginina en las poblaciones a las que beneficiarían estos resultados.

Eficacia

La suplementación oral con arginina se suele comercializar por su potencial para elevar los niveles de óxido nítrico. El óxido nítrico desempeña muchos papeles fisiológicos en el cuerpo humano, aunque sus efectos sobre la **vasodilatación** (es decir, la ampliación de la luz de los vasos sanguíneos) son los que lo vuelven importante durante los estados de ejercicio. Durante el ejercicio, los niveles de óxido nítrico aumentan de forma natural para que fluya más sangre por las arterias y arteriolas y suministren oxígeno y sustratos de energía a los músculos esqueléticos activos (30). Aunque el óxido nítrico sea esencial para la vasodilatación, la abrumadora mayoría de la literatura científica no respalda la afirmación de que la suplementación oral con arginina aumente la producción del óxido nítrico hasta niveles superiores a los obtenidos con el ejercicio por sí solo en personas sanas (5, 159, 208). Al contrario que las personas sanas, quienes tengan factores de riesgo de enfermedad cardiovascular o los diabéticos tal vez se beneficien del aumento de la producción del óxido nítrico mediante la suplementación oral con arginina (135, 136).

Un resultado natural de la producción de óxido nítrico es el incremento del riego sanguíneo de los músculos. Por tanto, una afirmación habitual sobre la arginina es que tiene este efecto. A pesar de la percepción común entre los atletas y consumidores de suplementos dietéticos de que la suplementación con arginina aumenta el riego sanguíneo muscular, casi todas las investigaciones científicas en esta área están de acuerdo en que la suplementación con arginina no aumenta el riego sanguíneo muscular de las

personas sanas (76, 77, 226). También se ha propuesto que la suplementación oral con arginina mejora el rendimiento en el ejercicio resistido. Sin embargo, en los estudios sobre la eficacia de la arginina en poblaciones sanas, se registró que durante el tiempo transcurrido hasta el agotamiento, la resistencia de musculatura localizada y el rendimiento en un ejercicio anaeróbico intermitente no mejoraban con la suplementación (104, 159, 239). Debido a su incapacidad para aumentar la producción de óxido nítrico, incrementar el riego sanguíneo muscular o mejorar diversos modos de ejercicio de fondo, no se recomienda la suplementación oral con arginina en personas sanas.



FIGURA 11.3 Papel de la leucina en la síntesis de proteínas musculares.

Efectos indeseables

En la mayoría de las investigaciones científicas en que se administró arginina a los participantes para mejorar el rendimiento físico se usó una dosis de 6 g. Aunque esta dosis de arginina no fue eficaz para mejorar el rendimiento de fondo, esta cantidad se toleró bien y no causó efectos secundarios indeseables. La suplementación oral con dosis de hasta 13 g se suele tolerar bien. Las reacciones indeseables más habituales a dosis más elevadas (13 a 30 g) son molestias gastrointestinales, como náuseas, calambres abdominales y diarrea (51).

Debido a su incapacidad para aumentar la producción de óxido nítrico, incrementar el riego sanguíneo o mejorar el rendimiento del ejercicio de fondo, no se recomienda la suplementación oral con arginina a atletas sanos.

ß-hidroxil-ß-metilbutirato

El ß-hidroxil-ß-metilbutirato (HMB) es un derivado del AAE leucina y de su metabolito el ácido α-cetoisocaproato. Los datos muestran que el HMB estimula la síntesis de proteínas (74) y disminuye el catabolismo de las proteínas inhibiendo la vía de la ubiquitina-proteosoma (211). Debido al papel del HMB en la regulación del catabolismo de las proteínas, tal vez sea un suplemento eficaz para reducir las pérdidas de masa muscular magra en situaciones que favorecen estados catabólicos. El ß-hidroxil-ß-metilbutirato no está en la actualidad prohibido, ni tampoco está restringido su consumo por las organizaciones deportivas.

Eficacia

El primer estudio de investigación que puso de manifiesto el potencial anticatabólico del HMB estuvo a cargo de Nissen (179). En este estudio, sujetos sin entrenar ingirieron uno de tres niveles de HMB (0, 1,5 o 3 g al día) y dos niveles de proteínas (117 o 175 g al día), y se sometieron a entrenamiento resistido tres días por semana durante tres semanas. Como una medida del catabolismo de las proteínas miofibrilares, se midieron los niveles de 3-metil-histidina en la orina (niveles altos de 3-metil-histidina significan que se están catabolizando más proteínas musculares). Pasada la primera semana del protocolo de entrenamiento resistido, el nivel de 3-metil-histidina en la orina aumentó un 94% en el grupo de controles y un 85% y un 50% en los grupos que ingirieron 1,5 y 3 g de HMB al día, respectivamente. Durante la segunda semana del estudio, los niveles de 3-metil-histidina en la orina siguieron elevándose un 27% en el grupo de controles, pero solo un 4% y un 15% por debajo de los niveles basales en los grupos de 1,5 y 3 g de HMB al día. Al final de la tercera semana de entrenamiento resistido, los niveles de 3-metil-histidina en la orina no fueron significativamente distintos entre los tres grupos (179).

Estudios en otros ámbitos que inducen el catabolismo también han demostrado la eficacia de la suplementación con HMB. Por ejemplo, cuando adultos mayores se vieron confinados en cama haciendo reposo completo (un estado catabólico) durante 10 días, se documentó que los sujetos que recibieron un suplemento de 3 g de HMB al día perdieron una cantidad significativamente menor de masa corporal magra (solo 0,17 kg) en comparación con los sujetos a quienes se administró un placebo (perdieron

2,05 kg) (64). Otros datos de la investigación concuerdan con estas observaciones y han demostrado que el HMB ejerce un efecto anticatabólico y suprime los daños musculares (146, 241).

En personas previamente no entrenadas que iniciaron un programa de entrenamiento resistido durante cuatro a ocho semanas, el HMB ha demostrado ejercer mejoras significativamente mayores en la fuerza y la masa corporal magra en comparación con un placebo (94, 179, 184). Los daños y dolores musculares producto del entrenamiento resistido son predeciblemente mayores en quienes tienen poca experiencia con el entrenamiento en comparación con los que llevan más tiempo implicados en un entrenamiento resistido. Dada la capacidad del HMB para suprimir los daños musculares y el catabolismo de las proteínas musculares, no sorprende que el HMB sea eficaz para las personas que inician un programa nuevo de entrenamiento.

Los efectos ergogénicos del HMB en personas entrenadas son menos concluyentes. Los estudios con atletas competitivos o que siguen un entrenamiento resistido no consiguieron duplicar los resultados apreciados en una población que desarrollaba entrenamiento recreativo usando calendarios similares de suplementación (150, 181, 196). Sin embargo, muchos de los estudios que investigaron los efectos del HMB sobre la fuerza y la masa corporal magra en personas entrenadas fueron de corta duración (menos de cinco semanas) y carecieron de la presencia de un programa de entrenamiento periodizado de alta intensidad. Para que el HMB sea eficaz, tal vez sea esencial proporcionar estímulos nuevos a los individuos para inducir daños musculares o estimular un elevado catabolismo de las proteínas.

Los estudios de investigación sugieren que las personas entrenadas a quienes se pidió que no cambiaran sus programas no se beneficiaron con el HMB (150). En una reciente investigación quedó registrado que los hombres entrenados con un programa de resistencia elevada que ingirieron suplementos de HMB obtuvieron mejoras significativas en la fuerza total y en la masa corporal magra en comparación con el grupo que tomó un placebo y participó en un programa de entrenamiento idéntico (257). Otras investigaciones que han proporcionado un estímulo adecuado de entrenamiento a personas entrenadas también han documentado incrementos de la fuerza máxima y la masa corporal magra en comparación con los tratamientos con placebos (179, 184).

Efectos indeseables

La duración, dosis y sincronización de la suplementación con HMB han variado notablemente en la literatura científica. En casi todas las investigaciones publicadas sobre la suplementación con HMB se ingirieron de 3 a 6 g al día. Tres gramos al día (a menudo divididos en varias dosis) es la dosis más corriente usada en los estudios publicados. La mayoría de los estudios que han investigado el HMB lo han empleado en forma de sal de calcio (HMB-Ca). Recientemente, otra forma de HMB, el ácido libre de HMB, también ha sido objeto de investigación (257). La seguridad de la suplementación con HMB ha sido ampliamente estudiada y hasta la fecha existe consenso sobre que este no presenta efectos indeseables conocidos.

El ß-hidroxil-ß-metilbutirato es muy eficaz cuando se aporta un estímulo adecuado de entrenamiento. En las personas no entrenadas, esto suele requerir un entrenamiento de elevado volumen. En el caso de personas entrenadas, es probable que se necesite un programa de entrenamiento resistido de elevado volumen y alta intensidad para que se manifiesten beneficios con la suplementación con HMB.

Tampones musculares de origen nutricional

Durante el ejercicio anaeróbico de alta intensidad, una significativa acumulación de iones de hidrógeno (H^+) se acompaña de una reducción del pH en el músculo esquelético y se ha demostrado que afecta negativamente al rendimiento (200). La capacidad para regular la concentración de H^+ en el músculo esquelético durante un ejercicio de alta intensidad se ha denominado **capacidad de tamponamiento muscular (CTM)** (22, 178). Existe una poderosa relación positiva entre la CTM y el rendimiento en el ejercicio (capacidad para esprintar repetidamente, la capacidad de ejercicio de alta intensidad, el umbral anaeróbico y el volumen de entrenamiento) (70, 71). De hecho, los investigadores han demostrado una relación positiva entre el rendimiento en el ejercicio y la CTM de los atletas que practican deportes como baloncesto, fútbol, hockey, ciclismo, remo, triatlón y esprines (29, 70, 71). En teoría, la mejora de la CTM mediante el entrenamiento o por medios nutricionales (ß-alanina, bicarbonato sódico o citrato) debería mejorar el rendimiento en deportes y actividades que tal vez se vean limitados por la acumulación de H^+. Por lo tanto, a continuación presentamos una sucinta revisión de la ß-alanina, el bicarbonato sódico y el citrato sódico, y sus

efectos sobre el rendimiento del ejercicio de alta intensidad.

ß-alanina

La ß-alanina es un aminoácido no esencial presente en muchos alimentos que comemos, como el pollo. En sí misma, la ß-alanina tiene propiedades ergogénicas limitadas. Sin embargo, en los miocitos es el sustrato limitante de la síntesis de carnosina (68). Harris (110) registró que la suplementación con ß-alanina (4 a 6 g/día) durante cuatro semanas causaba un incremento medio del 64% de las concentraciones de ß-alanina en el músculo esquelético. En el ser humano, la carnosina se localiza sobre todo en las fibras musculares de contracción rápida (tipo II) y se calcula que contribuye con hasta el 40% de la CTM de H^+ producida durante el ejercicio anaeróbico intenso, con lo cual se favorece un descenso del pH (110, 114). En teoría, el incremento de los niveles de carnosina en el músculo esquelético mediante el entrenamiento crónico o la suplementación con ß-alanina (o ambos) mejoraría la CTM, y lo más probable es que también lo hiciese con el rendimiento anaeróbico. Lo interesante es que las concentraciones de carnosina en atletas como velocistas y fisioculturistas parecen ser significativamente más altas que en los maratonianos, personas no entrenadas y personas mayores (110, 224).

Suzuki (224) examinó la relación entre los niveles de carnosina en el músculo esquelético y el rendimiento en el ejercicio de alta intensidad de ciclistas entrenados. Este autor documentó una relación positiva y significativa entre la concentración de carnosina y la potencia media en un esprín máximo de 30 segundos sobre un cicloergómetro. Este hallazgo respaldó la teoría de que los niveles de carnosina en el músculo esquelético mantienen una correlación positiva con el rendimiento anaeróbico por la relación entre carnosina y CTM.

Eficacia Se ha estudiado la ß-alanina por sus efectos sobre la fuerza, la potencia aeróbica y los ejercicios a corto plazo de alta intensidad intercalados con intervalos cortos de recuperación. En contraste con la creatina, parece que la ß-alanina no aumenta la fuerza máxima (140, 122, 123). De forma similar, la potencia aeróbica no parece mejorar con la suplementación con ß-alanina (123, 140). Aunque no aumente la potencia aeróbica, los datos justificativos revelan que el umbral anaeróbico mejora con la suplementación con ß-alanina (221, 259). Prácticamente, esta mejora (midiendo los umbrales

del lactato y ventilatorio) significa que las actividades de fondo se pueden practicar a intensidades relativamente mayores durante períodos más largos. Hill (114) examinó los efectos de la suplementación con ß-alanina sobre los niveles de carnosina en el músculo y sobre el rendimiento del ejercicio en sujetos no entrenados. En un ensayo a doble ciego, se dio a 25 hombres (de 19 a 31 años) una suplementación con 4 g de ß-alanina o un placebo con azúcar durante la primera semana, y luego con hasta 6,4 g durante nueve semanas más. Los niveles de carnosina muscular (mediante biopsia muscular) y el trabajo total (kilojulios) se midieron en las semanas 4 a 10 durante una actividad ciclista hasta el agotamiento con la potencia máxima establecida a partir de un test en cicloergómetro de ejercicio graduado. Los niveles medios de carnosina aumentaron un 58% en la semana 4 y un 15% más en la semana 10. Adicionalmente, se documentaron incrementos de un 13% y un 16% en el trabajo total de cicloergometría en las semanas 4 y 10 respectivamente.

En una revisión general que resumió los efectos de la suplementación con ß-alanina sobre el rendimiento de alta intensidad, Artioli (9) afirmó que la ingestión de ß-alanina es capaz de mejorar el rendimiento en los ejercicios generando un entorno extremadamente acidótico en los músculos, como el que se produce con múltiples tandas de ejercicios de alta intensidad de más de 60 segundos, así como con tandas realizadas cuando la fatiga ya es manifiesta. Es poco probable que los ejercicios de alta intensidad practicados con un nivel inferior de acidosis se beneficien de la suplementación con ß-alanina.

Efectos indeseables En la literatura publicada, la ingesta de ß-alanina ha oscilado entre 2,4 y 6,4 g diarios. En muchos ensayos con ß-alanina, la cantidad diaria total de ß-alanina se dividió en dos a cuatro dosis más pequeñas. La razón de esta estrategia de suplementación con dosis menores es la de prevenir el único efecto indeseable documentado, que fue el síntoma de parestesia (hormigueo, pinchazos o entumecimiento de la piel de una persona) (9). Los síntomas de parestesia se desencadenan con una sola dosis elevada y aguda, y desaparecen aproximadamente 1 hora después de la ingesta (9, 110).

Bicarbonato sódico

El bicarbonato sódico es un antiácido (agente alcalinizante), lo cual significa que contrarresta o neutraliza el ácido (pH bajo). El bicarbonato sódico se

forma naturalmente en el cuerpo y también está presente en el bicarbonato. La suplementación con bicarbonato sódico ha demostrado aumentar el pH de la sangre (219). Se crea una diferencia en el pH entre el interior y el exterior de las células musculares, lo cual causa un movimiento acelerado de H^+ fuera del músculo en contracción, ayudando a regular el pH intramuscular. La suplementación con bicarbonato sódico ha demostrado mejorar la capacidad de tamponamiento muscular y, a su vez, el rendimiento del ejercicio de alta intensidad.

Eficacia La mayoría de los estudios de investigación sobre la eficacia del bicarbonato sódico para mejorar el rendimiento deportivo se han centrado en tandas cortas de ejercicio de alta intensidad de 60 segundos a 6 minutos de duración (172). McNaughton (169, 171), y Coombes y McNaughton (55) han demostrado que se produce una mejora de la capacidad de trabajo total, de los picos de potencia, de los picos de torque y de la fuerza con la suplementación de bicarbonato sódico en hombres y mujeres. Recientemente, Hobson (117) examinó los efectos de la ingesta de bicarbonato sódico durante una prueba cronometrada de 2.000 m en remo ergómetro en remeros expertos. Antes del ejercicio se suplementó a los remeros con 0,3 g/kg de masa corporal de bicarbonato sódico o un placebo. Se registró el tiempo para completar los 2.000 m y el tiempo invertido en los parciales de 500 m. Aunque no hubo diferencias significativas en el tiempo de la prueba general de 2000 m, los individuos que tomaron bicarbonato sódico presentaron mejoras significativas en los parciales tercero y último de 500 m. Algunas investigaciones (28, 157), aunque no todas (10), han registrado mejoras parecidas en el ejercicio de alta intensidad después de una suplementación de 0,3 g de bicarbonato sódico/kg de masa corporal. En muchas investigaciones científicas, la ingesta de bicarbonato sódico se lleva a cabo de 60 a 90 minutos antes de la tanda de ejercicio.

Efectos indeseables Parece ser que una dosis de 0,3 g/kg de masa corporal de bicarbonato sódico ingerido aproximadamente de 60 a 90 minutos antes de la actividad mejora el rendimiento de un ejercicio de alta intensidad y corta duración (117, 172). Las dosis superiores a esta cantidad se han asociado con efectos secundarios indeseables como diarrea, calambres, náuseas y emesis. Una dosis más tolerable (0,2 g/ kg de peso corporal) ha demostrado reducir estos efectos secundarios; sin embargo, los estudios de investigación han

revelado que esta dosis no mejora el rendimiento en el ejercicio (156). Parece ser que una dosis mínima de bicarbonato sódico de 0,3 g/kg de masa corporal, de 60 a 90 minutos antes del ejercicio, es necesaria para mejorar el rendimiento (126, 251). Debido a la gravedad de los efectos secundarios (que tal vez experimenten algunos atletas incluso cuando ingieren 0,3 g/kg de masa corporal), muchos científicos del deporte recomiendan que los deportistas prueben la suplementación con bicarbonato sódico durante los entrenamientos antes de usarlo como ayuda antes de la competición.

Citrato sódico

Aunque el citrato sódico no sea realmente una base, sí que puede aumentar el pH sanguíneo sin las molestias gastrointestinales que se suelen producir con la suplementación con bicarbonato sódico (242). Se cree que una vez en la sangre, el citrato sódico se descompone en bicarbonato y aumenta el pH extracelular (233). Como resultado, el citrato sódico ayuda a regular el pH intramuscular durante el ejercicio de alta intensidad mediante el mismo mecanismo que el bicarbonato sódico.

Eficacia Los datos son equívocos respecto a la eficacia del potencial ergogénico del citrato sódico durante un ejercicio de alta intensidad y corta duración, y algunos investigadores no han documentado ningún beneficio (15, 57, 203, 242) mientras que otros han observado un efecto ergogénico (158, 170). Por ejemplo, una dosis de 0,44 g por kilogramo de peso corporal de 60 a 90 minutos antes del ejercicio produjo mejoras significativas (en torno a un 20% más) en la tolerancia física de la musculatura de las piernas durante extensiones isométricas máximas de rodilla (112). Se necesitan más estudios para poder recomendar la administración de citrato sódico antes de un entrenamiento o una competición para mejorar el rendimiento.

Efectos indeseables Quizá el citrato sódico posea capacidad de tamponamiento muscular y se ha usado sin las típicas molestias gastrointestinales asociadas con la ingesta de bicarbonato sódico (15, 158). Aunque parezca que los efectos indeseables de la suplementación con citrato sódico son menores que los del bicarbonato sódico, la ingesta de 0,4 a 0,6 g/kg de masa corporal de citrato sódico posiblemente cause molestias gastrointestinales (182, 205). La respuesta gastrointestinal parece variar entre individuos; por lo tanto, los atletas deben probar la suplementación de citrato sódico antes de consumirlo

en la competición.

L-carnitina

La L-carnitina se sintetiza a partir de los aminoácidos lisina y metionina, y es responsable del transporte de ácidos grasos del citosol presente en las mitocondrias para someterse a oxidación y generar energía (142). El papel de la carnitina en la oxidación de lípidos ha generado interés por su eficacia como suplemento dietético, sobre todo para mejorar el rendimiento del ejercicio aumentando la utilización de grasas y ahorrando glucógeno muscular. Sin embargo, los estudios que examinan el papel de la L-carnitina como ayuda ergogénica para aumentar la oxidación de lípidos no han demostrado una eficacia clara en seres humanos o en modelos de ratas (8, 33). Aunque Bacurau (13) demostró una mejora de la oxidación de los ácidos grasos después de tres semanas de suplementación con L-carnitina, que se atribuyó a un mayor contenido de carnitina en el músculo, la mayoría de los estudios han sido incapaces de demostrar niveles elevados de carnitina muscular después de la suplementación (16, 247). Esto tal vez guarde relación con los límites en la cantidad de carnitina que es posible absorber mediante suplementación oral (131), o quizá esté potencialmente relacionado con los límites en la cantidad de grasas que se pueden transportar a las mitocondrias mediante el sistema de la carnitina debido a los reguladores de la retroalimentación presentes en el músculo, como la malonil-coenzima A, que es un producto del metabolismo.

Eficacia

Lo interesante es que varios estudios han sugerido que la L-carnitina tal vez mejore la recuperación del ejercicio (116, 129, 245). También se han demostrado decrementos del dolor y los daños musculares (97), descensos de los marcadores del estrés metabólico (214) y una mejora de la recuperación (245) después de un ejercicio resistido de alta intensidad en personas no entrenadas o con entrenamiento recreativo que recibieron un suplemento de L-carnitina. Se ha propuesto que en su actuación median mecanismos que aumentan la regulación del riego sanguíneo por la mejora del efecto vasodilatador que reduce la magnitud de la hipoxia inducida por el ejercicio (130). Además, Kraemer apuntó que la suplementación con L-carnitina (2 g/día durante tres semanas) provoca una regulación ascendente de los

receptores de andrógenos (147) e incrementos en las proteínas transportadoras de IGF que preservan las concentraciones de IGF-I (148). Estas adaptaciones endocrinas causadas por el suplemento tal vez desempeñen un papel importante en la mejora de la recuperación registrada después de un ejercicio de alta intensidad.

Efectos indeseables

Hasta 3 g de suplementación diaria de L-carnitina (durante tres semanas) parecen tolerarse bien en el caso de voluntarios sanos, sin que se hayan documentado episodios metabólicos, hematológicos ni subjetivos indeseables (202). Sin embargo, tal y como sucede con la mayoría de los suplementos, esta información no se debería extrapolar ni sugerir que dosis más grandes son seguras o que se puede consumir durante largos períodos.

Creatina

La creatina es un compuesto orgánico nitrogenado que se sintetiza naturalmente en el cuerpo, sobre todo en el hígado, y ayuda a suministrar energía a todas las células del cuerpo. También se puede sintetizar en cantidades más pequeñas tanto en los riñones como en el páncreas. Los aminoácidos arginina, glicina y metionina son los precursores para la síntesis de creatina en esos órganos. La creatina también se puede obtener por medio de fuentes dietéticas. Se halla en relativa abundancia en la carne y el pescado. Aproximadamente el 98% de la creatina se almacena en el músculo esquelético en su forma libre (40%) o en su forma fosforilada (60%). Cantidades más pequeñas de creatina también se almacenan en el corazón, el cerebro y los testículos. La creatina se transporta de su lugar de síntesis al músculo esquelético por medio de la circulación sanguínea.

Importancia de la creatina para el ejercicio

La creatina, en forma de fosfato de creatina (CP; también llamada fosfocreatina [PCr]), cumple un papel esencial en el metabolismo energético como sustrato para la formación de trifosfato de adenosina (ATP) mediante la refosforilación de difosfato de adenosina (ADP), sobre todo durante el ejercicio de alta intensidad y corta duración. La capacidad para refosforilar ADP rápidamente depende de la enzima creatincinasa y de la disponibilidad de CP en el músculo. A medida que se agotan las reservas de CP, declina la

capacidad para realizar ejercicio de alta intensidad. En esprines de corta duración (p. ej., esprín de 100 m), la energía para mantener la actividad deriva sobre todo de la hidrólisis de CP (93). Sin embargo, a medida que aumenta la duración del ejercicio de alta intensidad, se reduce drásticamente la capacidad del CP para servir de fuente de energía.

La depleción de CP muscular durante el ejercicio de alta intensidad es el mecanismo primario que causa fatiga en tales momentos. Durante una tanda de 6 segundos de ejercicio máximo, los niveles de CP en el músculo se reducen de un 35% a un 57% respecto a los valores en reposo (93). A medida que la duración del ejercicio de alta intensidad aumenta hasta 30 segundos, los niveles de CP en el músculo se reducen aún más, aproximadamente de un 64% a un 80% respecto a los niveles en reposo (31, 48); durante tandas de ejercicio repetido de alta intensidad, los niveles de CP en el músculo están casi totalmente agotados (168). A medida que disminuyen las concentraciones de CP muscular, la capacidad para realizar un ejercicio máximo se reduce. Hirvonen (115) demostró que las marcas en los esprines fueron más lentas a medida que se redujeron las concentraciones de CP. Tiene sentido que si las concentraciones de CP muscular se pudiesen mantener, mejoraría la capacidad para mantener un ejercicio de alta intensidad. Esta es la base para la suplementación con creatina para atletas.

Suplementación con creatina

Hay informes que sugieren que el 37,2% de los atletas universitarios consumen, o han consumido, creatina durante su preparación para la competición (90). Sin embargo, la prevalencia del consumo entre los atletas de fuerza y potencia tal vez se aproxime a más del 80% en ciertos deportes (154). La creatina también ha ganado popularidad entre los deportistas de instituto; el 90% de los atletas que toman suplementos optan por la creatina (225). Como resultado de su amplio consumo, los suplementos de creatina tal vez sean la ayuda ergogénica que más se ha estudiado en la historia reciente. Se ha registrado que la suplementación con creatina aumenta aproximadamente un 20% el contenido de creatina en los músculos (40, 78, 132). Sin embargo, parece que existe un límite de saturación para la creatina en el músculo. Una vez que las concentraciones de creatina en el músculo alcancen de 150 a 160 mmol/kg de peso del tejido desecado, cualquier suplementación adicional parece ser incapaz de aumentar más dichas concentraciones (102). Representa una de las implicaciones importantes para

la filosofía de «más es mejor» que gobierna el pensamiento de algunos atletas, y tal vez afecte al desarrollo de esquemas de dosis correctos y realistas.

Un régimen típico de suplementación con creatina implica una dosis de carga de 20 a 25 g diarios durante cinco días, o 0,3 g/kg de masa corporal si una persona quiere establecer las dosis respecto al peso corporal, seguido por una dosis de mantenimiento de 2 g/día (132). Si se ingiere creatina sin una dosis de carga inicial, el contenido de la creatina muscular alcanzará niveles similares a los observados en personas que inicialmente empleen una dosis de carga (~30 días frente a 5 días). Los niveles musculares de creatina se mantendrán elevados siempre y cuando se conserve la dosis de mantenimiento (2 g/día o 0,03 g/kg de masa corporal al día) (132). Una vez que se interrumpe la suplementación con creatina, los niveles de creatina muscular volverán a los niveles iniciales en aproximadamente cuatro semanas (78, 132).

La suplementación con creatina ha demostrado aumentar la fuerza máxima, la potencia y la masa corporal magra de poblaciones entrenadas y no entrenadas. Además, esta suplementación es segura y relativamente barata.

Eficacia

La mayoría de los estudios que han examinado el efecto de la suplementación con creatina sobre el rendimiento de la fuerza han sido bastante consistente a la hora de mostrar beneficios ergogénicos significativos (23, 141, 186, 243, 246) (figura 11.4). Los incrementos de la fuerza en el *press* de banca, la sentadilla y la cargada de fuerza tal vez sean dos o tres veces más altos en atletas entrenados suplementándose con creatina en comparación con el grupo que tomó un placebo (122, 186). Estos resultados tal vez pongan de relieve el beneficio de la suplementación con creatina en atletas experimentados con entrenamiento resistido cuyo potencial para mejorar la fuerza tal vez sea limitado. En atletas de fuerza experimentados, la suplementación con creatina tal vez también mejore la calidad de los entrenamientos (menos fatiga, mejora de la recuperación), lo cual quizá sea crucial para aportar un mayor estímulo de entrenamiento a los músculos.

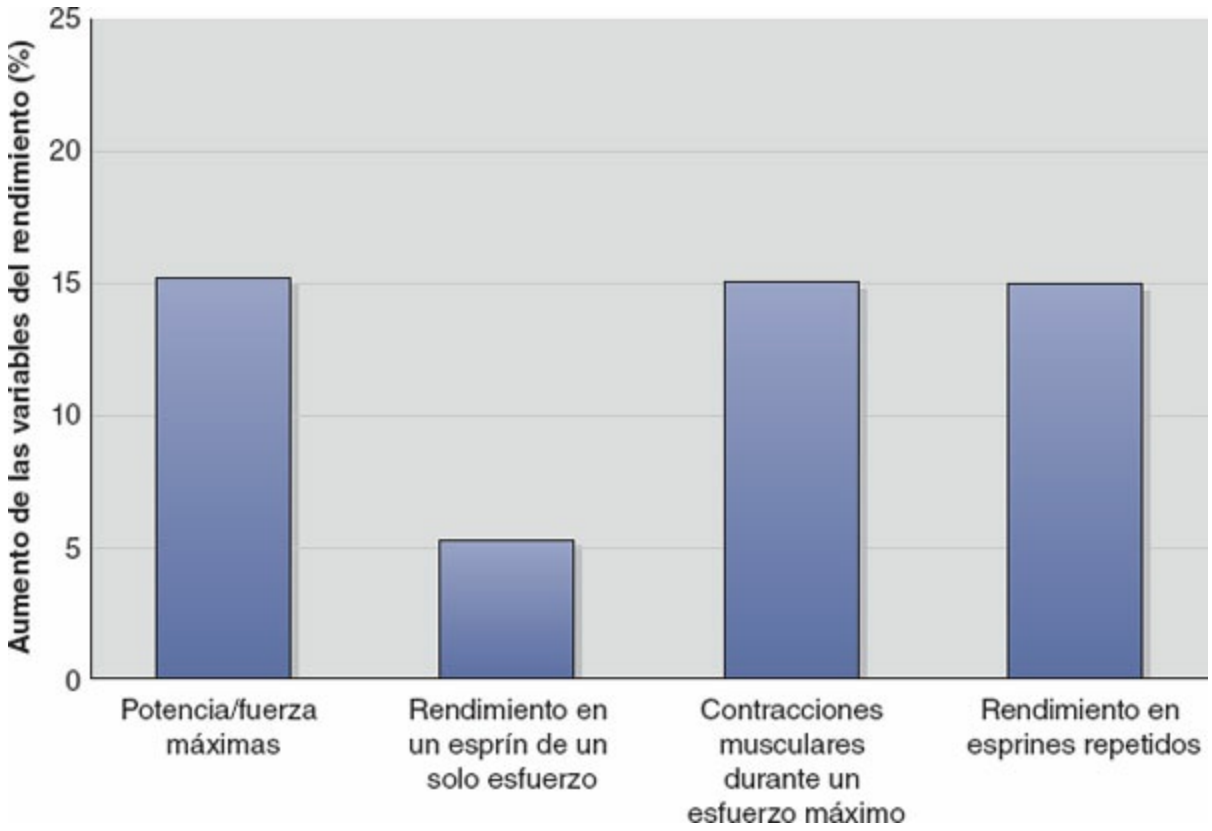


FIGURA 11.4 Cambios aproximados en las variables del rendimiento tras suplementación con creatina (149).

La mayoría de los estudios que examinan los efectos de la suplementación con creatina sobre una sola tanda de ejercicio explosivo (rendimiento en un salto o un esprín) no han mostrado ninguna mejora significativa del rendimiento (62, 145, 177, 212). No obstante, en muchos de estos estudios, los sujetos recibieron una dosis de carga durante solo cinco días (145, 177, 212). Mientras que la ingesta de creatina con una dosis de carga durante cinco días aumentará significativamente las reservas intramusculares de creatina, lo más probable es que no sea tiempo suficiente para que ocurran adaptaciones al entrenamiento y que se manifiesten en mejoras en el rendimiento de un ejercicio explosivo. Cuando los sujetos han recibido el suplemento durante un período largo de tiempo (28-84 días), se han apreciado significativas mejoras en el rendimiento de salto y potencia (108, 243). Parece que la creatina es más eficaz como suplemento para el entrenamiento que como un potenciador directo del rendimiento.

Cambios en la masa corporal

La suplementación prolongada con creatina se ha asociado con aumento del peso corporal, que parece estar relacionado sobre todo con incrementos en la masa magra. Se cree que el aumento de la masa corporal está parcialmente relacionado con un incremento de la cantidad total de agua corporal. Se cree que un aumento del contenido de creatina dentro del músculo mejora el gradiente osmótico intracelular, provocando que el agua llene la célula (244). Además, aumentar el contenido de creatina en el músculo parece que implica un incremento de la tasa de síntesis de proteínas contráctiles del músculo (246, 255). En general, la suplementación con creatina durante el entrenamiento se suele asociar con 0,5 a 2 kg de incremento en la masa corporal o la masa magra (151) durante un período de varias semanas a varios meses.

Efectos indeseables

En ocasiones se ha referido que el aumento de la masa corporal es un potencial efecto secundario indeseable de la suplementación con creatina (206), sobre todo en relación con la relación entre fuerza y masa o entre potencia y masa. Sin embargo, en atletas que toman suplementos de creatina, el aumento de peso a menudo es un resultado deseado. Cuando la gente habla de los efectos secundarios de un fármaco o un suplemento, por lo general se están refiriendo a un efecto potencialmente debilitador. Ha habido muchos informes anecdóticos de problemas musculares, cardiovasculares o gastrointestinales, como calambres musculares, asociados con la ingesta de creatina. Sin embargo, estudios controlados no han sido capaces de documentar efectos secundarios significativos por la suplementación con creatina. Incluso durante una suplementación prolongada (desde varias semanas hasta muchos meses), no se apreciaron incrementos en los efectos secundarios registrados en sujetos que tomaron suplementos de creatina, fueran atletas competitivos o personas con entrenamiento recreativo (60, 103, 151).

Otro problema con cualquier suplemento son los efectos a largo plazo para la salud. Un estudio retrospectivo sobre las variables de la salud en 26 atletas competitivos antiguos o actuales que han consumido creatina durante un periodo de hasta cuatro años reveló solo algún trastorno gastrointestinal ocasional durante la fase de carga (206). Estos trastornos variaron desde gases hasta diarrea leve. Otros problemas principales que han sido objeto de hipótesis durante la suplementación con creatina comprenden una sobrecarga

renal debido al elevado contenido de nitrógeno de la creatina y el aumento de la excreción de creatina durante su ingesta a corto plazo. Sin embargo, no se ha registrado ninguna disfunción renal con un consumo a corto plazo (cinco días) o a largo plazo (hasta cinco años) (189, 190).

A pesar de ciertos medios e informes anecdóticos que relacionan la suplementación con creatina con la deshidratación y los calambres, no hay razón para creer que la creatina aumenta el riesgo de sufrir estos efectos secundarios.

Estimulantes

Pocas dudas hay sobre la utilidad de los estimulantes para muchos tipos de actividades atléticas; los efectos de los estimulantes comprenden reducción de la fatiga, aumento de la receptividad, aumento de la confianza e incluso euforia. Como se han usado estimulantes en la competición para conferir alguna ventaja ergogénica, las pruebas antidopaje inmediatamente después de la competición reducen eficazmente su consumo abusivo (128). No obstante, muchos estimulantes (como la cafeína) también están presentes en alimentos, mientras que otros (como la efedrina) a veces se encuentran en descongestivos y otros medicamentos.

Cafeína

La cafeína es un suplemento polifacético consumido por los atletas y popular entre los deportistas de fondo y resistencia. Está presente en el café, el té, los refrescos, el chocolate y otros alimentos. Es un estimulante del sistema nervioso central y sus efectos son parecidos, aunque más débiles, que los asociados con las anfetaminas. La cafeína se ha consumido como potenciador del rendimiento durante más de 40 años y es una de las pocas ayudas ergogénicas que se consumen casi en el mismo grado por atletas aeróbicos y anaeróbicos.

El mecanismo que mejora el rendimiento de fondo no está claro. Uno de los mecanismos que se ha propuesto comprende un aumento de la oxidación de las grasas mediante la movilización de ácidos grasos libres, desde tejido adiposo hasta las reservas de grasa intramuscular (215). El mayor uso de grasas como fuente primaria de energía ralentiza la depleción de glucógeno y difiere la fatiga. Las alteraciones del metabolismo muscular por sí solas no explican por completo el efecto ergogénico de la cafeína. Durante un ejercicio de alta intensidad y corta duración, el principal efecto ergogénico

atribuido a la suplementación con cafeína es que mejora la producción de potencia. Se cree que es el resultado de potenciar el mecanismo de excitación-contracción, que afecta a la transmisión neuromuscular y la movilización de iones de calcio intracelular del retículo sarcoplasmático (227). Además, se cree que la ingesta de cafeína mejora la cinética de enzimas reguladoras de la glucólisis como la fosforilasa (215).

Eficacia Para los atletas aeróbicos, se cree que la cafeína prolonga el ejercicio de resistencia aeróbica (56). Los primeros estudios que abordaron el efecto de la suplementación con cafeína sobre el rendimiento de resistencia aeróbica registraron una mejora de 21 minutos en el tiempo de ejercicio hasta el agotamiento (de 75 minutos en un ensayo con un placebo hasta 96 minutos en el ensayo con cafeína) durante una prueba ciclista al 80% del $\dot{V}O_2$ máx (56). Estos resultados se confirmaron con otros estudios adicionales que demostraron el efecto ergogénico de la cafeína durante una actividad prolongada de resistencia aeróbica (101, 216). Estos estudios demostraron que la cafeína en dosis entre 3 y 9 mg/kg (el equivalente a 1,5 a 3,5 tazas de máquina automática dispensadora de café en una persona de 70 kg) tuvo un efecto ergogénico significativo. Efectos similares de la cafeína sobre el rendimiento también se han registrado durante un ejercicio de alta intensidad y corta duración (38, 67).

Sin embargo, cuando se examinan los efectos de la ingesta de cafeína sobre el rendimiento de potencia o esprines, los beneficios ergogénicos resultan menos claros. Varios estudios han demostrado que la ingesta de cafeína no mejora el rendimiento de potencia (52, 105), si bien estos estudios se hicieron con atletas recreativos. En yudocas de elite que ingirieron cafeína (5 mg/kg), se documentó que el pico de potencia mejoraba significativamente en comparación con un tratamiento con placebo (213).

De forma parecida, en nadadores competitivos, la ingesta de cafeína (250 mg) demostró mejorar como media un 3% las marcas de velocidad durante esprines de 100 m repetidos (53). El número de estudios sobre la ingesta de cafeína y el rendimiento de potencia y en esprines es limitado en comparación con el número de los que midieron el efecto de la cafeína sobre el rendimiento de la resistencia aeróbica. Por tanto, los resultados de los estudios sobre el beneficio ergogénico de la cafeína para el rendimiento de potencia son poco concluyentes. Si hay algún beneficio para el rendimiento, es probable que se manifieste en atletas entrenados.

La cafeína procedente de algún alimento (consumo de café) y la cafeína anhídrica han demostrado tener efectos significativos sobre el rendimiento; sin embargo, el grado de las mejoras sobre el rendimiento parece ser mayor cuando se ingiere la cafeína en forma de pastilla (101). Cuando se toma cafeína en forma de un suplemento de cafeína pura, se ha documentado que el beneficio ergogénico respecto a la mejora del rendimiento de resistencia aeróbica oscila entre un 28% y un 43% (101). Sin embargo, cuando se administra en alguna fuente alimenticia como el café (sea café cafeinado o café descafeinado con cafeína añadida), tal vez no se aprecie el beneficio ergogénico para el ejercicio de resistencia aeróbica (46, 101) o solo a nivel reducido (56, 236, 253). Graham (101) sugirió que, aunque la biodisponibilidad de la cafeína es la misma tanto si se consume en algún alimento como en su forma anhídrica, algún compuesto del café antagoniza la acción de la cafeína.

En dosis de 3 a 9 mg/kg de peso corporal consumidas ~60 minutos antes del ejercicio o durante un ejercicio prolongado, la cafeína es ergogénica. No tiene otros beneficios cuando se consume en dosis más elevadas (>9 mg/ kg). Puede mitigar la sensación de esfuerzo percibido, mejorar la capacidad de trabajo y aumentar la receptividad mental. La literatura científica no respalda que haya diuresis inducida por la cafeína durante el ejercicio o ningún cambio dañino en el equilibrio osmótico que afecte negativamente al rendimiento.

Efectos indeseables Los efectos secundarios asociados con la cafeína comprenden ansiedad, trastornos gastrointestinales, inquietud, insomnio, temblores y arritmias cardíacas. La cafeína también genera adicción física, y la interrupción de su consumo puede causar algunos síntomas de abstinencia, como cefaleas, fatiga, humor disfórico, dificultad para concentrarse y síntomas similares a los de una gripe (222). Las ingestas de cafeína superiores a 9 mg/kg parece que presentan un mayor riesgo de sufrir efectos secundarios (98). La sobredosis de cafeína es un problema que puede tener consecuencias potencialmente mortales. Una dosis letal de cafeína suele superar los 5 g, lo cual equivale a 42 tazas de café con una media de 120 mg de cafeína por taza (143) o 25 pastillas de 200 mg de cafeína.

Bebidas energéticas previas al entrenamiento

El consumo de bebidas que contienen cafeína antes de los entrenamientos (bebidas energéticas) ha aumentado su popularidad durante los últimos años. Los estudios han demostrado que las bebidas energéticas son uno de los

suplementos dietéticos más populares consumidos por los jóvenes estadounidenses (90). Las principales razones para la ingesta de bebidas energéticas son la mejora de los entrenamientos y del rendimiento deportivo y la facilitación de adaptaciones más rápidas al entrenamiento (188). Los ingredientes más habituales en las bebidas energéticas comercializadas son cafeína, hidratos de carbono, vitaminas B, tirosina y gingko biloba, entre otras. De estos ingredientes, la cafeína y los hidratos de carbono son los principales nutrientes ergogénicos de las bebidas energéticas (43).

Eficacia Las bebidas energéticas previas al entrenamiento han sido objeto de estudio por su eficacia en diversos modos de ejercicio, incluyendo el ejercicio resistido, el ejercicio anaeróbico y el ejercicio de resistencia aeróbica. En relación con el rendimiento en el ejercicio resistido, Forbes (83) administró a 15 estudiantes universitarios físicamente activos una bebida energética comercializada o un placebo no cafeinado e isocalórico 60 minutos antes del ejercicio. La bebida energética se estandarizó con 2 mg de cafeína/kg de masa corporal. La tanda de ejercicio consistió en tres series de *press* de banca al 70% de 1RM ejercitado hasta el fallo en cada serie con 1 minuto de descanso entre series. La bebida energética aumentó significativamente el rendimiento en el *press* de banca en comparación con el tratamiento con un placebo. Otros estudios que investigaron los efectos del consumo de una bebida energética previa al entrenamiento también han documentado mejoras en el volumen total de peso levantado con los hemicuerpos superior e inferior (63, 100). Aunque parezca que la ingesta de una bebida energética previa al entrenamiento es eficaz para aumentar el rendimiento con el volumen de entrenamiento resistido, otros tipos de ejercicio anaeróbico (incluyendo las pruebas de Wingate y el rendimiento de agilidad/velocidad) no responden tanto al consumo de bebidas energéticas (11, 83, 118). Respecto al rendimiento en el ejercicio de fondo, la mayoría de las investigaciones (4, 134, 249), pero no todas (44), han registrado que las bebidas energéticas que contienen aproximadamente 2 mg de cafeína/kg de masa corporal, consumidas una hora antes del ejercicio, mejoran el rendimiento en carrera y en bicicleta de ciclistas entrenados y personas activas recreativamente (43). Lo interesante es que la cantidad de cafeína (2 mg/kg de masa corporal) presente en las bebidas energéticas es inferior a la cantidad recomendada para obtener una mejora del rendimiento en el ejercicio (3-9 mg/kg de masa corporal). Esto contribuye a la hipótesis de que los efectos sinérgicos de los

distintos ingredientes de las bebidas energéticas tal vez sean responsables de las mejoras documentadas en el rendimiento (43).

Efectos indeseables Los problemas de seguridad respecto al consumo de bebidas energéticas parecen estar relacionados con un consumo excesivo de cafeína (209) y los efectos perniciosos de la mezcla de bebidas energéticas con alcohol (127). La mezcla de bebidas energéticas con alcohol es más prevalente en ciertos contextos sociales y no es una práctica habitual entre aquellos que consumen bebidas energéticas antes de los entrenamientos para mejorar la capacidad de trabajo o para facilitar una mayor rapidez de las adaptaciones al entrenamiento. Debido a la presencia de cafeína en la mayoría de las bebidas energéticas, los efectos indeseables potenciales que tiene la cafeína también existen en las bebidas energéticas. Sin embargo, la mayoría de estas bebidas solo contienen cantidades moderadas de cafeína, habitualmente menos de 300 mg (234). A pesar de que las bebidas energéticas suelan contener dosis bajas a moderadas de cafeína, hay que ser conscientes de que es posible tomar una sobredosis de cafeína por el consumo de bebidas energéticas (124). Aunque hay información relacionada con los efectos secundarios de la ingesta excesiva de cafeína, las bebidas energéticas contienen otros ingredientes y estimulantes. En la actualidad, no se sabe si la inclusión de otros estimulantes en las bebidas energéticas pueda aumentar o reducir el umbral para experimentar efectos secundarios. Por lo tanto, se necesitan más estudios de investigación para determinar los efectos a largo plazo de la ingesta habitual de bebidas energéticas antes de llegar a conclusiones definitivas.

Efedrina

Otro ß-agonista, la efedrina, se ha consumido ampliamente por todo el mundo para el alivio temporal de los síntomas de asma bronquial, bronquitis, alergias, disnea, síntomas de resfriado y gripe, entre otras dolencias. La efedrina también es muy popular entre los fisioculturistas por su potente calidad termógena (41). Un fármaco o suplemento termógeno actúa elevando el índice metabólico basal, con lo cual aumenta el gasto energético y finalmente produce la pérdida de grasa. A menudo se consume con un agente de apilamiento como la cafeína para mejorar el efecto termógeno.

Eficacia Los estudios que examinan el efecto ergogénico de la efedrina han

demostrado ser eficaces solo cuando se toma en combinación con cafeína (21). Estos resultados han sido bastante consistentes con respecto a la mejora del rendimiento de resistencia aeróbica (19, 20). Respecto al rendimiento del ejercicio anaeróbico, la literatura científica es equívoca (137, 254). Sin embargo, se han registrado efectos secundarios (emesis y náuseas) después del ejercicio en el 25% de los sujetos que ingieren una mixtura de 5 mg/kg de cafeína y 1 mg/kg de efedrina (19). Un estudio posterior realizado por los mismos investigadores demostró que con una dosis menor (4 mg/kg de cafeína y 0,8 mg/ kg de efedrina) se obtuvieron beneficios ergogénicos similares sin efectos secundarios (20). La mezcla de cafeína-efedrina parece generar un mayor beneficio que cualquier suplemento consumido solo (12).

Efectos indeseables La efedra, también llamada *mahuang*, es una planta que contiene efedrina. En Estados Unidos antes de 2004, la mayoría de los productos deportivos y adelgazantes sin receta médica contenían efedra. Sin embargo, en abril de 2004, la FDA prohibió todos los productos que contenían efedra tras determinar que planteaba un riesgo poco razonable para aquellos que la consumían. La prohibición de la FDA se basó en un informe publicado por el Rand Institute (210) que mostraba 16.000 episodios indeseables vinculados con el consumo de suplementos dietéticos que contenían efedra. Además, Shekelle (210) documentó que el consumo de suplementos dietéticos que contenían efedra o efedrina más cafeína se asociaba con un aumento de los casos de náuseas, vómitos, síntomas psiquiátricos como ansiedad y cambios de humor, hiperactividad del sistema nervioso autónomo, palpitaciones y, en unos pocos casos, la muerte. Como resultado de tantos efectos indeseables, el consumo de efedrina se ha prohibido por la mayoría de los órganos directivos, incluido el Comité Olímpico Internacional.

Resumen de los suplementos dietéticos ergogénicos y no ergogénicos, y su aplicación

- *Aminoácidos esenciales y aminoácidos de cadena ramificada*. Capacidad para estimular la síntesis de proteínas musculares, sobre todo por medio de los efectos anabolizantes del aminoácido leucina.
- *Arginina*. No es eficaz para inducir el flujo sanguíneo muscular ni de óxido nítrico en personas sanas. Además, no parece tener ningún efecto sobre la mejora del rendimiento de fondo en poblaciones sanas.
- *ß-hidroxil-ß-metilbutirato (HMB)*. Muy eficaz para las personas entrenadas que

participan en un programa de entrenamiento resistido de alto volumen y alta intensidad.
- *ß-alanina*. Eficaz para mejorar el rendimiento en ejercicios que inducen un nivel elevado de ácido láctico, como múltiples tandas de ejercicios de alta intensidad que duren más de 60 segundos.
- *Bicarbonato sódico*. Ha demostrado mejorar el rendimiento en el entrenamiento y en el ejercicio de alta intensidad, pero se asocia con efectos secundarios indeseables como molestias gastrointestinales.
- *Citrato sódico*. Los datos científicos no son concluyentes en relación con el potencial ergogénico del citrato sódico durante el ejercicio de alta intensidad y corta duración.
- *L -carnitina*. Tal vez mejore la recuperación después de un ejercicio resistido de alta intensidad.
- *Creatina*. Eficaz para aumentar la fuerza máxima, la potencia y la masa corporal magra en poblaciones entrenadas y no entrenadas.
- *Cafeína*. Eficaz para el ejercicio de fondo prolongado, aunque sus efectos sobre el rendimiento de potencia o en esprines son menos claros.
- *Bebidas energéticas previas al entrenamiento*. Eficaces para aumentar el volumen del entrenamiento resistido y el rendimiento de fondo, pero no son ergogénicas respecto a su capacidad para mejorar el ejercicio anaeróbico (ciclismo de alta intensidad y rendimiento de velocidad/agilidad).
- *Efedrina*. Cuando se combina con cafeína, es capaz de mejorar el rendimiento de resistencia aeróbica. No es tan eficaz para mejorar el rendimiento del ejercicio anaeróbico.
- *Citrus aurantium*. Cuando se combina con cafeína y otros productos a base de plantas, se han documentado mejoras en el tiempo de ejercicio hasta la fatiga (una medida del rendimiento de fondo).

Citrus aurantium

El *citrus aurantium* procede de una fruta habitualmente conocida como «naranja amarga» y a menudo se usa como remedio herbal de la medicina china para tratar problemas digestivos (92, 107). Sin embargo, también es un estimulante leve y se cree que contribuye a la supresión del apetito y que aumenta el índice metabólico y la lipólisis (92, 107).

Eficacia

Cuando el *citrus aurantium* se combina con cafeína y otros productos procedentes de hierbas, se han documentado mejoras significativas en el tiempo que transcurre hasta la aparición de fatiga (220). El *citrus aurantium* contiene sinefrina, un agente simpaticomimético que algunos han sugerido que estimula receptores ß adrenérgicos específicos ($ß_3$, pero no $ß_1$ ni $ß_2$), que a su vez estimulan el metabolismo de las grasas sin ninguno de los efectos secundarios negativos generalmente asociados con compuestos que estimulan los otros receptores adrenérgicos (45). Se cree que la sinefrina, un

componente activo del *citrus aurantium*, interactúa con receptores $ß_3$ para aumentar la lipólisis (el catabolismo de grasa corporal) y reducir al mínimo el efecto cardiovascular típico de las aminas adrenérgicas (45). En la actualidad, no hay suficientes datos publicados sobre el *citrus auratium* solo como para recomendar su consumo como un suplemento para mejorar el rendimiento.

Efectos indeseables

Se ha demostrado que la sinefrina estimula los receptores α_1 periféricos, lo cual provoca vasoconstricción y elevaciones de la tensión arterial (35). Sin embargo, otros estudios de investigación han demostrado que cuando se ingiere sol *citrus aurantium*, no se aprecia ningún efecto sobre la tensión arterial (109), aunque en combinación con otros productos a base de plantas tal vez cause elevaciones significativas de la tensión arterial sistólica (109, 119). Hay que reparar en que la sinefrina está actualmente en la lista de la National Collegiate Athletic Association de sustancias prohibidas que mejoran el rendimiento.

Conclusión

Los atletas con frecuencia están expuestos a recibir información sobre ayudas ergogénicas. Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico desempeñan un papel integral en el proceso de toma de decisiones respecto a qué ayudas ergogénicas eligen los atletas. Por tanto, es imperativo que estos profesionales estén siempre al día sobre los últimos hallazgos científicos en relación con qué ayudas ergogénicas son seguras, eficaces y legales. Si ellos fracasan en esta área, los atletas a los que sirven serán presa fácil de la propaganda y de los anuncios potencialmente falsos, y pueden ser más influenciables por otros que tal vez no antepongan los intereses del atleta. La información contenida en este capítulo es de utilidad al especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico ya que aporta información fundamental sobre las sustancias que mejoran el rendimiento, incluidas aquellas que están prohibidas, las que son eficaces o ineficaces y las que son seguras.

TÉRMINOS CLAVE

acromegalia
agonista ß

aminoácido
  de cadena ramificada
  esencial
análisis antidopaje aleatorios
apilamiento
ayuda ergogénica
  capacidad de tamponamiento muscular (CTM)
dismorfia muscular
ergolítico
eritropoyetina (EPO)
esteroide anabolizante
hormona del crecimiento humano (HGH)
lipólisis
suplemento dietético
termogénesis
testosterona
vasodilatación

PREGUNTAS DE REPASO

(respuestas en la página 657)

1. ¿Cuál de los siguientes suplementos dietéticos se considera estimulante?
   I. Creatina.
   II. Cafeína.
   III. HMB.
   IV. *Citrus aurantium*.
   a. I y II.
   b. II y IV.
   c. III y IV.
   d. I y III.

2. ¿Cuál de las siguientes acciones NO es parte del papel del café en la mejora del rendimiento atlético?
   a. Aumento de la producción de potencia.
   b. Disminución de la depleción de glucógeno.
   c. Aumento de la oxidación de grasas.
   d. Disminución de la producción de orina.

3. ¿Cuál de las siguientes razones es la MEJOR para que los atletas de resistencia aeróbica eviten el consumo de eritropoyetina?
   a. Tal vez disminuyan los niveles del hematocrito y la hemoglobina.
   b. Tal vez cause un aumento no regulado de la producción de glóbulos rojos.
   c. Tal vez se altere la resistencia a las enfermedades infecciosas.
   d. Tal vez se reduzca la capacidad transportadora de oxígeno de la sangre.

4. La suplementación con creatina mejora todas las siguientes variables MENOS:
   a. Masa corporal magra.
   b. Fuerza máxima.
   c. Rendimiento de fondo.
   d. Potencia.

5. ¿Cuál de las siguientes sustancias que mejoran el rendimiento probablemente aumente la masa corporal magra?
   a. Esteroides anabolizantes.
   b. Arginina.
   c. Efedrina.
   d. ß-alanina

CAPÍTULO 12

Principios de la selección y administración de pruebas

Michael McGuigan*

A la conclusión del capítulo, el lector:

- Identificará y explicará las razones por las que se deben realizar pruebas.
- Comprenderá la tecnología de las pruebas para poder comunicarse claramente con atletas y colegas.
- Evaluará la validez y fiabilidad de las pruebas.
- Seleccionará pruebas que sean apropiadas.
- Administrará los protocolos de la prueba correctamente y con seguridad.

* El autor agradece la significativa aportación de Everett Harman en la redacción de este capítulo.

Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico, poseedores de amplios conocimientos sobre la ciencia del ejercicio, aprovechan con eficacia pruebas y mediciones para tomar decisiones respecto al entrenamiento a fin de que los atletas logren sus objetivos y saquen el máximo partido a su potencial. Las pruebas y mediciones forman el núcleo objetivo del proceso de evaluación. Este capítulo aborda las razones por las que se hacen pruebas, la terminología usada en ellas, la evaluación de su calidad, la selección de pruebas apropiadas y otros aspectos para la correcta administración de las mismas.

Razones para las pruebas

Las pruebas ayudan a atletas y entrenadores a determinar el talento atlético y a identificar las habilidades físicas y áreas que necesitan mejorar. Las puntuaciones en las pruebas también sirven para establecer objetivos. Mientras que las medidas de referencia sirven para fijar puntos de partida respecto a los cuales marcarse metas alcanzables, la práctica de pruebas a intervalos regulares ayuda a seguir el progreso de los atletas en la consecución de esas metas. El empleo de pruebas como base para establecer metas permite a los entrenadores marcar objetivos específicos para los distintos atletas que, cuando se contemplan en conjunto, ayudan a cumplir los objetivos del grupo o equipo (véase en el capítulo 8 más información sobre el establecimiento de metas).

Determinación del talento atlético

Es importante que los entrenadores determinen si una persona posee el potencial físico para practicar un deporte al nivel competitivo del equipo. Esa valoración no resulta difícil si el candidato ya ha sobresalido en ese deporte en otro club y tiene el tamaño corporal adecuado. No obstante, en muchos casos, los candidatos no han demostrado claramente su capacidad competitiva o tal vez carezcan de experiencia en el deporte. Es entonces cuando el entrenador necesita algún medio para determinar si el candidato cuenta con las capacidades físicas básicas y necesarias que, junto con la preparación técnica y la práctica, podrían hacer de él un jugador de competición. Las pruebas de campo son herramientas para realizar tales evaluaciones.

Identificación de las habilidades físicas que hay que mejorar

Mientras que algunas habilidades físicas son innatas y no son susceptibles de cambios, otras sí que mejoran con entrenamiento físico. Al usar métodos y análisis apropiados, los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico determinan las cualidades físicas de los atletas que se pueden trabajar mediante la participación en programas de prescripción del ejercicio (25, 28).

Las pruebas sirven para determinar el talento atlético, para identificar las habilidades físicas en áreas que necesitan mejorar, para marcarse metas y evaluar el progreso.

Terminología de las pruebas

Para comunicarse con claridad con los atletas y colegas de oficio, los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico deberían usar una terminología uniforme. Los siguientes términos y sus definiciones son ampliamente aceptados y son los que se emplean en este libro:

- **Prueba (test).** Procedimiento para evaluar la capacidad para la práctica de un esfuerzo particular.
- **Prueba de campo.** Prueba usada para evaluar la capacidad que se realiza lejos de los laboratorios y que no requiere una amplia preparación del personal ni un equipamiento caro (8).
- **Medición.** Proceso de recogida de los datos de las pruebas (14).
- **Evaluación.** Proceso de análisis de resultados de una prueba con la finalidad de tomar decisiones. Por ejemplo, un entrenador examina los resultados de las pruebas de rendimiento físico para determinar si el programa de entrenamiento de un atleta es eficaz en lo concerniente a conseguir las metas del entrenamiento y si se necesita introducir modificaciones en el programa.
- **Pretest.** Prueba administrada antes del inicio del entrenamiento con el fin de determinar los niveles de capacidad física iniciales del atleta. Un pretest permite al entrenador diseñar un programa de entrenamiento teniendo en cuenta el nivel inicial de entrenamiento del atleta y los objetivos generales del programa.
- **Midtest.** Prueba realizada una o más veces durante el período de entrenamiento para evaluar el progreso y modificar el programa, si fuese necesario, para obtener el máximo beneficio.
- **Evaluación formativa.** Reevaluación periódica basada en los *midtests* realizados durante el entrenamiento, por lo general a intervalos regulares (2). Permite monitorizar el progreso del atleta y ajustar el programa de entrenamiento de acuerdo con sus necesidades individuales. También permite la evaluación de distintos métodos de entrenamiento y la colección de datos normativos. La modificación regular del programa de entrenamiento basado en la evaluación formativa conserva la frescura del programa de entrenamiento y consigue que siga siendo interesante para evitar el agotamiento físico y mental.
- **Postest.** Prueba administrada después del período de entrenamiento para

determinar el éxito del programa en la consecución de sus objetivos.

Evaluación de la calidad de las pruebas

Los resultados de las pruebas solo son útiles si realmente miden lo que se supone que tienen que medir (validez) y si la medición es repetible (fiabilidad). Estas dos características son los factores clave para evaluar la calidad de las pruebas y deben estar presentes para que sean provechosas.

Validez

La **validez** se refiere al grado en que una prueba o un ítem de una prueba miden lo que se supone que miden, y es una de sus características más importantes (2, 22). En el caso de pruebas de propiedades físicas como la altura y el peso, la validez es fácil de establecer. Por ejemplo, una estrecha correspondencia entre las lecturas de una báscula de muelle y las lecturas de una báscula de equilibrio calibrada ratifica la validez del pesaje con la báscula de muelle. La validez de las pruebas de las habilidades y capacidades físicas es más difícil de establecer. Hay varios tipos de validez, como la validez de constructo, la validez aparente, la validez de contenido y la validez referida a los criterios.

La validez es el grado en que una prueba o el ítem de una prueba miden lo que se supone que miden; esta es una de las características más importantes de las pruebas.

Validez de constructo

La **validez de constructo** es la capacidad de una prueba para representar el constructo subyacente (la teoría desarrollada para organizar y explicar algunos aspectos del conocimiento y las observaciones existentes). La validez de constructo se refiere a la validez general, o al grado en que la prueba realmente determina aquello para lo que se concibió (21). La validez aparente, la validez de contenido y la validez referida a los criterios, que se definen a continuación, son secundarias y aportan pruebas de la validez de constructo.

Para ser válidas, las pruebas del rendimiento físico deben medir capacidades importantes en el deporte, producir resultados repetibles (véase el apartado siguiente sobre «Fiabilidad»), medir el rendimiento de un atleta

en un momento (a menos que se especifique otra cosa en el protocolo), que parezcan significativas, que tengan la dificultad adecuada, que sean capaces de diferenciar entre diversos niveles de capacidad, que permitan obtener una puntuación precisa, que incluyan un número suficiente de intentos y que pasen la prueba de la evaluación estadística. Para la elección entre dos pruebas válidas, se prestará atención a la simplicidad y economía de administración de las pruebas.

Validez aparente

La **validez aparente** es la presunción por parte del atleta y otros observadores casuales de que la prueba mide lo que se propone medir. Si una prueba o un ítem de una prueba tienen validez aparente, es más probable que el atleta responda positivamente (1). La determinación de la validez aparente suele ser informal y no cuantitativa. En otros campos, como en la psicología, las pruebas se conciben deliberadamente en ocasiones para que tengan escasa validez aparente, porque, si los examinandos se dan cuenta de lo que se supone que mide una prueba o un ítem de la prueba, tal vez respondan engañosamente para manipular las puntuaciones. En el caso de pruebas de las habilidades atléticas básicas, la validez aparente es deseable por la presunción de que cualquiera que realice una prueba de habilidad física quiere hacerla bien, y por tanto se ve motivado si parece que esta mide una capacidad relevante.

Validez de contenido

La **validez de contenido** es la determinación por parte de expertos de que una prueba cubre todos los temas relevantes o componentes de las capacidades en proporciones apropiadas (1). En las pruebas atléticas son todos los componentes de las capacidades necesarios para un deporte concreto o una posición en ese deporte. Ejemplos de componentes de las capacidades en el atletismo son la capacidad de salto, la capacidad de esprintar y la fuerza del hemicuerpo inferior (34). Por ejemplo, una batería de pruebas para potenciales futbolistas debería incluir, como mínimo, pruebas de velocidad de esprín, agilidad, tolerancia física y potencia de golpeo del balón. Para garantizar la validez de contenido, el creador de la prueba debe enumerar los componentes de las capacidades que se van a evaluar y asegurarse de que todos están representados en la prueba. Además, la

proporción de la puntuación total atribuible a un componente particular de una capacidad debe ser proporcional a la importancia de ese componente respecto al rendimiento total. Mientras que términos como *validez aparente* y *validez de contenido* se usan a veces como sinónimos, el primero está relacionado con la validez real y el segundo con la apariencia de validez a ojos de los legos en el tema (1).

Validez referida a los criterios

La **validez referida a los criterios** es el grado en que las puntuaciones de una prueba se asocian con alguna otra medida de la misma capacidad. Hay tres tipos de validez referida a los criterios: concurrente, predictiva y discriminante.

La **validez concurrente** es el grado en que las puntuaciones de una prueba se asocian con las de otras pruebas aceptadas que midan la misma capacidad. La validez referida a los criterios a menudo se calcula estadísticamente. Por ejemplo, el coeficiente de correlación producto-momento de Pearson –basado en las puntuaciones de un nuevo aparato medidor de la grasa corporal y en las puntuaciones de la absorciometría por rayos X de doble energía– aportaría una medición de la validez concurrente de la nueva prueba.

La **validez convergente** se manifiesta mediante la elevada correlación positiva entre los resultados de la prueba que se evalúa y los de una medición reconocida del constructo (la «regla de oro»). La validez convergente es el tipo de validez concurrente que suelen mostrar las pruebas de campo usadas por los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico. Una prueba tal vez sea preferible a la regla de oro si revela validez convergente con la regla pero es menos exigente en cuestión de tiempo, equipamiento, gastos o grado de experiencia del personal.

La **validez predictiva** es el grado en que la puntuación de la prueba se corresponde con el futuro comportamiento o rendimiento. Se mide mediante la comparación de la puntuación de una prueba con alguna medición del éxito en el deporte en sí. Por ejemplo, es posible calcular la correlación estadística entre la puntuación general en una batería de pruebas usada para evaluar la capacidad potencial para el baloncesto y una medición del rendimiento real en dicho deporte, teniendo en cuenta un conjunto de cualidades como los puntos anotados, las pérdidas forzadas de balón, los rebotes capturados, las asistencias, los tapones y los robos de balón.

La **validez discriminante** es la capacidad de una prueba para distinguir

entre dos constructos distintos y se manifiesta por una baja correlación entre los resultados de la prueba y los de las pruebas de un constructo distinto (2). Lo mejor es que las pruebas de una batería midan componentes de capacidades relativamente independientes (p. ej., la flexibilidad, la velocidad, la resistencia aeróbica). Una buena validez discriminante de las pruebas de una batería evita una inversión innecesaria en tiempo, energía y medios para administrar pruebas que guardan una correlación muy alta entre ellas.

Fiabilidad

La **fiabilidad** es una medición del grado de consistencia o repetitividad de una prueba (2, 15). Si un atleta cuya capacidad no cambia se mide dos veces con una prueba totalmente fiable, se obtendrá dos veces la misma puntuación. En el caso de una prueba poco fiable, una persona podría obtener una puntuación alta un día y una puntuación baja otro día. Toda prueba debe ser fiable para ser válida, porque unos resultados demasiado variables tal vez no sean válidos, dado que es posible que la prueba no mida lo que se supone que debe medir. Por ejemplo, tanto el esprín de 60 m como la carrera de 2,4 km son pruebas de campo fiables, pero solo se considera válida la carrera de 2,4 km para medir la capacidad aeróbica. También es posible que una prueba sea muy fiable para un grupo (p. ej., los tenistas universitarios), pero solo moderadamente fiable para otro (p. ej., los tenistas en edad de ir al instituto) debido a las diferencias en la madurez física o emocional y en su nivel de destreza, que pueden influir en el resultado de la prueba.

Hay varias formas de determinar la fiabilidad; la más evidente es administrar la misma prueba varias veces en el mismo grupo de atletas. La correlación estadística de las puntuaciones de dos administraciones proporciona una medición de la **fiabilidad de test-retest**. Cualquier diferencia entre las dos series de puntuaciones representa un error de medición. Otra estadística que se puede calcular es el **error típico de medida** (EM), que comprende tanto errores de equipamiento como la variabilidad biológica de los atletas (15). La diferencia entre las dos series de puntuaciones puede tener su origen en varios factores distintos (2):

- Variabilidad intraindividual.
- Falta de fiabilidad o falta de acuerdo entre evaluadores.
- Variabilidad entre evaluadores.
- Incapacidad de la prueba en sí para aportar resultados uniformes.

La fiabilidad es una medida del grado de consistencia o repetitividad de una prueba. Una prueba debe ser fiable para ser válida, porque unos resultados muy variables ofrecen muy poco sentido.

La **variabilidad intraindividual** es la ausencia de unos resultados uniformes en la persona que se somete a prueba. La fiabilidad entre evaluadores, también llamada **objetividad** o **acuerdo entre evaluadores** (2), es el grado en que distintos evaluadores coinciden en los resultados de las pruebas a lo largo del tiempo o en repetidas ocasiones; es una medida de la consistencia. Es esencial contar con un sistema de puntuación claramente definido y con administradores competentes que cuenten con adiestramiento y experiencia en la prueba para mejorar la fiabilidad entre evaluadores. Por ejemplo, incluso una prueba aparentemente fácil, como el cronometraje de un esprín de 37 metros, puede mostrar errores aleatorios y sistemáticos si el cronometrador no cuenta con preparación y experiencia. Las marcas en esprines obtenidas usando cronómetros de mano suelen ser más cortas que las que se obtienen con cronómetros automáticos, porque las personas que usan cronómetros suelen exhibir un retraso en el tiempo de reacción cuando aprietan el botón de empiece al oír el pistoletazo de salida, aunque no se retrasan al apretar el botón en la línea de meta, porque ven la aproximación del atleta. La fiabilidad entre evaluadores es especialmente importante si distintos calificadores administran pruebas a distintos subgrupos de atletas. Un subgrupo con un evaluador relativamente permisivo obtendrá puntuaciones artificialmente infladas. Para obtener una medición precisa de la mejoría, el mismo evaluador debería someter a prueba a un grupo al principio y al final del período de entrenamiento. Si hay dos evaluadores y el primero de ellos es más o menos permisivo que el último, las mediciones resultantes tal vez carezcan de valor con fines comparativos. Supongamos una situación en la que se pone a prueba a un atleta con sentadillas. Si el evaluador pretest es más permisivo (exige menos profundidad en las sentadillas) que el evaluador postest, el atleta tal vez obtenga una puntuación más baja en el postest a pesar de haber conseguido una mejora significativa en la fuerza.

Entre las fuentes de las diferencias entre evaluadores encontramos variaciones en la calibración de los aparatos usados, en la preparación de los atletas y en la ejecución de la prueba. Distinto personal puede motivar a los atletas en distinto grado, basándose en factores como la personalidad, el estatus, el aspecto físico, el comportamiento y el sexo. Un escenario habitual que aumenta la variabilidad entre evaluadores ocurre cuando el entrenador

pone a prueba a algunos atletas mientras un ayudante somete a prueba a otros. Los atletas tal vez se sientan inspirados a rendir más en las pruebas administradas por el entrenador.

La variabilidad entre evaluadores es la falta de puntuaciones constantes a cargo de un evaluador dado. Difiere de la fiabilidad entre evaluadores, que se refiere al grado de acuerdo entre distintos evaluadores. Por ejemplo, un entrenador ansioso por ver mejoras puede, involuntariamente, ser más permisivo en un postest que en un pretest. Otras causas de la variabilidad entre evaluadores son la falta de suficiente preparación, la inatención, la falta de concentración, la incapacidad para seguir procedimientos estándar a la hora de calibrar los aparatos, la preparación de los atletas, la administración de las pruebas o la puntuación de las mismas. Para evitar estos problemas, debe ser una prioridad para todos los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico que las pruebas sean precisas y homogéneas.

Por último, a veces la misma prueba quizá no proporcione resultados uniformes. Esto tal vez ocurra si una prueba de esfuerzo requiera una técnica en la que el atleta no ha adquirido consistencia. Las pruebas más técnicas e intensas suelen mostrar mayor variabilidad en los resultados y requieren más práctica pretest para conseguir consistencia.

Selección de pruebas

Al determinar si las pruebas muestran niveles altos de validez y fiabilidad, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe fiarse de sus conocimientos y de su experiencia práctica con el deporte. Debe considerar la especificidad del deporte (p. ej., los sistemas de energía metabólica, los patrones de movimiento biomecánico), la experiencia del atleta, el estado de entrenamiento, la edad y factores ambientales a la hora de seleccionar pruebas.

Especificidad del sistema de energía metabólica

Toda prueba válida debe emular los requisitos energéticos del deporte cuya capacidad se está evaluando. Por tanto, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe tener un conocimiento profundo de los sistemas de energía básicos (del fosfágeno, glucolítico y oxidativo) y sus interrelaciones para aplicar el principio de la especificidad al elegir o diseñar pruebas válidas para medir la capacidad atlética para el deporte específico (7,

10, 16, 33). Por ejemplo, al elegir una prueba apropiada para determinar la capacidad para correr en el baloncesto, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe entender que el baloncesto es predominantemente un deporte anaeróbico (3, 23) y también estar familiarizado con las distancias y direcciones de los esprines en los partidos. Lo mejor es que las pruebas simulen los movimientos físicos y las exigencias de energía de un partido de verdad.

Especificidad del patrón de movimiento biomecánico

Siendo todo lo demás igual, cuanto más parecida sea la prueba a un movimiento importante en el deporte, mejor. Los deportes difieren en sus exigencias físicas. Por ejemplo, la prueba de salto vertical es muy específica del baloncesto y el voleibol, en los cuales se producen muchos saltos verticales durante el juego, pero es menos relevante para el hockey, en el cual no hay saltos verticales. Las posiciones en el terreno de juego también difieren en un mismo deporte. Un liniero defensivo de fútbol americano necesita fuerza de empuje para apartar de su camino a los linieros contrarios, y velocidad para esprintar 5 a 14 metros con el fin de placar al quarterback contrario, mientras que un receptor abierto depende menos de su fuerza de empuje y más de su velocidad para esprintar 27 a 91 metros con rapidez. Por tanto, el *press* de banca y el esprín de 9 m serían más relevantes para el liniero, mientras que las pruebas de esprín de 27 a 91 metros serían más relevantes para el receptor abierto.

Para que una prueba sea válida, debe emular los requisitos energéticos y los movimientos importantes requeridos en un deporte y que se someten a prueba.

Experiencia y estado de entrenamiento

Para atletas experimentados y bien entrenados, una prueba técnica-intensiva puede ser apropiada porque es muy específica del deporte, y se puede asumir que una mala técnica no alterará el resultado de la prueba. Sin embargo, este supuesto no es aplicable a atletas que acaben de iniciarse o probar un deporte. El número de saltos a una pierna necesarios para recorrer 25 metros tal vez represente una prueba válida y fiable de la fuerza pliométrica de un saltador de longitud experimentado, pero no de un novato (8).

El personal también debe tener en cuenta el estado de entrenamiento de los

atletas sometidos a prueba. No sería ideal, por ejemplo, pedir a un jugador de baloncesto que se embarque en una carrera de 4,8 km antes de iniciar los entrenamientos en un campamento de otoño, porque el jugador probablemente habrá estado haciendo un entrenamiento interválico y rodajes relativamente cortos (29). Una prueba de la fuerza del hemicuerpo inferior mediante sentadillas paralelas no sería una prueba ideal para un atleta que haya entrenado exclusivamente el *press* de piernas.

Edad y sexo

Tanto la edad como el sexo influyen en la validez y fiabilidad de las pruebas. Por ejemplo, la carrera de 2,4 km es una prueba de campo válida y fiable de la potencia aeróbica para hombres y mujeres en edad universitaria (18), pero tal vez no sea apropiada para preadolescentes por su probable falta de experiencia e interés en correr una distancia prolongada (27). Una prueba del número máximo de dominadas por abajo tal vez sea una prueba válida de la resistencia muscular de la flexión del codo de luchadores varones, pero tal vez no sea tan válida para las mujeres debido a diferencias en la fuerza de tracción del hemicuerpo superior (24). La prueba quizá no sea capaz de diferenciar los niveles de resistencia muscular de las mujeres. Por tanto, tal vez sea una prueba más válida usar un ejercicio modificado en decúbito prono de dominadas por encima y con los pies apoyados.

Factores ambientales

Es necesario tener en cuenta el entorno al seleccionar y administrar pruebas de la capacidad atlética básica. Una temperatura ambiente alta, sobre todo combinada con una humedad elevada, altera el rendimiento de los ejercicios de fondo, impone riesgos para la salud y disminuye la validez de una prueba de esfuerzo de resistencia aeróbica. El rendimiento de resistencia aeróbica (26, 32) y el rendimiento en esprines intermitentes (13) tal vez se altere cuando la temperatura alcanza 26,7 °C, sobre todo si la humedad supera el 50% (17). Los efectos de la temperatura y la humedad sobre el rendimiento en las pruebas pueden crear problemas para comparar los resultados de las pruebas administradas en distintos momentos del año, en días distintos e incluso en momentos diferentes del día. Por ejemplo, el consumo máximo de oxígeno de un atleta alterado por el calor se infravalora en la prueba de correr 2,4 km. Las marcas en la carrera también se alteran si hace frío. Por tanto, las

pruebas al aire libre de resistencia aeróbica tal vez sean inapropiadas en lugares caracterizados por amplias fluctuaciones de la temperatura. En tales lugares, las pruebas de resistencia aeróbica se pueden administrar en una pista cubierta, si la hubiere, o con una cinta sin fin o una bicicleta estática.

La altitud también altera los resultados de las pruebas de resistencia aeróbica, aunque no las pruebas de fuerza y potencia (11). Las normas para las pruebas de resistencia aeróbica se deben ajustar cuando se hacen pruebas a una altura por encima de 580 metros. Hasta 2.740 metros, el consumo máximo de oxígeno declina aproximadamente un 5% por cada 910 m de elevación. A una altura incluso mayor, el consumo máximo de oxígeno declina más abruptamente. Los atletas que llegan a una altura relativamente elevada después de vivir cerca del nivel del mar durante un período extenso deberían contar con al menos 10 días de aclimatación antes de someterse a pruebas de resistencia aeróbica (31). Para todas las pruebas es una buena práctica medir y documentar las condiciones ambientales y luego tener en cuenta estos factores al interpretar los resultados.

La experiencia, el estado de entrenamiento, la edad y el sexo de los atletas influyen en el resultado, por lo que se deben tener en cuenta para la selección de la prueba. Factores ambientales como la temperatura, la humedad y la altitud también influyen en el resultado de la prueba, por lo que los evaluadores deben procurar estandarizar las condiciones ambientales en la medida de lo posible.

Administración de pruebas

Para obtener resultados precisos en las pruebas, estas se deben administrar de manera segura, correcta y de forma organizada. Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico deben garantizar la salud y seguridad de los atletas; el personal de las pruebas se debe seleccionar y formar cuidadosamente; las pruebas deben estar bien organizadas y administradas con eficacia, y los atletas deben estar adecuadamente preparados e instruidos.

Consideraciones sobre la seguridad y la salud

Aunque todos los atletas deben contar con autorización médica antes de que se les permita entrenar físicamente y competir, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe ser consciente de las condiciones de las pruebas que puedan representar una amenaza para la salud de los atletas y conocer los signos y síntomas de los problemas de salud que requieran la

exclusión de la prueba (4). El especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe estar atento al estado de salud de los atletas, sobre todo antes, durante y después de los esfuerzos máximos durante el entrenamiento, las pruebas y la competición. El ejercicio agotador, como las pruebas de rodaje al máximo o de 1 repetición máxima (1RM), puede poner al descubierto o agudizar problemas cardíacos existentes, como alteraciones del riego sanguíneo del músculo cardíaco y latido cardíaco irregular. El reconocimiento médico estándar no siempre descubre problemas cardíacos ocultos que ocasionalmente causan la muerte de atletas jóvenes (27). Las termopatías también son un riesgo durante el ejercicio físico intenso con calor, sobre todo si la humedad es elevada. Los atletas deben llevar ropa ligera cuando haga calor y beber agua a voluntad según los dictados de la sed antes y durante esfuerzos físicos intensos con calor (remitimos a los capítulos 9 y 10 donde aparecen pautas de hidratación más detalladas). Las lesiones musculoesqueléticas también son un problema. Si se hace caso omiso de los síntomas, la recuperación tal vez se difiera enormemente.

La derivación a médicos especialistas debe estar garantizada para los atletas que manifiesten persistentemente cualquiera de los siguientes síntomas: presión, molestias o dolor torácicos; apatía; aturdimiento; mareos, confusión, cefaleas; piel enrojecida, fría o viscosa; pulso irregular; dolor óseo o articular; visión borrosa; náuseas; o disnea, pulso rápido o debilidad discorde con el nivel de esfuerzo o que no responde al reposo. Tales síntomas se pueden manifestar mucho después de que el ejercicio haya acabado. Incluso si los síntomas se manifiestan solo una vez, si son graves (como la pérdida del conocimiento), hay que pedir asistencia médica inmediata.

Cuando las pruebas de esfuerzo de resistencia aeróbica se administran en un ambiente cálido, hay que actuar con precaución para proteger tanto la salud y la seguridad del atleta como la validez de la prueba. La figura 12.1 enumera los límites de la temperatura con distintos valores de humedad relativa para pruebas de esfuerzo extremo, y el cuadro enumera las pautas para poder hacer una prueba de resistencia aeróbica con calor.

Selección y preparación de los evaluadores

Los administradores de las pruebas deben contar con una buena preparación y conocer a fondo todos sus procedimientos y protocolos. El supervisor de las pruebas se debe asegurar de que todo el personal novato ejecute y puntúe

todas las pruebas correctamente, como al cronometrar la velocidad de un esprín o al determinar 1RM en una sentadilla trasnuca. Es esencial que todos los evaluadores cuenten con suficiente práctica para que las puntuaciones obtenidas guarden estrecha correlación con las que están a cargo de personal fiable y experimentado. Los evaluadores deben estar entrenados para explicar y administrar las pruebas de la forma más consistente posible. La fiabilidad de las pruebas se altera, por ejemplo, si un administrador de la prueba aporta considerables ánimos verbales a un grupo de atletas mientras que otro examinador no anima verbalmente a otro grupo. Los administradores deben contar con una lista de verificación de los materiales necesarios para la prueba y los protocolos escritos sobre la misma a los que remitirse si surgen preguntas durante el proceso de la prueba.

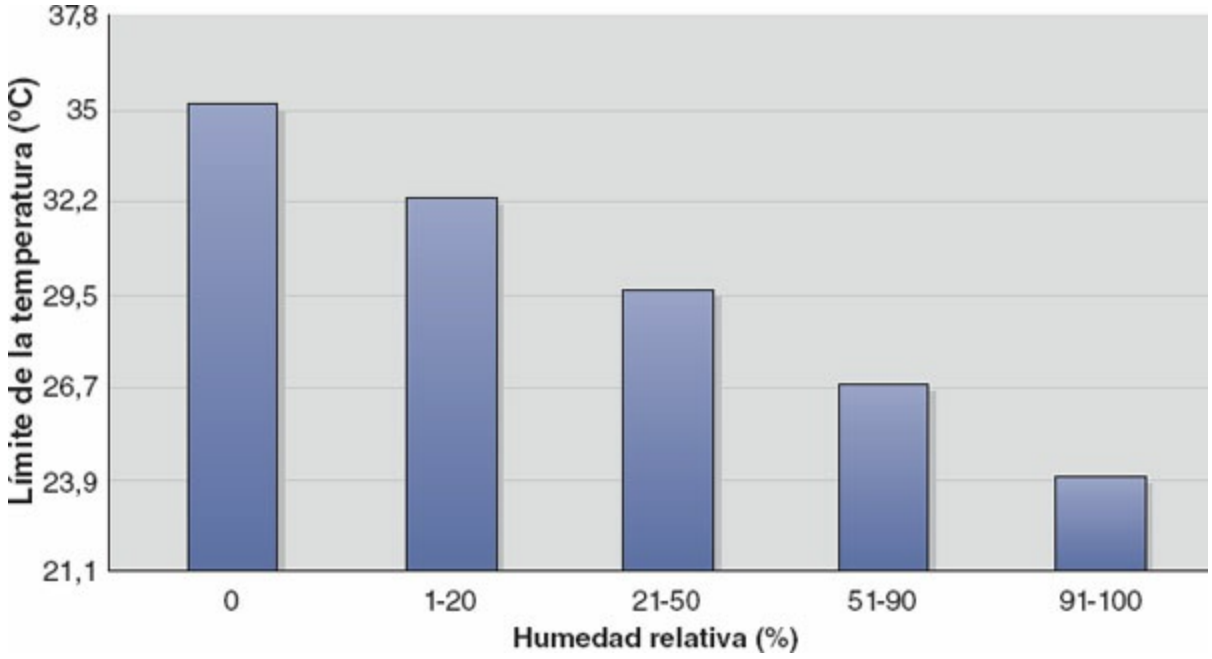


FIGURA 12.1 Límites de la temperatura con distintas lecturas de la humedad relativa para una prueba de esfuerzo extremo.

Fuente: Datos de McArdle, Katch, y Katch (20).

Formularios de muestra

Los formularios de muestra deben estar preparados antes de la sesión y deben contar con espacio para apuntar todos los resultados y comentarios de la prueba. Factores como las condiciones ambientales se deben documentar. También hay que apuntar los detalles específicos de la organización de la

prueba. Por ejemplo, para 1RM en sentadilla, el evaluador puede anotar la altura de la clavija para la barra de pesas. Esto permite que el tiempo de la prueba se use con más eficacia y se reduzca la incidencia de que se registren errores.

Formato de la prueba

Una sesión bien organizada para la prueba, en la que los atletas sean conscientes de su propósito y procedimientos, mejorará la fiabilidad de sus mediciones. Las mediciones fiables obtenidas en pruebas válidas son un gran activo para valorar los niveles de forma física y evaluar los cambios durante un período de tiempo.

La planificación de la prueba debe abordar problemas como si los atletas se deben someter a la prueba todos a la vez o en grupos y si la misma persona administrará una prueba dada a todos los atletas. La principal consideración aquí es el número de atletas que se someten a prueba. Es preferible que la misma persona administre una prueba dada si el tiempo y los horarios lo permiten, porque esto elimina el problema de la fiabilidad entre evaluadores. Si esto no es posible, el supervisor de la prueba puede permitir que pruebas sencillas y bien definidas (como contar el número correcto de flexiones de brazos) se administren por distintos evaluadores, así como pruebas que requieran un dictamen colegiado (como la correcta ejecución de las sentadillas). Como regla general, todos los evaluadores deben administrar solo una prueba cada vez, sobre todo cuando las pruebas requieren juicios complejos. Es permisible que un evaluador alterne dos estaciones para evitar malgastar tiempo mientras los atletas se preparan. Sin embargo, el evaluador se debe centrar en solo una prueba a la vez. Planificar y practicar con antelación las sesiones de la prueba posibilitará mucho más el garantizar que la sesión discurra con eficacia.

Series de pruebas y pruebas de múltiples intentos

Cuando el tiempo es limitado y el grupo de atletas es numeroso, a veces se preparan dos pruebas simultáneas para hacer un uso eficiente del tiempo. Por ejemplo, mientras se realiza la carrera de ida y vuelta de 274 metros, se puede preparar un segundo circuito (12). Un examinador puede administrar hasta dos pruebas no fatigantes a un atleta, una tras otra, siempre y cuando se garantice la fiabilidad de las pruebas. Por ejemplo, en una estación de

valoración de la potencia del hemicuerpo inferior, donde un solo evaluador administra dos pruebas, el atleta puede practicar la prueba de salto vertical e, inmediatamente después, la prueba de salto de longitud parado.

Cuando se practiquen múltiples intentos de una prueba (p. ej., los repetidos intentos que se precisan para hallar 1RM) o una batería de pruebas, se permitirá una recuperación completa entre intentos (28). Deben transcurrir al menos 2 minutos de descanso entre intentos cercanos al máximo, según la dificultad relativa del intento previo o de la serie de pruebas (19). Cuando se administre una **serie de pruebas** (p. ej., una en que los luchadores practiquen el máximo de repeticiones en las pruebas de flexiones de brazos y de dominadas por encima para determinar la resistencia de musculatura localizada), entre las pruebas deben mediar al menos 5 minutos para prevenir que los efectos de la fatiga alteren los resultados de la prueba (véase también el apartado siguiente).

Prueba de resistencia aeróbica con calor

Se deben seguir estas pautas para reducir los riesgos para la salud y obtener resultados precisos al someter a prueba a los atletas cuando hace calor (6, 20, 27):

1. Durante las semanas previas a la prueba, los atletas deben entrenar lo suficiente como para establecer unos valores de referencia de la forma física en la actividad que se pone a prueba. Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico deben ser conscientes de que las respuestas al ejercicio haciendo calor son muy individuales.
2. No se administrarán las pruebas cuando haga mucho calor y humedad. La figura 12.1 enumera las combinaciones de temperatura y humedad que plantean un riesgo para la salud. Se recomienda limitar la temperatura a las que estén 3 °C por debajo de las que aparecen en la lista, sobre todo los días soleados, para proporcionar un margen de seguridad y permitir un mejor rendimiento en las pruebas. Los días en que la temperatura haya excedido o se espere que supere los límites recomendados, se usarán instalaciones bajo techo si hubiera disponibles, o las pruebas se realizarán por la mañana o a última hora de la tarde cuando las temperaturas sean aceptables.
3. Los atletas, sobre todo los que proceden de climas fríos, se deben aclimatar al calor y la humedad durante al menos una semana antes de las pruebas. Se empieza con entrenamientos cortos y se va avanzando a entrenamientos de mayor duración.
4. Los atletas se deben asegurar de estar bien hidratados durante las 24 horas precedentes a la prueba de resistencia aeróbica con calor. Un buen indicador de una hidratación adecuada es un volumen abundante de orina clara (remitimos al capítulo 9 para unas pautas más detalladas sobre la hidratación previa al ejercicio). Las pastillas de sal se deben evitar habitualmente.
5. Se debe animar a los atletas a beber durante el ejercicio con calor. El agua es muy apropiada para el ejercicio de hasta 1 hora de duración. Los descansos para tomar algo durante entrenamientos de mayor duración ayudan a reponer los líquidos y son importantes para reponer electrolitos. El grado y rapidez del remplazamiento de

líquidos depende de la tasa individual de sudoración, de la duración del ejercicio y del entorno. Remitimos al capítulo 9 donde aparecen unas pautas específicas y se explica cómo calcular la tasa de sudoración si fuese necesario.
6. Los atletas deben llevar pantalones cortos y camisetas holgadas sin mangas de colores claros que sean transpirables (es decir, fibras sintéticas porosas, tejidos que absorban la humedad). Los atletas varones pueden ir sin camiseta.
7. Se puede monitorizar la frecuencia cardíaca para detectar reacciones al calor.
8. Hay que estar atentos a posibles síntomas de golpe de calor o de insolación: calambres, náuseas, mareos, dificultad para caminar o estar de pie, desvanecimientos, habla confusa, ausencia de sudor, piel enrojecida o cenicienta, y carne de gallina.
9. Hay que tener muy presentes los síntomas de hiponatremia o intoxicación hídrica, una afección potencialmente mortal en la que una ingesta excesiva de agua reduce el sodio en la sangre hasta niveles peligrosamente bajos. Los síntomas comprenden orina extremadamente diluida combinada con piel edematosa, alteración de la conciencia o pérdida del conocimiento, sin aumento de la temperatura corporal. A una víctima de hiponatremia nunca se le pueden administrar líquidos y deberá recibir tratamiento médico.
10. Se debe disponer de cobertura médica inmediata para que los atletas que sufran algún problema relacionado con las pruebas reciba tratamiento o sea evacuado rápidamente (o ambas cosas).

Secuencia de pruebas

Conocer la ciencia del ejercicio ayuda a determinar el orden correcto de las pruebas y la duración de los períodos de descanso entre las mismas para garantizar su fiabilidad. El principio fundamental a la hora de secuenciar las pruebas debe ser que una prueba no altere al rendimiento de las siguientes. Así se permite un rendimiento óptimo en cada prueba y también posibilita establecer comparaciones válidas con los resultados de las pruebas previas. Por ejemplo, una prueba que grave al máximo el sistema de energía del fosfágeno requerirá de 3 a 5 minutos de descanso para una recuperación completa (5, 9), mientras que una prueba máxima del sistema energético de glucólisis anaeróbica requerirá al menos 1 hora para una recuperación completa (7). Por tanto, las pruebas que requieren movimientos de gran destreza, como las pruebas de agilidad, se deben administrar antes que las pruebas que probablemente causen fatiga y confundan los resultados de las siguientes pruebas. Una secuencia lógica, aunque haya algunas variaciones, pasa por administrar pruebas en este orden:

1. Pruebas no fatigantes (p. ej., mediciones de la altura, el peso, la flexibilidad y los pliegues cutáneos y perímetros del cuerpo, salto vertical).

2. Pruebas de agilidad (p. ej., test T, prueba de agilidad de 10 × 5 metros).
3. Pruebas de fuerza y potencia máximas (p. ej., 1RM, cargada de potencia, 1RM en sentadilla).
4. Pruebas de velocidad (p. ej., esprín de 40 metros con tiempos parciales a los 10 y 20 m).
5. Pruebas de resistencia de musculatura localizada (p. ej., prueba de flexiones de brazos).
6. Pruebas de capacidad anaeróbica (p. ej., carrera de ida y vuelta de 275 m).
7. Pruebas de capacidad aeróbica (p. ej., carrera de 2,4 km y prueba yo-yo de recuperación intermitente).

El orden de las pruebas también debe permitir un tiempo de recuperación mínimo entre series, para posibilitar sesiones más eficaces. Se debe hacer un esfuerzo para administrar las pruebas fatigantes de la capacidad anaeróbica y las pruebas aeróbicas en distintos días que las otras pruebas. Sin embargo, si se practican el mismo día, estas pruebas se deben administrar al final, después de un amplio período de descanso.

Es importante que las sesiones se realicen en el mismo momento del día para evitar fluctuaciones en las respuestas fisiológicas debido a diferencias en el ritmo circadiano (30). También se recomienda que las pruebas se practiquen bajo techo, con lo cual se mantienen más constantes las condiciones climáticas y la superficie en que se desarrollan las pruebas.

El orden de las pruebas se debe designar de forma que la realización de una prueba no influya negativamente en los resultados de las siguientes.

Preparación de los atletas para las pruebas

La fecha, la hora y propósito de una batería de pruebas se deben anunciar con antelación para que los atletas se preparen física y mentalmente. Para asegurar la fiabilidad de las pruebas, los atletas se deben familiarizar con el contenido y procedimientos de las mismas. A menudo vale la pena organizar una sesión práctica o de familiarización con las pruebas, supervisada y corta, para que los atletas se ejerciten a una intensidad inferior a la máxima. Si se hace esto, se deberá repetir en todas las sesiones futuras. Una estrategia consiste en incorporar la familiarización con las pruebas en las sesiones de entrenamiento.

Las instrucciones deben cubrir el propósito de la prueba, cómo se debe administrar, el calentamiento recomendado, el número de intentos permitidos a modo de ensayo, el número de intentos en sí, la puntuación de la prueba, los criterios para descartar intentos y recomendaciones para mejorar el rendimiento. Las instrucciones que se dan a los atletas deben ser claras y concisas para aumentar la fiabilidad y objetividad de la prueba (22).

Un aspecto importante al leer las instrucciones de la prueba en voz alta es que el administrador de la prueba o un ayudante competente hagan una demostración de la correcta ejecución de la misma cuando sea posible. Los atletas deben tener oportunidades para hacer preguntas antes y después de la demostración. El administrador de la prueba se debe anticipar a las preguntas y tener las respuestas preparadas. Es importante motivar a todos los atletas por igual en vez de dar más ánimos a unos que a otros. Siempre que sea posible, daremos de inmediato los resultados de las pruebas después de cada intento para motivar a los atletas a que rindan más en los siguientes intentos (2).

La fiabilidad de la prueba mejora con el calentamiento previo (2). Un calentamiento bien organizado consiste en un calentamiento general seguido por otro específico. Ambos tipos de calentamiento comprenden movimientos corporales parecidos a los implicados en la prueba. Un calentamiento general organizado y dirigido por un instructor garantiza la uniformidad. Es aceptable permitir dos o tres intentos de calentamiento específicos para la prueba, dependiendo del protocolo de la misma, para luego hacer varios intentos que cuenten para la puntuación. Dependiendo del protocolo de la prueba, la puntuación consistirá en el mejor resultado o en la media de los intentos posteriores al calentamiento (2).

El calentamiento general y específico antes de una prueba aumenta su fiabilidad.

Se debe conceder un período de recuperación activa a los atletas después de las pruebas que eleven mucho la frecuencia cardíaca, y también al completar la batería de pruebas. Por ejemplo, después de una carrera de ida y vuelta de 274 m, el atleta no se sentará ni tumbará; la recuperación activa con movimientos de baja intensidad y estiramientos suaves mejorará el proceso de recuperación (7).

Conclusión

Las pruebas y mediciones sirven para determinar el talento atlético, identificar capacidades físicas que haya que mejorar, aportar valores de referencia con que evaluar la eficacia de un programa de entrenamiento y establecer metas realistas para el entrenamiento. Para mejorar la calidad de las pruebas, los evaluadores deben entender y tener en cuenta su validez y fiabilidad. La selección de pruebas implica tener en cuenta los sistemas de energía fisiológicos exigidos por el deporte; la especificidad de los movimientos, y la experiencia, el estado de entrenamiento, la edad y el sexo de los atletas. Los evaluadores también tendrán en cuenta factores ambientales como la temperatura, la humedad y la altitud antes de administrar las pruebas. Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico siempre deben ser conscientes de los riesgos potenciales para la salud durante la prueba, y estar atentos a los signos y síntomas de posibles problemas de salud que requieran derivar a los atletas para recibir atención médica. Los evaluadores deben ser seleccionados cuidadosamente y estar bien preparados, y la sesión de la prueba debe estar bien planificada y organizada usando la secuencia apropiada. Es esencial una preparación uniforme y eficaz de los atletas para la prueba.

TÉRMINOS CLAVE

acuerdo entre evaluadores
error típico de medida
evaluación formativa
fiabilidad
    de test-retest
    entre evaluadores
medición
midtest
objetividad
postest
pretest
prueba de campo
serie de pruebas
test
validez
    aparente

concurrente
convergente
de constructo
de contenido
discriminante
predictiva
referida a los criterios

variabilidad
entre evaluadores
intraindividual

PREGUNTAS DE REPASO

(respuestas en la página 657)

1. Un entrenador de baloncesto universitario querría saber cuál de sus jugadoras tiene más potencia muscular. ¿Cuál de las siguientes es la MÁS válida para medir la potencia muscular?
   a. Salto vertical.
   b. 1RM en *press* de banca.
   c. 5RM en sentadilla.
   d. Esprín de 100 metros.

2. Al medir la fuerza máxima de un futbolista, ¿cuál de las siguientes variantes podría influir negativamente en la fiabilidad de test-retest de los resultados?
   I. Utilizar varios examinadores.
   II. Repetir la prueba en un momento distinto del día.
   III. La inexperiencia del atleta con el ejercicio de la prueba.
   IV. Utilizar un protocolo determinado para la prueba.
   a. Solo I y III.
   b. Solo II y IV.
   c. Solo I, II y III.
   d. Solo II, III y IV.

3. Se deben administrar los siguientes procedimientos al someter a prueba la capacidad cardiovascular de un atleta cuando hace calor, EXCEPTO:
   a. Practicar la prueba en unas instalaciones bajo techo.
   b. Usar pastillas de sal para retener agua.

c. Programar la prueba por la mañana.
d. Beber líquidos durante la prueba.

4. ¿Para cuál de las siguientes posiciones en el fútbol americano son MÁS válidas pruebas como el *press* de banca, el salto vertical y el esprín de 10 metros?
   a. *Quarterback*.
   b. Back defensivo.
   c. Receptor amplio.
   d. Liniero defensivo.

5. ¿Cuál de las siguientes secuencias produce los resultados MÁS fiables?
   a. 1RM en cargada de fuerza, test T, carrera de 2,4 km, 1RM en *press* de banca.
   b. Test T, 1RM en cargada de fuerza, 1RM en *press* de banca, carrera de 2,4 km.
   c. Carrera de 2,4 km, 1RM en *press* de banca, test T, 1RM en cargada de fuerza.
   d. 1RM en *press* de banca, 1RM en cargada de fuerza, test T, carrera de 2,4 km.

CAPÍTULO 13

Administración, puntuación e interpretación de las pruebas seleccionadas

Michael McGuigan*

A la conclusión del capítulo, el lector:

- Discernirá las mejores formas de medir parámetros seleccionados y relacionados con el rendimiento atlético.
- Administrará correctamente pruebas de campo.
- Evaluará y analizará los datos de las pruebas y establecerá comparaciones normativas.
- Entenderá las estadísticas apropiadas.
- Combinará los resultados y seleccionará las pruebas para elaborar un perfil atlético.

* El autor agradece la significativa aportación de Everett Harman y John Garhammer en la redacción de este capítulo.

Tal y como se explicó en el capítulo 12, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico —a menudo denominado *evaluador* en este capítulo— posee amplios conocimientos sobre la ciencia del ejercicio, y sabe elegir y usar eficazmente pruebas y mediciones para tomar decisiones sobre programas de entrenamiento que ayuden a los atletas a mejorar su preparación física y a alcanzar su potencial. Para lograrlo, el evaluador debe saber administrar correctamente las pruebas, analizar los datos de las mismas con precisión y luego combinar los resultados de las pruebas seleccionadas para generar un perfil atlético. Este capítulo cubre estos aspectos básicos de los parámetros relacionados con la ejecución de las pruebas y aporta datos normativos y descriptivos de deportes específicos para las pruebas

seleccionadas.

Parámetros de medición del rendimiento atlético

El deportismo incorpora muchas capacidades físicas, algunas de las cuales son mucho más modificables por el entrenamiento que otras. Tales capacidades se llaman componentes del **rendimiento atlético**, es decir, la capacidad para responder eficazmente a las distintas exigencias físicas de la especialidad o deporte específicos. Esta sección se centra en el modo de poner a prueba cada componente y subraya las dificultades relevantes.

Fuerza muscular máxima (fuerza a baja velocidad)

Las pruebas de fuerza máxima suelen implicar movimientos realizados a velocidad relativamente baja y, por tanto, reflejan la **fuerza muscular a baja velocidad**. En este caso, la fuerza muscular está relacionada con la fuerza que un músculo o grupo muscular ejerce en un esfuerzo máximo mientras se mantiene una correcta ejecución, todo lo cual se cuantifica por el peso máximo que se levanta en un solo intento (una repetición máxima [1RM]) en ejercicios como el *press* de banca o la sentadilla trasnuca; por la fuerza máxima ejercida isométricamente (contra un objeto inmóvil) y medida con un transductor, o por la fuerza máxima que se ejerce a una velocidad isocinética concreta (5, 6, 31, 48, 70, 71, 73, 77, 90). Como las pruebas de 1RM no requieren un equipamiento caro y reflejan el tipo de capacidad dinámica necesaria en el deporte, son las pruebas de la fuerza máxima de elección entre la mayoría de los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico.

En general, las pruebas de 1RM se administran después de que el atleta ha hecho un calentamiento realizando unas series del ejercicio de la prueba con cargas submáximas, empezando con una carga relativamente ligera. El primer intento se suele hacer aproximadamente con el 50% del peso calculado de 1RM para ese atleta. Después de que el atleta ha descansado lo suficiente para sentirse recuperado del intento previo (1-5 minutos, dependiendo de la dificultad del intento), el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico aumenta el peso un tanto, basándose en la facilidad con la que se ejecutó el intento previo. Un especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico que esté preparado debe hallar, durante los tres a cinco intentos posteriores al calentamiento, la carga de 1RM del atleta con un margen de error de unos pocos puntos de porcentaje respecto al valor real.

Potencia máxima o anaeróbica (fuerza a alta velocidad)

La **fuerza muscular a alta velocidad** o **potencia muscular anaeróbica máxima** (o **potencia anaeróbica**) guarda relación con la capacidad del tejido muscular para ejercer mucha fuerza contrayéndose a gran velocidad. Las pruebas de fuerza y potencia son de muy corta duración, se practican con velocidades máximas de movimiento y generan mucha potencia. Las pruebas de potencia muscular máxima a alta velocidad a menudo se llaman pruebas de potencia anaeróbica (máxima). Las puntuaciones en las pruebas de fuerza muscular a alta velocidad comprenden ejercicios explosivos y de 1RM (p. ej., cargada de fuerza, arrancada y empuje sobre la cabeza), la altura del salto vertical y el tiempo invertido en subir escalones corriendo (45, 70, 77, 90, 93). Como las pruebas de ejercicio explosivo requieren un segundo mientras que las pruebas de fuerza máxima a baja velocidad necesitan de 2 a 4 segundos, la fosfocreatina y el trifosfato de adenosina (ATP) almacenados en los músculos activos son las principales fuentes de energía en ambos tipos de pruebas. Mantener la técnica de ejecución correcta también es importante cuando medimos la potencia anaeróbica a fin de asegurar la validez y seguridad de las actuaciones.

La mayoría de las pruebas de fuerza muscular máxima emplean velocidades de movimiento relativamente lentas y, por tanto, reflejan la fuerza a baja velocidad. La determinación de la fuerza muscular a alta velocidad implica la medición de 1RM en ejercicios explosivos de entrenamiento resistido, o bien la altura de salto vertical.

La producción de potencia refleja tanto la fuerza como la velocidad. La altura de un salto es una función de la fuerza aplicada al suelo y la velocidad a la que el atleta despega del suelo. Si un atleta no mejora la altura de salto después de ganar peso durante un ciclo de entrenamiento resistido, parece como si la producción de potencia no hubiese cambiado. Sin embargo, como el atleta es más pesado e impulsa el cuerpo hasta la misma altura, manifestando la misma velocidad de despegue, es evidente que hay un aumento de la producción de potencia. Esto es aplicable a toda prueba en que se manipule el peso corporal (p. ej., subir escaleras corriendo). Mover un cuerpo más pesado a la misma velocidad requiere una mayor producción de potencia.

Una clase alternativa de pruebas de la potencia anaeróbica implica el uso de un cicloergómetro. Este tipo de prueba resulta ventajosa para el

especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico cuando hay atletas lesionados que tienen prohibido correr o cuando los atletas practican deportes en descarga como remo o ciclismo. La prueba de este tipo más usada es la prueba anaeróbica de Wingate. El protocolo de la prueba de campo implica el uso de un cicloergómetro con medios mecánicos para ajustar la resistencia y medir el índice y las revoluciones de pedaleo (rpm). En el ámbito de un laboratorio, el empleo de un ergómetro con instrumental electrónico simplifica la medición de los parámetros y mejora la precisión. Los protocolos habituales implican un calentamiento básico seguido por un intervalo de 30 segundos (27). En esta prueba, se aplica resistencia rápidamente después de que el individuo alcanza un índice de pedaleo casi máximo (por lo general de 90 a 110 rpm). La resistencia aplicada es proporcional al peso del cuerpo; el porcentaje es mayor en los atletas entrenados que en las personas con menos entrenamiento. El trabajo realizado se determina a partir del valor de la resistencia y del número de revoluciones del pedaleo. La potencia se suele calcular como el trabajo dividido por el tiempo por cada intervalo de 5 segundos durante la prueba de 30 segundos. Los parámetros que se suelen calcular son el pico de potencia, la potencia media y el índice de fatiga como una relación entre la potencia máxima y la mínima en intervalos. Hay disponibles normas para las pruebas con cicloergómetro (47, 73).

Capacidad anaeróbica

La **capacidad anaeróbica** es el índice máximo de producción de energía mediante la combinación de los sistemas energéticos del fosfágeno y de la glucólisis anaeróbica. Se suele cuantificar como la producción máxima de potencia durante actividades musculares de entre 30 y 90 segundos de duración usando varias pruebas para los hemicuerpos superior e inferior (27, 73, 90, 115), en oposición a las pruebas de máxima potencia anaeróbica, que no duran más de unos segundos.

Resistencia muscular localizada

La **resistencia muscular localizada** es la capacidad de ciertos músculos o grupos musculares para contraerse repetidamente contra una resistencia submáxima (11, 73). Se debe practicar una prueba de resistencia muscular localizada de modo continuo durante varios segundos a varios minutos sin la

ventaja de períodos de descanso y sin movimientos extraños del cuerpo. Son ejemplos la práctica del máximo número de repeticiones en los ejercicios de dominadas por abajo, en los fondos en barras paralelas, en las flexiones de brazos, o en un ejercicio de entrenamiento resistido con una carga fija (p. ej., un porcentaje de 1RM o el peso corporal de un atleta) (26, 64, 70, 73).

Capacidad aeróbica

La **capacidad aeróbica**, también llamada **potencia aeróbica**, es el índice máximo de producción de energía de un atleta por medio de la oxidación de fuentes de energía (hidratos de carbono, grasas y proteínas), y se suele expresar como el volumen de oxígeno consumido por kilogramo de peso corporal por minuto (es decir, ml/kg/min) (65). Pocos especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico cuentan con el equipamiento necesario para medir directamente el consumo de oxígeno, por lo que la capacidad aeróbica se suele calcular mediante la práctica de actividades de resistencia aeróbica, como correr 1,6 km o más (45, 79, 88). También se calcula usando otras pruebas de campo, como la prueba de la velocidad aeróbica máxima (VAM) (60) y la prueba yo-yo de recuperación intermitente (9,13, 58, 59).

Agilidad

La **agilidad** se ha considerado tradicionalmente la capacidad para detenerse, partir y cambiar rápidamente de dirección con todo el cuerpo (101, 108). La agilidad consiste en dos componentes principales: la velocidad para cambiar de dirección y los factores cognitivos (101). Más recientemente, la definición de agilidad se ha revisado para tener en cuenta cualidades perceptuales, y ahora se considera «un rápido cambio de dirección de todo el cuerpo en respuesta a un estímulo específico de un deporte» (101, 108). La prueba de agilidad se suele confinar a las pruebas de capacidad física, como la velocidad de cambio de dirección o componentes cognitivos como la anticipación. Test como la prueba T, la prueba de agilidad 505 y la prueba de agilidad de 10 × 5 metros se usan para evaluar los cambios de dirección.

Velocidad

La **velocidad** es la distancia de movimiento por unidad de tiempo y se suele cuantificar como el tiempo invertido en recorrer una distancia fija. El tiempo

invertido en esprintar comenzando parado y en recorrer una distancia corta como 9,3 m refleja la aceleración, mientras que esprines más largos (p. ej., de 37 metros) miden la velocidad máxima (126). Las pruebas de velocidad no se suelen realizar con distancias superiores a los 100 metros, porque esas distancias más largas reflejan más la capacidad aeróbica y anaeróbica que la capacidad absoluta para mover el cuerpo a velocidad máxima (73, 90, 126).

Los cronómetros electrónicos cada vez son más accesibles para los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico debido a su mayor facilidad de uso y a sus precios más bajos. Sin embargo, muchas pruebas de velocidad y agilidad se administran con cronómetros manuales, que pueden ser una fuente importante de errores en la medición, sobre todo si el evaluador no tiene suficiente preparación. Incluso en condiciones ideales, las marcas en esprines cronometradas manualmente son hasta 0,24 segundos más rápidas que los esprines medidos electrónicamente, debido al retraso en el tiempo de reacción del evaluador al presionar el botón del cronómetro cuando oye el pistoletazo de salida, así como a la tendencia a anticiparse y apretar el botón antes cuando el atleta se aproxima a la línea de meta (31, 44, 91). Por tanto, se anima a los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico a que usen cronómetros electrónicos para las pruebas de velocidad y agilidad cuando sea posible. También se aporta más información cuando se miden los tiempos parciales, porque aportan al especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico datos sobre las capacidades de aceleración y velocidad de los atletas. Por ejemplo, se pueden registrar y usar las marcas en 9,1 m, 18,3 m y 36,6 m para calcular los tiempos parciales y la velocidad máxima. Por último, las pruebas de velocidad y agilidad requieren usar calzado adecuado y una superficie que no resbale.

Flexibilidad

La **flexibilidad** se define como el grado de movilidad de una articulación del cuerpo (11). Aparatos habituales para medir la flexibilidad son los goniómetros manuales y eléctricos, que miden el ángulo articular, y el cajón para la prueba de sentarse y alcanzar, que sirve para evaluar la flexibilidad combinada de la región lumbar de la espalda y las caderas. Las mediciones de la flexibilidad son más fiables cuando a la evaluación le preceden un calentamiento y estiramientos estáticos estandarizados. Durante una prueba de flexibilidad, el atleta se moverá con lentitud hasta adoptar y aguantar la

posición de estiramiento completo. Los estiramientos balísticos, que se caracterizan por hacer botes para aumentar el grado de movilidad, no están permitidos en ninguna prueba de flexibilidad (45, 79).

Existen a disposición de los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico varias tablas de ejercicios para evaluar la competencia física con las que determinar la flexibilidad general, la movilidad y la competencia general para la movilidad de los atletas. Sin embargo, no hay consenso en la actualidad sobre qué tabla usar, ni un vínculo claramente establecido entre los resultados de las pruebas selectivas preventivas y las lesiones (68, 84). Los buenos especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico practican rutinariamente exámenes discriminatorios de la postura y el rendimiento estudiando a los atletas durante el entrenamiento. Por ejemplo, la sentadilla con los brazos por encima de la cabeza es un ejercicio habitual empleado como parte de los exámenes discriminatorios del movimiento, ya que es capaz de evaluar la movilidad bilateral de las caderas, las rodillas y los tobillos junto con la columna torácica y los hombros (3, 16, 93).

Equilibrio y estabilidad

El **equilibrio** es bien la capacidad para mantener la estabilidad estática o dinámica, bien la capacidad para mantener el centro de gravedad del cuerpo sobre su base de sustentación (73, 90). La **estabilidad** es una medida de la capacidad para volver a una postura deseada después de una alteración en el sistema (73). Los atletas con poco equilibrio corren un gran riesgo de sufrir lesiones en las extremidades inferiores (52, 53). Los atletas también han demostrado tener más equilibrio que los que no lo son (23). Las pruebas de equilibrio se usan para evaluar los incrementos de la estabilidad con el entrenamiento y de distintas maneras (73). Se usan habitualmente pruebas cronometradas de equilibrio estático en bipedestación (con los ojos cerrados y sobre uno o ambos pies) (14, 66), pruebas de equilibrio empleando superficies inestables (66) y pruebas con equipamiento especial para determinar el equilibrio (Neuro-Com, BiodexBalance System) (90). Comprenden un gran número de pruebas que evalúan distintos aspectos del equilibrio y la estabilidad (73). El sistema de puntuación de errores de equilibrio (BESS) y la prueba de equilibrio en desplazamiento en estrella (SEBT) presentan una fiabilidad muy alta y hay todo un corpus sustancial de

estudios que respaldan su empleo (14, 41, 43, 73, 83, 111).

Composición corporal

La **composición corporal** se suele referir a las proporciones relativas atendiendo al peso del tejido adiposo y del tejido magro. Aunque hay aparatos sofisticados y caros capaces de discernir el componente magro en tejido magro óseo y no óseo, los procedimientos para determinar la composición corporal al alcance de los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico optan por el modelo básico de dos compartimientos (graso y magro). Con un evaluador preparado y competente, la técnica de medición de los pliegues cutáneos es el medio más válido y fiable (r = 0,99) para determinar la grasa corporal generalmente disponible para los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico, y es preferible a los métodos para medir los diámetros corporales (65), aunque la absorciometría por rayos X de doble energía (DEXA) y la pesada hidrostática se consideren a menudo como la «regla de oro». El método de los pliegues cutáneos emplea adipómetros que miden el grosor de una doble capa de piel y grasa subcutánea pinzada con los dedos. Un buen aparato para la medición de los pliegues cutáneos debe pinzar el pliegue de piel y grasa con presión constante con independencia de la cantidad de tejido que se mida (28, 45, 88). Tal vez también se sumen métodos para medir los diámetros corporales, ya que son relativamente rápidos y sencillos de administrar y aportan información importante sobre el riesgo de sufrir enfermedades crónicas. Por ejemplo, el diámetro de la cintura puede evaluar la grasa abdominal, y los diámetros grandes de cintura se asocian con un mayor riesgo de sufrir diabetes tipo II, colesterol alto, hipertensión y ciertos tipos de cardiopatías (45).

Antropometría

La **antropometría,** la ciencia de las mediciones aplicadas al cuerpo humano, suele comprender medidas de la altura, el peso y ciertos diámetros corporales (45). Lo ideal es que la altura se mida con un tallímetro. Si no se dispone de él, la medición de la altura exige una pared plana contra la que el atleta permanecerá pegado, con una cinta métrica pegada o no a la pared. La altura se suele medir con el atleta descalzo y su exactitud debe ser de hasta medio centímetro (73).

La medición más precisa de la masa o el peso corporales se practica con

una báscula de equilibrio certificada, que por lo general es más fiable que una báscula de muelle y se debe calibrar con regularidad (73). Una alternativa aceptable es usar una báscula electrónica calibrada. A los atletas hay que pesarlos llevando un mínimo de ropa seca (p. ej., pantalones cortos de gimnasia y camiseta, sin calzado). Para establecer comparaciones, se toman mediciones en una fecha posterior, vestidos los atletas de la misma forma y pesándose a la misma hora del día. Las mediciones más fiables de la masa corporal se hacen por la mañana al levantarse, después de ir al baño y antes de cualquier ingesta de comida o líquidos. El nivel de hidratación puede causar cierta variabilidad de la masa corporal (peso). Por tanto, hay que animar a los atletas a evitar comer alimentos salados (porque aumentan la retención de agua) el día antes del pesaje e irse a la cama hidratados normalmente.

Las mediciones de los diámetros corporales se suelen obtener con la ayuda de una cinta métrica flexible equipada con un prendedor en su extremo que, cuando se lleva hasta una marca específica, ejerce una tensión fija sobre la cinta. Las mediciones de los diámetros corporales se deben hacer al comienzo del período de entrenamiento para poder compararlas con mediciones posteriores (45,73).

Condiciones de la prueba

Tal y como se explicó en detalle en el capítulo 12, con el fin de potenciar la fiabilidad de las pruebas, es esencial que las condiciones de las mismas sean lo más parecidas posible para todos los atletas que se someten a prueba y de un test al siguiente del mismo atleta. Las condiciones ambientales no deben diferir de una prueba a la siguiente. En el caso de cualquier prueba concreta realizada en suelo firme, la superficie debe ser siempre la misma y no debe estar mojada en una prueba y seca en la siguiente. Las pruebas de la fuerza máxima deben usar el mismo tipo de soportes y situar las pesas a la misma altura con un atleta dado. Para las pruebas de salto, el tipo de equipamiento empleado debe ser constante.

Los atletas nunca se deben someter a prueba después de actividades deportivas o entrenamientos fatigantes. Deben llegar a las pruebas hidratados normalmente y siguiendo la nutrición estándar antes de empezar. La estandarización de la prueba también exige no tomar suplementos (p. ej., el monohidrato de creatina mejora el rendimiento en algunas pruebas) (119). Es

mejor practicar las pruebas y repruebas aproximadamente a la misma hora del día (92). El calentamiento previo a las pruebas debe ser estándar e incluir un calentamiento dinámico general, como trotar o gimnasia ligera, y un calentamiento específico en que se hagan los mismos movimientos que en la prueba, como la práctica de la prueba con intensidad submáxima. La familiarización y la práctica de las pruebas que realizarán los atletas también son aspectos críticos. Los estiramientos son apropiados para cualquier prueba que exija flexibilidad.

PROTOCOLOS Y DATOS DE RESULTADOS DE PRUEBAS SELECCIONADAS

FUERZA MUSCULAR MÁXIMA (fuerza a baja velocidad)

13.1 1RM en *press* de banca
13.2 Remo en banca
13.3 1RM en sentadilla trasnuca

POTENCIA MUSCULAR MÁXIMA (fuerza a alta velocidad)

13.4 1RM en cargada de fuerza
13.5 1RM en salto de longitud parado
13.6 Salto vertical
13.7 Salto vertical estático
13.8 Índice de fuerza reactiva
13.9 Prueba de Margaria-Kalamen

CAPACIDAD ANAERÓBICA

13.10 Carrera de ida y vuelta de 274 metros

RESISTENCIA MUSCULAR LOCALIZADA

13.11 Flexiones cortas de abdominales
13.12 Flexiones de brazos
13.13 Prueba de *press* de banca de la YMCA

CAPACIDAD AERÓBICA

13.14 Carrera de 2,4 km
13.15 Carrera de 12 minutos
13.16 Prueba yo-yo de recuperación intermitente
13.17 Prueba de velocidad aeróbica máxima

AGILIDAD
13.18 Test T
13.19 Prueba del hexágono
13.20 Prueba de agilidad de 10 × 5 metros
13.21 Prueba de agilidad

VELOCIDAD
13.22 Pruebas de esprín en línea recta

EQUILIBRIO Y ESTABILIDAD
13.23 Sistema de puntuación de errores de equilibrio (BESS)
13.24 Prueba de equilibrio en desplazamiento en estrella (SEBT)

FLEXIBILIDAD
13.25 Prueba de sentarse y alcanzar
13.26 Sentadilla con los brazos por encima de la cabeza

COMPOSICIÓN CORPORAL
13.27 Mediciones de los pliegues cutáneos

ANTROPOMETRÍA
13.28 Medición de los diámetros corporales

Fuerza Muscular Máxima (fuerza a baja velocidad)

13.1 1RM EN *PRESS* DE BANCA

Material

- Una haltera o barra, discos de pesas y dos bloqueadores; peso total suficiente para acomodar la máxima carga del atleta más fuerte, y varios discos de distintos pesos con una gradación de 2,5 kg de diferencia.
- Un banco de pesas robusto con soporte integrado de multiniveles para halteras.

Personal

- Un vigilante, un apuntador.

Procedimiento

1. Se enseña al atleta la técnica correcta para el *press* de banca como se describe en el capítulo 15.
2. El vigilante se sitúa a la cabecera del banco durante la prueba para ayudarle a levantar la barra en caso de que el intento falle y para ayudar al atleta a colocar la barra de vuelta en su soporte.
3. Al igual que con cualquier prueba de fuerza máxima, el atleta primero practica un calentamiento específico de 5 a 10 repeticiones con una carga ligera a moderada.
4. Lo habitual es que se completen dos series de calentamiento de dos a cinco repeticiones con más peso antes de proceder con el intento de 1RM.
5. Por lo general, lo deseable es medir 1RM con tres a cinco intentos después del calentamiento; de lo contrario, el cansancio podría rebajar el resultado final.
6. En la figura 17.1 aparece un método más detallado, paso a paso, del protocolo de 1RM.

Nota: En las tablas 13.1 y 13.4 se aportan datos normativos y descriptivos para 1RM en *press* de banca.

13.2 REMO EN BANCA

Material

- Una haltera o barra, discos de pesas y dos bloqueadores; peso total suficiente para acomodar la máxima carga del atleta más fuerte, y varios discos de distintos pesos con una gradación de 2,5 kg de diferencia.
- Un banco de pesas robusto.

Personal

- Un vigilante, un apuntador.

Procedimiento

1. Se enseña al atleta la técnica correcta para el *press* de banca en decúbito prono (figura 13.1).
2. El atleta ase la haltera con una empuñadura en pronación cerrada y las manos más separadas que la anchura de los hombros.
3. La altura del banco se adapta para que el atleta use una empuñadura

cómoda mientras la haltera está en el aire con los brazos extendidos.
4. El atleta comienza el levantamiento con los brazos extendidos y la empuñadura debe ser siempre la misma de todas las pruebas.
5. La barra se alza hacia la porción inferior del pecho o hacia la porción superior del abdomen con los codos apuntando al techo.
6. La posición de la cabeza es hacia abajo o de lado, pero siempre en contacto con el banco durante toda la prueba.
7. Una repetición válida es aquella en la que la haltera toca la superficie inferior del banco y la barra desciende de forma controlada hasta extender los codos sin tocar el suelo.
8. Los pies no tocan el suelo en toda la prueba y adoptan siempre la misma posición.
9. Un método más detallado, paso a paso, del protocolo de 1RM aparece en la figura 17.1.

Nota: En la tabla 13.4 se aportan datos descriptivos para el remo en banca.



FIGURA 13.1 (*a*) Posición inicial y (*b*) posición final del ejercicio remo en banco.

13.3 1RM EN SENTADILLA TRASNUCA

Material

- Una haltera o barra, discos de pesas y dos bloqueadores; peso total suficiente para acomodar la máxima carga del atleta más fuerte, y varios discos de distintos pesos con una gradación de 2,5 kg de diferencia.
- Un jaula de sentadillas robusta con soportes de altura ajustables para soportar el peso de la haltera si el atleta es incapaz de levantarla (como

alternativa, puede haber un vigilante a cada lado de la barra).
- Una superficie sólida y lisa sobre la que permanecer de pie.

Personal
- Dos vigilantes, un apuntador.

Procedimiento
1. Se enseña al atleta la técnica correcta para la sentadilla trasnuca, tal y como se describe en el capítulo 15.
2. Se practican series de calentamiento como para 1RM en el *press* de banca. Sin embargo, las cargas levantadas suelen ser más pesadas que en esa prueba, por lo que los incrementos de la carga serán mayores que los usados para 1RM en *press* de banca.
3. Remitimos a la figura 17.1 donde se muestra el protocolo de la prueba de 1RM.

Nota: En las tablas 13.1 a 13.4 se aportan datos normativos y descriptivos para 1RM en sentadilla trasnuca.

13.4 1RM EN CARGADA DE FUERZA

Nota: Como este ejercicio es muy técnico, dos atletas con la misma capacidad de potencia muscular pueden mostrar grandes diferencias en la prueba de 1RM, lo cual limita su valor predictivo del rendimiento atlético.

Material
- Una haltera olímpica con manguitos de giro, discos de pesas y dos bloqueadores; peso total suficiente para acomodar la máxima carga del atleta más fuerte, y varios discos de distintos pesos con una gradación de 2,5 kg de diferencia.
- Una plataforma para levantamientos o una zona elegida y apartada del resto de las instalaciones por motivos de seguridad.

Personal
- Un vigilante, un apuntador.

Procedimiento
1. Se enseña al atleta la técnica correcta para la cargada de fuerza, tal y

como se describe en el capítulo 15.
2. Se practican series de calentamiento como en el protocolo para una prueba de 1RM.
3. Remitimos a la figura 17.1 donde se muestra el protocolo de la prueba de 1RM.

Nota: En las tablas 13.1 a 13.4 se aportan datos normativos y descriptivos para 1RM en cargada de fuerza.

13.5 SALTO DE LONGITUD PARADO

Material

- Una zona plana para los saltos de al menos 6 m de longitud, que puede ser el suelo de un gimnasio, hierba artificial, un campo de hierba o una pista de atletismo.
- Una cinta métrica que mida al menos 3 m de longitud.
- Cinta adhesiva.
- Alternativa posible: una colchoneta para saltos con incrementos premarcados de 1 cm.

Personal

- Un juez de saltos, un apuntador.

Procedimiento

1. Se coloca en el suelo un trozo de cinta de 0,6 a 0,9 metros a modo de línea de salida.
2. El atleta permanece de pie con la punta de las zapatillas justo detrás de la línea de salida.
3. El atleta practica un contramovimiento y salta hacia delante todo lo posible.
4. El atleta debe aterrizar sobre los pies para que el salto sea válido. De lo contrario se vuelve a repetir.
5. Se pone un marcador en el lugar donde apoyó el borde posterior del talón del pie más retrasado, y con la cinta métrica se mide la distancia entre el marcador y la línea de salida.
6. Se apunta el mejor de los tres intentos con un margen de 1 cm.

Nota: En las tablas 13.5 a 13.7 se aportan datos normativos y descriptivos para el salto de longitud parado.

13.6 SALTO VERTICAL

Material

- Una pared lisa con techo alto, más alto que la altura máxima que pueda alcanzar un saltador.
- Un suelo liso con buena tracción.
- Tiza de un color distinto al de la pared.
- Cinta o un poste métricos.
- Alternativa posible: un tallímetro para saltos verticales (p. ej., Vertec).

Personal

- Un evaluador, un apuntador.

Procedimiento (si usamos una pared y tiza)

1. El evaluador mancha las yemas de los dedos de la mano dominante del saltador.
2. El atleta permanece de pie con el hombro del lado dominante a 15 cm de la pared y, con ambos pies pegados al suelo, extiende cuanto pueda la mano dominante hacia arriba y hace una marca con tiza en la pared.
3. El atleta baja la mano dominante y, sin dar ningún paso de impulso preparatorio, practica un contramovimiento flexionando rápidamente las rodillas y las caderas, moviendo el tronco adelante y abajo, balanceando los brazos atrás (figura 13.2*a*). Durante el salto, el brazo dominante se extiende hacia arriba mientras el brazo no dominante se mueve hacia abajo respecto al cuerpo.
4. En el punto más alto del salto, el atleta hace una segunda marca en la pared con los dedos de la mano dominante, usando un movimiento de barrido con los dedos. La puntuación es la distancia vertical entre las dos marcas de tiza.
5. Se apunta el mejor de tres intentos con un margen de 1 cm.

Procedimiento (si usamos un tallímetro de Vertec)

1. El evaluador ajusta la altura de la barra que sostiene un peine regulable de paletas de plástico horizontales con un código cromático para que

quede a la altura del atleta de pie con el brazo en alto. La paleta más alta que se alcance y se empuje hacia delante con la mano dominante mientras el atleta está de pie con los pies apoyados en el suelo determinará la altura de la mano dominante del saltador.

2. A continuación se eleva el peine una distancia medida (marcada en el poste que sostiene el peine), de modo que el atleta no salte más ni menos que las paletas del peine. Se requiere un cálculo aproximado de lo alto que saltará el atleta concreto, pero se puede introducir una corrección en el segundo intento si fuese necesario.
3. Sin dar ningún paso de impulso preparatorio, el atleta practica un contramovimiento flexionando rápidamente las rodillas y las caderas, moviendo el tronco adelante y abajo, balanceando los brazos atrás (figura 13.2*a*). Durante el salto, el brazo dominante se extiende hacia arriba mientras el brazo no dominante se mueve hacia abajo respecto al cuerpo.
4. En el punto más alto del salto, el atleta toca el diente más alto a su alcance con los dedos de la mano dominante (figura 13.2*b*). La puntuación es la distancia vertical entre los dientes marcados por el atleta extendiendo el brazo de pie y al saltar.
5. Se apunta el mejor de tres intentos con un margen de 1 cm (la distancia entre dientes adyacentes).

Nota: En la tabla 13.7 se aportan datos descriptivos para el salto vertical.



FIGURA 13.2 (*a*) Posición inicial y (*b*) altura máxima del salto vertical.

13.7 SALTO VERTICAL ESTÁTICO

Procedimiento (si usamos una alfombrilla de contacto)

1. Los procedimientos de la prueba son esencialmente los mismos que para el salto vertical, excepto porque se suprime el contramovimiento. Comenzamos con el atleta de pie sobre la alfombrilla (o plataforma de equilibrio y resistencia). (*Nota:* El salto vertical con contramovimiento también se puede evaluar usando esta misma alfombrilla).
2. El atleta asume la postura de una sentadilla (con las rodillas en un ángulo aproximado de 110°) y mantiene esta postura de 2 a 3 segundos antes de dar un salto vertical (figura 13.3).
3. Con el aparato de medición obtenemos la altura del salto.
4. Las posturas de despegue y aterrizaje, así como la estrategia del salto, deben ser iguales en todos los intentos.
5. Se apunta el mejor de tres intentos. La relación de la altura del salto vertical con contramovimiento respecto a la altura del salto con sentadilla se calcula como la relación de utilización excéntrica (69).

Nota: En la tabla 13.7 se aportan datos descriptivos para el salto vertical.



FIGURA 13.3 *(a)* Postura inicial y (*b*) altura máxima del salto vertical estático.

13.8 ÍNDICE DE FUERZA REACTIVA

Material

- Cajones de distinta altura, por ejemplo, 20 cm, 30 cm y 40 cm.
- Un aparato capaz de medir el tiempo de contacto, por ejemplo, una alfombrilla de contacto (los sistemas de alfombrilla de contacto calculan la altura del salto usando el tiempo de vuelo) (37, 62, 122).

Personal

- Un evaluador/apuntador.

Procedimiento

1. Comenzamos con el atleta de pie sobre el cajón con la alfombrilla de contacto situada al menos a 20 cm del cajón.
2. Se ordena al atleta que se lleve las manos a las caderas al dar el paso adelante y caer sin impulso ni saltar hacia arriba. Al entrar en contacto con el suelo, el atleta salta lo más alto posible reduciendo el tiempo de

contacto cuanto sea posible (figura 13.4).

3. Las posturas de despegue y aterrizaje, así como la estrategia del salto, deben ser iguales en todos los intentos.
4. Mediante el aparato de medición, se obtienen la altura del salto y los momentos de contacto.
5. Se apunta el mejor de tres intentos.
6. Se calcula el índice de fuerza reactiva como la altura del salto dividida por el tiempo de contacto.
7. El procedimiento se puede repetir desde cajones de distinta altura para obtener un perfil de la tolerancia a los estiramientos del atleta.



FIGURA 13.4 (*a*) Postura inicial; (*b*) contacto con la alfombrilla, y (*c*) altura máxima de la prueba de caer desde un cajón y salto vertical con los pies juntos.

13.9 PRUEBA DE MARGARIA-KALAMEN

Material

- Tramo de nueve o más escalones, cada escalón de aproximadamente 18 cm de altura, con un área de aproximación plana de 6 metros o más de longitud.
- Cinta o bastón métricos.
- Un sistema electrónico de temporización con un mecanismo de

activación y detención por contacto.
- Una báscula.

Personal
- Un evaluador/apuntador.

Procedimiento
1. Se mide la altura de los escalones con una regla o una cinta métrica, y luego la elevación desde el tercer escalón hasta el noveno (6 × altura del escalón).
2. El mecanismo temporizador de activación por contacto se coloca en el tercer escalón, y el mecanismo temporizador de detención por contacto se coloca en el noveno escalón.
3. El atleta se pesa en una báscula, hace un calentamiento y practica la subida de escalones de tres en tres.
4. Cuando esté listo, el atleta esprinta hacia las escaleras partiendo de parado a 6 metros de la base de las escaleras, para luego subir los escalones de tres en tres (del tercer escalón al sexto y luego al noveno) lo más rápido posible.
5. El tiempo transcurrido entre el contacto con el tercer escalón y el noveno se determina con un error de 0,01 segundos mediante el sistema temporizador.
6. La potencia en vatios se calcula como el peso (*w*) del atleta en newtons (kg × 9,807) por la altura (*h*) en metros desde el tercer escalón hasta el noveno, dividido por el intervalo temporal (*t*) en segundos; P (vatios) = (w × h) / t.
7. Repetimos la prueba dos veces más con un período de recuperación de 2 a 3 minutos entre intentos.

Capacidad Anaeróbica

13.10 CARRERA DE IDA Y VUELTA DE 274 METROS

Material
- Un cronómetro con una resolución de al menos 0,1 segundos.
- Dos líneas paralelas separadas 22,86 metros sobre una superficie plana

(figura 13.5).

Personal

- Un cronometrador, dos jueces de línea.

Procedimiento

1. Emparejamos atletas de capacidad parecida.
2. Situamos a los dos atletas inmediatamente detrás de una de las líneas, cara a cara.
3. Al oír una señal, los atletas esprintan hasta la otra línea situada a 22,86 metros, haciendo contacto con el pie, para luego esprintar de vuelta a la primera línea. Se completan seis rondas de ida y vuelta lo más rápido posible y sin parar.
4. Al completar el primer intento, registramos los tiempos de ambos atletas con un margen de error de 0,1 segundos y ponemos en marcha otro reloj para cronometrar un intervalo de 5 minutos. A medida que cada pareja de atletas completa el primer intento, tal vez caminen y estiren, pero se deben mantener alertas para llevar a cabo el segundo intento.
5. Después de un período de descanso, la pareja de atletas hace otro intento.
6. Se anota el promedio de los dos intentos con un margen de error de 0,1 segundos.

Nota: En la tabla 13.8 se aportan datos descriptivos para la carrera de ida y vuelta de 274 metros.

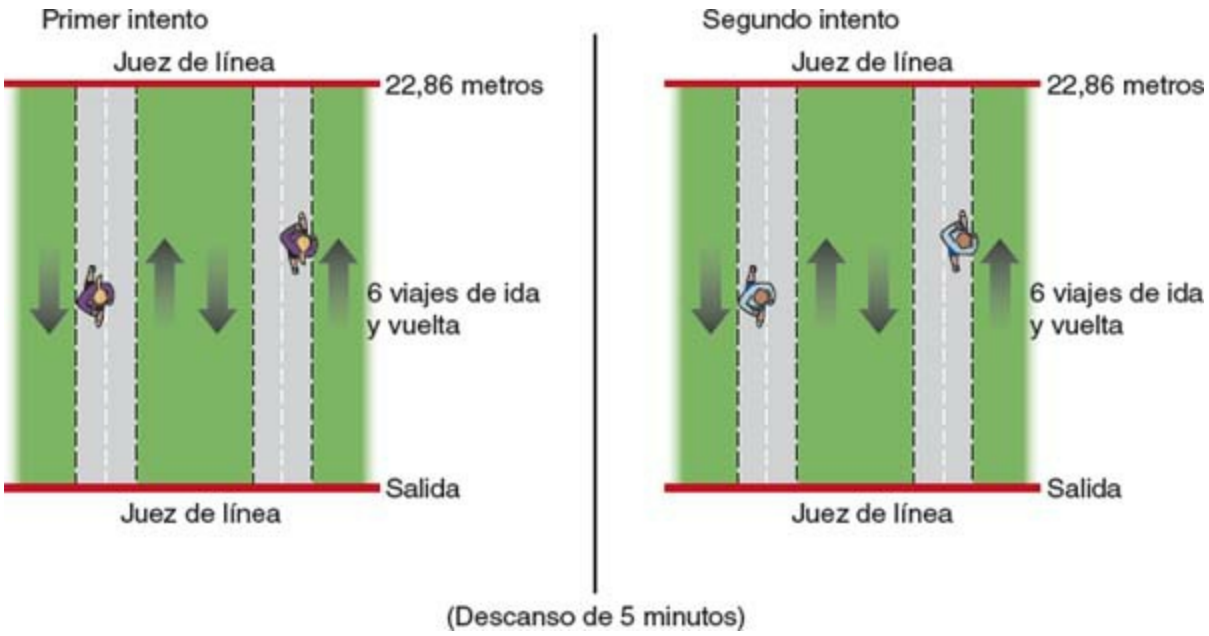


FIGURA 13.5 Distribución del terreno para la carrera de ida y vuelta de 274 metros. Adaptado de Gilliam, 1983 (38).

Resistencia Muscular Localizada

13.11 FLEXIONES CORTAS DE ABDOMINALES

La prueba de flexiones cortas de abdominales mide la resistencia muscular de la musculatura abdominal. Se prefiere a la prueba de abdominales, porque elimina el uso de los músculos flexores de cadera.

Material

- Un metrónomo.
- Una regla.
- Cinta métrica.
- Una alfombrilla.

Personal

- Un cronometrador/juez técnico.

Procedimiento

1. El atleta se tumba en decúbito supino sobre una colchoneta con las rodillas en un ángulo de 90° (figura 13.6*a*). Los brazos descansan en el

suelo junto a los costados, con los dedos tocando un trozo de cinta adhesiva de 10 cm de largo situado perpendicular a los dedos. Se pega un segundo trozo de cinta adhesiva paralelo al primero a una distancia determinada por la edad del atleta (12 cm para los más jóvenes de 45 años, y 8 cm para los mayores de 45 años).

2. Establecemos el metrónomo en 40 pulsos por minuto y ordenamos al atleta que haga flexiones lentas y controladas hasta levantar los omoplatos de la colchoneta (el tronco adopta un ángulo de 30° respecto a la colchoneta; figura 13.6*b*) al unísono con el metrónomo (20 flexiones por minuto). La porción superior de la espalda debe tocar el suelo antes de la siguiente flexión. El atleta evitará flexionar el cuello para aproximar la barbilla al pecho.
3. El atleta practica tantas flexiones como sea posible sin pausa, hasta un máximo de 75.



FIGURA 13.6 Flexión corta de abdominales: (*a*) posición inicial y (*b*) posición final.

13.12 FLEXIONES DE BRAZOS

Material

- Un rodillo de gomaespuma de 10 cm de diámetro (para atletas femeninas).

Personal

- Un cronometrador/juez técnico.

Procedimiento

1. Tanto para los estándares del Ejército como los del American College of Sports Medicine (ACSM), los hombres asumen la posición inicial estándar para las flexiones de brazos con las manos separadas la anchura de los hombros, y los codos y el cuerpo rectos (figura 13.7*a*). En el caso de los estándares del Ejército, las mujeres asumen la misma posición que los hombres. En el caso de los estándares del ACSM, las mujeres comienzan de forma similar excepto porque son las rodillas, más que los pies, las que entran en contacto con el suelo, con las rodillas flexionadas 90° y los tobillos cruzados (figura 13.8*a*).
2. En el caso de los estándares del Ejército, la posición baja para las flexiones de brazos es con los brazos paralelos al suelo (figura 13.7*b*). En el caso de los estándares del ACSM, la posición baja para los hombres es con el pecho en contacto con el puño del cronometrador sostenido vertical contra el suelo. No hay un criterio para los estándares en el caso de la posición baja para las mujeres (30), pero se ha sugerido que las mujeres pongan en contacto el torso con un rodillo de gomaespuma en el suelo, en vez de con un puño (figura 13.8*b*). En cualquier caso, no se cuentan las repeticiones que no alcancen la posición baja requerida.
3. En el caso de los estándares del Ejército, se realizan tantas repeticiones como sea posible durante un período de 2 minutos. El atleta tal vez haga una pausa, pero solo en la posición erguida. En el caso de los estándares del ACSM, se practican tantas repeticiones como sea posible hasta el fallo.

Nota: Las puntuaciones del Ejército en flexiones de brazos se muestran en la tabla 13.9.



FIGURA 13.7 Flexión de brazos según las normas del ejército: (*a*) posición inicial y (*b*) posición final.



FIGURA 13.8 Flexión de brazos según las normas para mujeres de la ACSM: (*a*) posición inicial y (*b*) posición final.

13.13 PRUEBA DE *PRESS* DE BANCA DE LA YMCA

Material

- Una haltera, discos de pesas, dos inmovilizadores y suficiente peso total para montar una carga de 16 y 36 kg (incluyendo los inmovilizadores).
- El *press* de banca plana (preferiblemente con un soporte vertical para la haltera).
- Un metrónomo.

Personal

- Un vigilante/anotador.

Procedimiento

1. Enseñaremos al atleta la técnica correcta para el *press* de banca plana descrita en el capítulo 15.
2. El vigilante/anotador está durante toda la prueba de pie junto a la cabecera de la banca para ayudar a levantar la haltera si el atleta fallase el intento y para ayudarle a devolver la barra al soporte.

3. La resistencia se gradúa en 36 kg para los hombres y 16 kg para las mujeres.
4. La cadencia del metrónomo se establece en 60 pulsos por minuto para establecer un ritmo de 30 repeticiones por minuto (pulso arriba, pulso abajo).
5. El atleta ase la barra con las manos separadas la anchura de los hombros, levanta la barra del soporte y extiende los codos. A continuación, al compás con el metrónomo, la haltera baja repetidamente hasta el pecho y se vuelve a elevar, de modo que se extiendan los codos, hasta que el atleta no pueda seguir el ritmo del metrónomo. El movimiento debe ser armónico y controlado, llegando la haltera a su punto más alto y más bajo a cada pulso del metrónomo.

Nota: En la tabla 13.10 se aportan datos normativos para el *press* de banca de la YMCA.

Capacidad Aeróbica

13.14 CARRERA DE 2,4 KILÓMETROS

Material

- Un cronómetro.
- Una pista de atletismo de 400 metros o un tramo liso de 2,4 km medido y marcado con una buena superficie para correr. También se puede usar un tramo de 3 km como alternativa.

Personal

- Un evaluador para avisar al atleta del tiempo y un anotador.

Procedimiento

1. Haremos que el atleta caliente y haga estiramientos antes de la prueba.
2. El juez de tiempos debe poder identificar a los atletas en la línea de meta. Si eso no es posible, se colgará un dorsal de la camiseta de los atletas.
3. En la salida, todos los corredores deben alinearse detrás de la línea de salida.

4. Se pedirá a los atletas que completen la carrera lo más rápido posible a un ritmo continuo que puedan mantener toda la distancia. (*Nota*: Algunos atletas tal vez tengan limitada experiencia en establecer un ritmo para esfuerzos largos como este, por lo que sugerimos que intenten familiarizarse en el entrenamiento corriendo marcando un ritmo adecuado.)
5. Al oír la señal, los atletas comienza a correr y a cubrir la distancia lo más rápido posible.
6. A medida que los corredores cruzan la línea de meta, se registra el tiempo de todos ellos en una ficha mientras el cronometrador vocea las marcas en minutos y segundos (00:00).

Nota: En las tablas 13.11 a 13.14 se aportan datos normativos para la carrera de 2,4 km. Las tablas muestran el consumo máximo de oxígeno de cada tiempo en la carrera de 2,4 km; las normas para los atletas en diversos deportes aparecen en la tabla 13.15.

13.15 CARRERA DE 12 MINUTOS

Material

- Una pista de atletismo de 400 metros o un circuito liso de 2,4 km en el que haya una señal cada 100 metros.
- Un cronómetro.

Personal

- Un evaluador para avisar al atleta del tiempo y un anotador.

Procedimiento

1. Los corredores se alinean en la línea de salida.
2. Al oír la señal, los atletas se desplazan a pie lo más lejos posible durante 12 minutos, preferiblemente corriendo, aunque, si fuese necesario, caminando parte del tiempo.
3. Al transcurrir los 12 minutos, al oír la señal, todos los atletas se detienen allí donde estén.
4. Se calcula y anota la distancia recorrida por los atletas (vueltas × 400 m; p. ej., 5,25 vueltas × 400 m = 2.100 metros).

13.16 PRUEBA YO-YO DE RECUPERACIÓN INTERMITENTE

El empleo de las pruebas yo-yo de recuperación intermitente (IRT1 y IRT2) es ya algo habitual en los protocolos de pruebas de campo para deportes de equipo (9, 13, 58). Se sugiere que estas pruebas son más específicas para los deportes de equipo, porque reproducen la exigencia de tandas intensas y explosivas de ejercicio seguidas por períodos cortos de recuperación. Ambas pruebas consisten en dos carreras de ida y vuelta x 20 a velocidad creciente, intercaladas con un período de recuperación de 10 segundos, con el IRT1 empezando a 10 km/h y el IRT2 a 13 km/h. Se recomienda que los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico empleen el IRT1.

Material

- Conos.
- Una cinta métrica de al menos 30 m de longitud.
- Un programa informático de audio específico para la prueba yo-yo de recuperación intermitente, IRT1 (comercializado por distintos medios).
- Un método para emitir los archivos de audio (p. ej., altavoces inalámbricos).
- Una ficha de registro.
- Suelo liso con buena tracción.

Personal

- Un evaluador/anotador y un vigilante.

Procedimiento

1. Medimos un circuito de 20 metros y colocamos los conos como se aprecia en la figura 13.9. Colocamos unas señales separadas 2 metros de distancia en ambos extremos del circuito de la prueba, en la línea de salida y en la línea de dar la vuelta. También medimos una distancia de 5 metros por detrás de la línea de salida.
2. Los atletas hacen un calentamiento y estiramientos antes de la prueba. Tienen que recorrer el circuito con un esfuerzo submáximo a modo de práctica.
3. La prueba comienza con los atletas apostados en la línea de salida.
4. Al oír la señal, los atletas corren hasta la línea para dar la vuelta. Al oír

la segunda señal, llegan a la línea para dar la vuelta y corren de vuelta a la línea de salida al unísono con la siguiente señal auditiva.

5. Cuando pasen la marca de la salida, los atletas correrán al trote hasta la señal de 5 metros y darán la vuelta hasta la línea de salida. En este punto, se detendrán y esperarán a oír la siguiente señal.
6. Se pide a los atletas que pongan un pie en o encima de la línea de salida o de dar la vuelta cada vez que oigan la señal acústica.
7. Los atletas siguen corriendo mientras pueden mantener la velocidad creciente que va marcando la señal acústica.
8. La prueba se da por concluida cuando el atleta es incapaz de mantener el ritmo requerido en dos intentos. Se da un aviso la primera vez que no alcanza la línea de salida o no da la vuelta.
9. Al finalizar la prueba, se anota en una ficha de registros el último nivel y el número total de intervalos de 2 × 20 m concluidos a ese nivel.
10. La velocidad final en la prueba yo-yo de recuperación intermitente y la puntuación en los intervalos sirven para calcular la distancia total recorrida por el atleta durante la prueba.

Nota: En la tabla 13.16 se aportan datos descriptivos para la prueba yo-yo de recuperación intermitente.

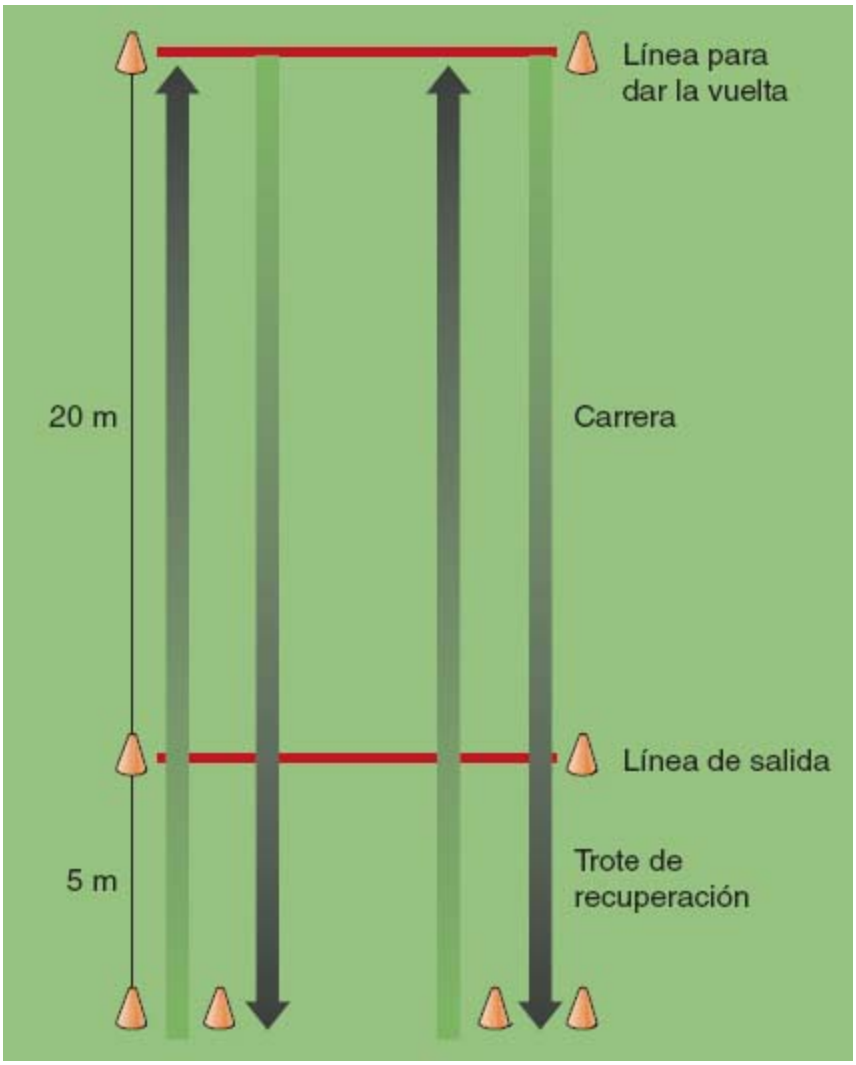


FIGURA 13.9 Disposición del circuito para la prueba yo-yo de recuperación intermitente.

13.17 PRUEBA DE VELOCIDAD AERÓBICA MÁXIMA

Material

- Conos.
- Una cinta métrica de al menos 30 m de longitud.
- Un programa informático de audio específico para la prueba de la velocidad aeróbica máxima (VAM).
- Un método para emitir los archivos de audio (p. ej., altavoces inalámbricos).
- Una ficha de registro.
- Una pista de atletismo cubierta o al aire libre (de al menos 200 m).

Personal

- Un evaluador/anotador.

Procedimiento

1. Se colocan conos a modo de señal cada 25 metros alrededor de la pista de atletismo.
2. La velocidad inicial de la prueba se establece entre 8 y 12 km/h, dependiendo del nivel de forma física del atleta. Se suele recomendar que empiecen a 10 km/h.
3. La velocidad aumenta 1 km/h cada 2 minutos hasta que el atleta no sea capaz de mantener la velocidad.
4. La última velocidad mantenida durante al menos 2 minutos se considera la velocidad asociada con el $\dot{V}O_2$ máx o VAM.
5. La prueba termina cuando en dos ocasiones consecutivas el atleta no alcanza el siguiente cono en el tiempo requerido.
6. La velocidad del último circuito completado aumenta 0,5 km/h si el atleta es capaz de correr medio estadio.
7. El $\dot{V}O_2$ máx del atleta se calcula multiplicando 3,5 × VAM (velocidad en kilómetros por hora) (60).
8. Si el entrenador no tiene acceso a la versión en audio, es posible realizar la prueba usando un silbato. Se calcula el momento correcto de los silbidos usando una velocidad marcada para alcanzar el siguiente cono. Por ejemplo, cuando la distancia entre conos es 25 m, el turno de los silbidos a una velocidad de 20 km/h sería cada 9 segundos.

Nota: En la tabla 13.15 se aportan las normas para obtener el $\dot{V}O_2$ máx de los atletas en diversos deportes.

Agilidad

13.18 TEST DE T

Material

- Cuatro conos.
- Una cinta métrica de al menos 4,6 m de longitud.

- Un cronómetro.
- Un piso plano con buena tracción.

Personal

- Un evaluador/anotador, un vigilante.

Procedimiento

1. Se colocan los cuatro conos como se muestra en la figura 13.10 (puntos A, B, C y D).
2. Haremos que el atleta haga un calentamiento y estiramientos antes de la prueba. Puede practicar si quiere y correr por el circuito a una velocidad submáxima.
3. La prueba comienza con el atleta de pie en el punto A.
4. Al oír la señal, el atleta esprinta hacia el punto B y toca la *base* del cono con la mano derecha.
5. A continuación, mirando hacia delante y sin cruzar los pies, el atleta se desplaza lateralmente 4,6 metros hacia la izquierda y toca la *base* del cono C con la mano izquierda.
6. A continuación, el atleta se desplaza lateralmente 9,1 metros hacia la derecha y toca la *base* del cono D con la mano derecha.
7. A continuación, el atleta se desplaza lateralmente 4,6 metros hacia la izquierda y toca la *base* del cono B con la mano izquierda, y entonces corre hacia atrás hasta pasar por el punto A, momento en el cual se detiene el cronómetro.
8. Por razones de seguridad debe haber un vigilante y una colchoneta detrás del punto A por si el atleta sufriera una caída al correr hacia atrás.
9. Se registra el mejor tiempo de dos intentos con un margen de error de 0,1 segundos.
10. Razones para invalidar un intento: El atleta no llega a tocar la base de alguno de los conos; el atleta cruza un pie delante de otro en los desplazamientos laterales o no mira siempre hacia delante durante toda la prueba.

Nota: En la tabla 13.17 se aportan datos descriptivos para el test T.

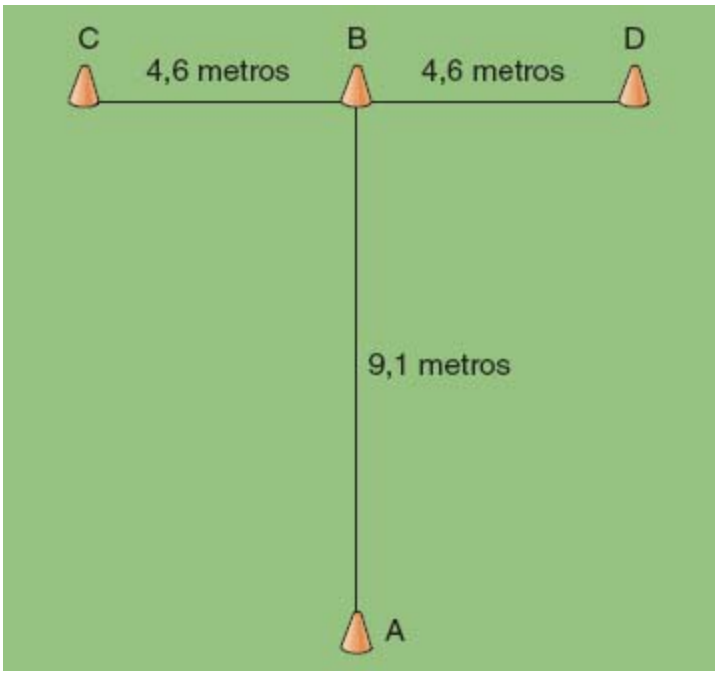


FIGURA 13.10 Circuito del test T.

Adaptado, con permiso, de Semenick, 1990 (100).

13.19 PRUEBA DEL HEXÁGONO

Material

- Cinta adhesiva de un color que contraste con el suelo.
- Una cinta o bastón métricos
- Un cronómetro.
- Suelo liso con buena tracción.

Personal

- Un cronometrador/anotador y un juez de línea.

Procedimiento

1. Con la cinta adhesiva, creamos un hexágono en el suelo cuyos lados midan 61 cm y formen ángulos de 120° (figura 13.11).
2. El atleta hace un calentamiento y practica la prueba a una velocidad submáxima.
3. La prueba comienza con el atleta de pie en medio del hexágono.
4. Al oír la señal, el atleta empieza a saltar con los pies juntos desde el centro del hexágono a cada uno de los lados y vuelta al centro,

empezando por el lado directamente enfrente del atleta, en una secuencia continua en el sentido de las agujas del reloj hasta haber recorrido todos los lados tres veces (tres revoluciones alrededor del hexágono hasta un total de 18 saltos) y quedar de nuevo de pie en el centro. El atleta mira en la misma dirección durante toda la prueba.

5. Si el atleta aterriza a un lado del hexágono y no encima, si pierde el equilibrio y da un paso extra o cambia la dirección hacia la que mira, el intento queda anulado y se repite después de dejarle tiempo para recuperarse completamente.
6. Se registra el mejor tiempo de tres intentos con un margen de error de 0,1 segundos.

Nota: En la tabla 13.17 se aportan datos descriptivos para la prueba del hexágono.

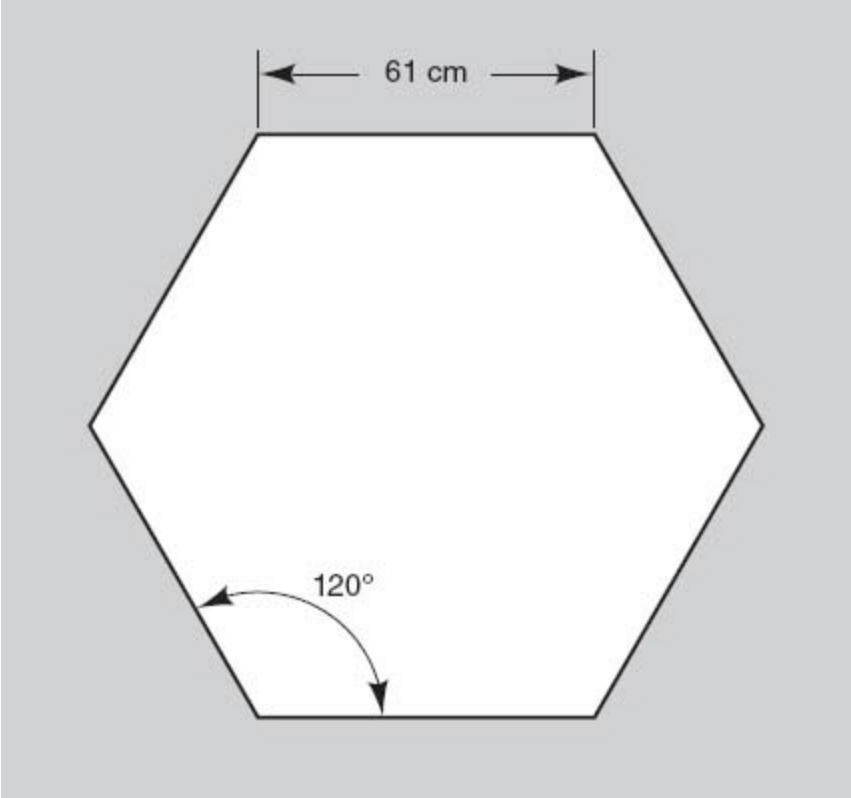


FIGURA 13.11 Disposición de la prueba del hexágono.

Adaptado, con permiso, de Pauole, 2000 (86).

13.20 PRUEBA DE AGILIDAD DE 10 × 5 METROS

Material

- Un campo de fútbol americano u otro campo marcado con tres líneas paralelas separadas 4,6 metros (figura 13.12).
- Un cronómetro.

Personal

- Un cronometrador/anotador y un juez de línea.

Procedimiento

1. El atleta se sitúa a horcajadas en la línea central de las tres paralelas en una postura con tres apoyos como en el fútbol americano.
2. Al oír la señal, el atleta esprinta 5 m hacia la línea situada a la izquierda, luego cambia de dirección y esprinta 10 metros hasta la línea situada a la derecha, para luego cambiar de nuevo de dirección y esprintar 5 metros hasta la línea central. La mano (o el pie) deben entrar en contacto con las tres líneas indicadas. (*Nota*: Es importante que esta norma no se infrinja en ninguno de los dos intentos).
3. Se registra el mejor tiempo de dos intentos con un margen de error de 0,1 segundos.

Nota: En la tabla 13.18 se aportan datos normativos para la prueba de agilidad de 10 × 5 metros.

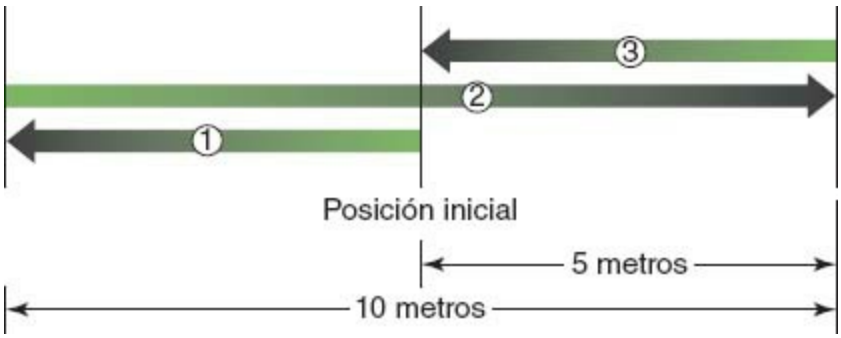


FIGURA 13.12 Disposición para la prueba de agilidad de 10 × 5 metros.

13.21 PRUEBA DE AGILIDAD 505

Material

- 7 conos
- Un cronómetro o luces con temporizador.

Personal

- Un cronometrador/anotador y un juez de línea.

Procedimiento

1. Se colocan los conos como se aprecia en la figura 13.13. Si se dispone de luces con temporizador, se pueden colocar también como en la figura.
2. Haremos que el atleta haga un calentamiento y estiramientos antes de la prueba. Puede practicar si quiere y correr por el circuito a una velocidad submáxima.
3. La prueba comienza con el atleta de pie en la línea de salida.
4. Al oír la señal, el atleta esprinta adelante 10 metros hasta el primer grupo de luces, y luego esprinta otros 5 metros hasta la línea para girar (un pie debe pisar o traspasar la línea), donde tendrá que dar la vuelta y acelerar.
5. El atleta solo podrá bajar el ritmo después de pasar las luces por segunda vez.
6. Se registra el mejor tiempo de dos intentos con un margen de error de 0,1 segundos.
7. El atleta completa los intentos girando con la pierna preferida. Como alternativa, puede haber otros ensayos (al menos dos) en que se gire con cualquiera de las piernas.

Nota: En la tabla 13.17 se aportan datos descriptivos para la prueba de agilidad 505.

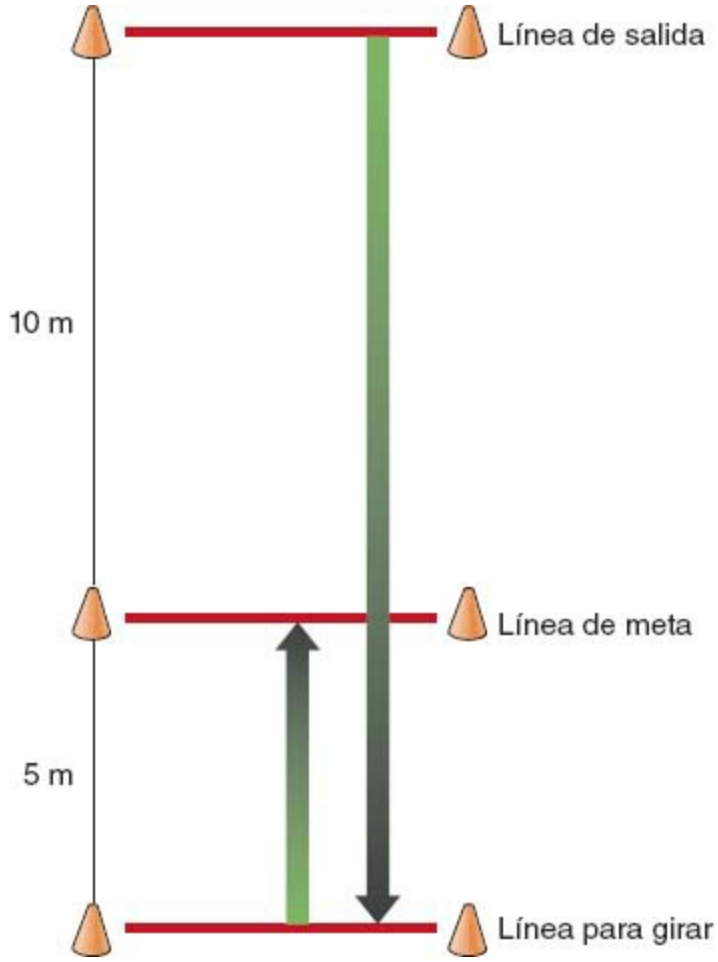


FIGURA 13.13 Disposición para la prueba de agilidad 505.

Velocidad

13.22 PRUEBA DE ESPRÍN EN LÍNEA RECTA

Material

- Cronómetro o luces con temporizador.
- Una superficie lisa para correr con líneas de salida y meta a una distancia específica (p. ej., 37 metros; 10 m, 20 m y 40 m), con al menos 18 metros después de la línea de meta para la desaceleración.

Personal

- Un cronometrador/anotador.

Procedimiento

1. Haremos que el atleta haga un calentamiento y estiramientos dinámicos durante varios minutos.
2. Permitiremos que al menos haga dos carreras de práctica a una velocidad submáxima.
3. El atleta asumirá una posición de salida usando la postura con tres puntos de apoyo.
4. Al oír la señal, el atleta esprintará la distancia especificada a velocidad máxima.
5. Se registrarán los mejores tiempos parciales de dos intentos con un margen de error de 0,1 segundos.
6. Se permitirán al menos 2 minutos de recuperación activa o descanso entre intentos.

Nota: En la tabla 13.19 se aportan datos normativos para la prueba de esprín de 10 m, 20 m y 40 m.

Equilibrio Y Estabilidad

13.23 SISTEMA DE PUNTUACIÓN DE ERRORES DE EQUILIBRIO (BESS)

Material

- Una almohadilla de equilibrio de gomaespuma.
- Un cronómetro.

Personal

- Un cronometrador/anotador.

Procedimiento

1. En la figura 13.14 se muestran las seis posiciones del BESS (*balance error scoring system*).
2. Hay tres posturas en bipedestación con los pies juntos; una en monopedestación sobre el pie no dominante, con la rodilla de la pierna contralateral en un ángulo aproximado de 90° de flexión, y otra en bipedestación con los pies en línea, el dominante delante del no

dominante (95). La prueba se practica sobre una superficie firme y sobre otra blanda.
3. Las posturas se mantienen 20 segundos con los ojos cerrados y con las manos en las caderas.
4. Se pide a los atletas que se mantengan lo más quietos que sea posible, y si pierden el equilibrio, intentarán recuperar la postura inicial lo más rápido posible.
5. Posibles errores: abrir los ojos; alzar las manos de las caderas; apoyar en el suelo el pie que está en el aire; dar un paso, un salto u otro movimiento con el pie o pies de apoyo; levantar el antepié o el talón; mover las caderas más de 30° de flexión o abducción, o deshacer la postura más de 5 segundos seguidos.
6. Los puntos de los errores de la prueba de BESS se suman en una sola puntuación.

Nota: En la tabla 13.20 se aportan datos normativos para la prueba de BESS.



FIGURA 13.14 Sistema de puntuación de errores de equilibrio (BESS): (*a-c*) sobre una superficie firme y (*d-f*) sobre una superficie blanda.

13.24 PRUEBA DE EQUILIBRIO EN DESPLAZAMIENTO EN ESTRELLA (SEBT)

Material

- Cinta adhesiva.

Personal

- Un anotador.

Procedimiento

1. Para realizar la prueba SEBT (*star excursion balance test*) el atleta se pone de pie en el centro de una estrella con ocho radios (de 120 cm) que irradian en incrementos de 45°, tal y como se muestra en la figura 13.15 (83, 93).
2. El atleta se mantiene en monopedestación mirando en una dirección mientras alcanza con la pierna contralateral lo más lejos posible pisando las distintas líneas de cinta adhesiva para luego volver a la posición bilateral. En un solo intento, el atleta se mantiene mirando en la dirección inicial y la pierna de apoyo se mantiene igual, siendo la otra pierna la que se extiende lo más lejos posible.
3. Se mide la distancia desde el centro de la estrella hasta la posición de contacto del pie extendido.
4. La dirección de partida y la pierna de apoyo se eligen al azar. Se practican tres ensayos en cada condición y se obtiene el promedio.
5. Se permite un descanso de 15 segundos entre extensión y extensión de la pierna.
6. Se descartan los ensayos en los que el atleta no toque la línea, si levanta el pie de apoyo del centro de la estrella, si pierde el equilibrio o si no mantiene durante 1 segundo las posiciones inicial y de retorno.
7. Los atletas deben hacer al menos cuatro intentos de ensayo antes de iniciar la prueba (73).
8. Se ha sugerido que basta con someter a prueba las posiciones anterior, posterolateral y posteromedial (43).

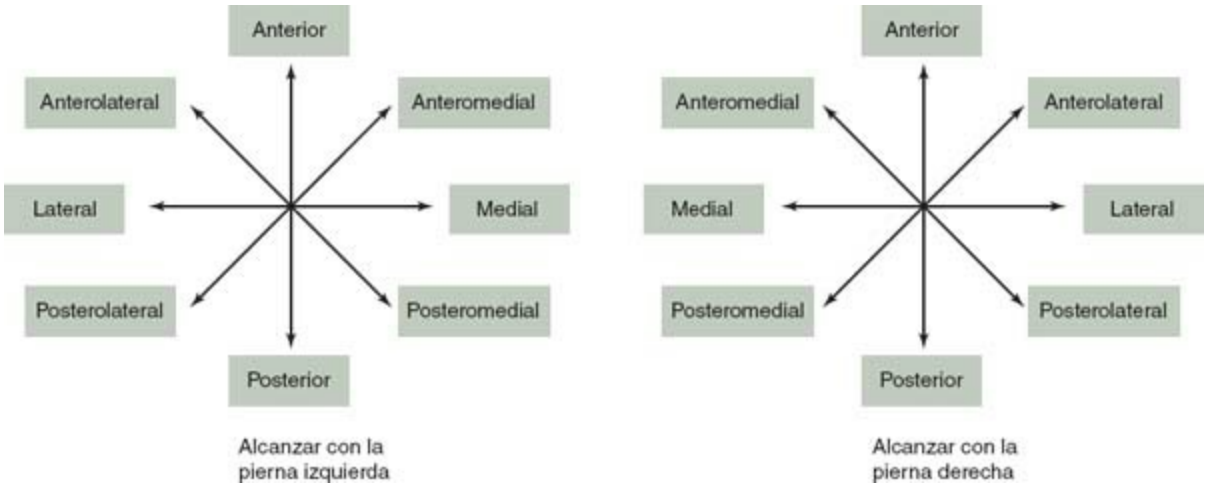


FIGURA 13.15 Direcciones para la prueba de equilibrio en desplazamiento en estrella (SEBT).

Fuente: Reproducido, con autorización, de Reiman y Mankse, 2009 (93).

Flexibilidad

13.25 PRUEBA DE SENTARSE Y ALCANZAR

Nota: Se debe mantener siempre el mismo método para la prueba de sentarse y alcanzar cuando se vaya a realizar periódicamente. Por ejemplo, si la prueba inicial se practica con una cinta o bastón métricos, todas las pruebas posteriores de ese atleta se administrarán de la misma forma (es decir, no se usará un cajón en lugar de la cinta o bastón métricos).

Material

- Cinta o bastón métricos.
- Cinta adhesiva.
- Alternativa permisible: un cajón estándar para la prueba de sentarse y alcanzar.

Personal

- Un evaluador/anotador.

Procedimiento

1. Extenderemos en el suelo la cinta o bastón métricos. Marcaremos cada 61 cm con un trozo de cinta adhesiva dispuesta en ángulo recto respecto

a la marca de 38 cm de la cinta o bastón métricos.

2. Haremos que el atleta practique un calentamiento con ejercicios no balísticos que ejerciten los isquiotibiales y la región lumbar de la espalda (por ejemplo, caminar a ritmo rápido durante 5 minutos); se practicarán varias repeticiones de anteroflexión de la espalda estando de pie con las rodillas rectas y tratando de alcanzar los dedos de los pies, para luego extender los brazos hacia el techo (todo sin impulso ni sacudidas); trotará sin desplazarse tratando de tocar la cara posterior de los muslos con los talones, y terminará con el ejercicio de tocarse los dedos de los pies en bipedestación o un estiramiento similar en el suelo.
3. El atleta se sienta en el suelo descalzo con el bastón métrico entre las piernas con el punto cero hacia el cuerpo, los pies separados 30 centímetros, los dedos de los pies apuntando al techo y los talones casi tocando el borde de la marca métrica de los 38 centímetros (figura 13.16*a*).
4. El atleta se inclina lentamente hacia delante extendiendo las manos lo más lejos posible sobre el bastón métrico y aguantando la posición momentáneamente. Para obtener el mejor estiramiento, el atleta debe soltar el aire y meter la cabeza entre los brazos al inclinarse. Nos aseguraremos de que mantiene las manos una encima de la otra y ninguna adelantada. Las yemas de los dedos se mantendrán en contacto con el bastón métrico (figura 13.16*b*). El evaluador tal vez mantenga las rodillas del atleta pegadas al suelo, si fuera necesario, para que no las flexione. Una puntuación inferior a 38 cm revela que el atleta no llegará a tocarse las plantas de los pies.
5. Se registra el mejor de tres intentos con un margen de error de 1 cm.

Nota: En las tablas 13.11 a 13.14 se aportan datos normativos para la prueba de sentarse y alcanzar.



FIGURA 13.16 Prueba de sentarse y alcanzar: (*a*) postura inicial y (*b*) postura final.

13.26 SENTADILLA CON LOS BRAZOS POR ENCIMA DE LA CABEZA

Material

- Una haltera o una vara de madera.

Personal

- Un evaluador/anotador.

Procedimiento

1. El atleta mantiene la vara de madera por encima de la cabeza con los hombros completamente flexionados y los codos extendidos. La distancia entre la empuñadura de las manos debe ser el doble de la anchura de los hombros, y los pies están separados aproximadamente la anchura de los hombros, con las puntas de los pies apuntando hacia delante o un poco hacia fuera (figura 13.17).
2. A continuación, el atleta asume una sentadilla; la acción inicial es de flexión de las caderas y las rodillas. Los talones se mantienen en contacto con el suelo en todo momento.
3. El atleta sigue bajando hasta que el pliegue de las caderas se sitúe por debajo de la rodilla.
4. Debe ser capaz de mantener la posición con el torso erguido (paralelo a la tibia) y la vara de madera (o la haltera) cómodamente por encima de la cabeza.
5. El atleta practica un mínimo de cinco repeticiones y el asesor observa el

movimiento con el atleta de perfil.

6. La valoración es cualitativa y el objetivo es evaluar la competencia física, registrándose el movimiento como válido o fallido.
7. Es importante que el atleta caliente antes y esté familiarizado con los patrones de movimiento para aumentar la validez de la prueba.

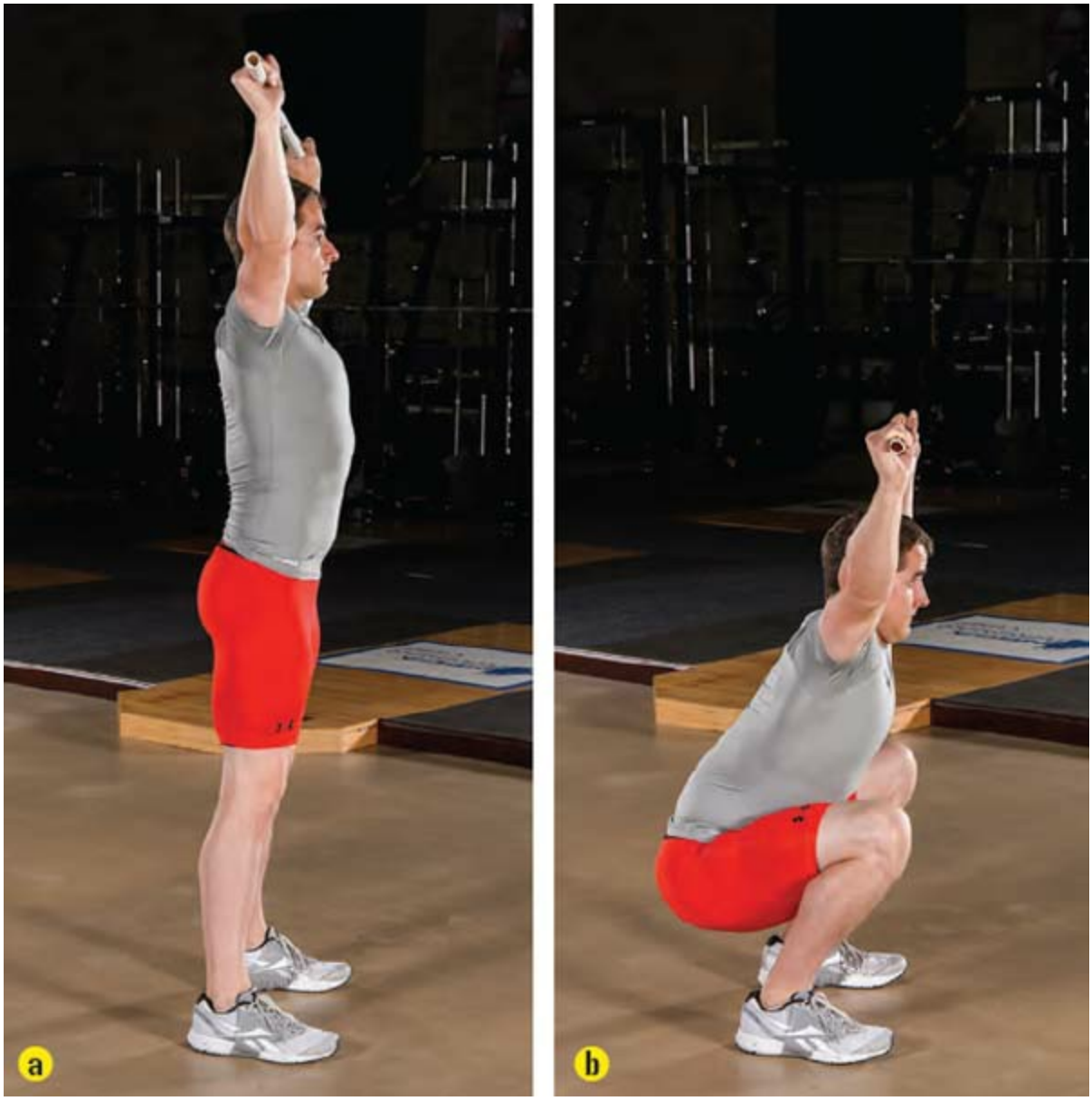


FIGURA 13.17 Postura del cuerpo para la sentadilla con los brazos por encima de la cabeza: (*a*) postura inicial y (*b*) postura final.

Composición Corporal

13.27 MEDICIÓN DE LOS PLIEGUES CUTÁNEOS

Material

- Adipómetros.
- Cinta métrica flexible.
- Un rotulador.

Personal

- Un evaluador, un anotador.

Procedimiento (obteniendo la medición de un pliegue cutáneo)

1. La medición de los pliegues cutáneos se debe hacer con la piel seca, antes del ejercicio, para garantizar la máxima validez y fiabilidad (10). El número de puntos de medición y ecuaciones se seleccionan basándose en la población que se somete a la prueba (tabla 13.21).
2. Se ase la piel con firmeza entre el pulgar y el índice para formar un pliegue de piel y grasa subcutánea.
3. Se colocan las pinzas del adipómetro perpendiculares al pliegue, a 1-2 cm del índice y el pulgar.
4. Se alivia la presión sobre la empuñadura para que la tensión del muelle se ejerza sobre el pliegue cutáneo.
5. Uno a dos segundos después de aliviar la presión sobre la empuñadura, se lee la lectura del adipómetro con un margen de error de 0,5 mm.
6. Se obtiene una medición de cada uno de los puntos y luego se repiten todas por segunda vez. Si las mediciones no difieren más de un 10%, se obtiene la media de las dos mediciones con un margen de error de 0,5 mm. De lo contrario, se toma una o más mediciones adicionales hasta que dos de ellas no difieran más de un 10%, y se obtiene la media con un margen de error de 0,5 mm.

Procedimiento (medición del punto seleccionado y cálculo del porcentaje de grasa corporal)

1. Hay ecuaciones específicas para calcular la densidad corporal (Dc) (y, por tanto, el porcentaje de grasa corporal [% GC]) de distintas poblaciones. Primero se selecciona la ecuación apropiada para el atleta de la tabla 13.21.
2. Remitimos a la ecuación elegida y a las instrucciones afines y

marcaremos la piel en los puntos anatómicos apropiados (45, 88):

- *Pectoral*. Pliegue diagonal a mitad de distancia entre la línea axilar anterior y el pezón en los hombres (figura 13.18*a*).
- *Crural*. Pliegue vertical en la cara anterior del muslo, a medio camino entre las articulaciones coxofemoral y de la rodilla (figura 13.18*b*).
- *Abdominal*. Pliegue vertical 2,5 cm a la derecha (respecto al atleta) del ombligo (figura 13.18*c*).
- *Tricipital*. Pliegue vertical en la línea media posterior del brazo (sobre el músculo tríceps), a medio camino entre el acromion y el olécranon (el brazo debe estar en la posición anatómica con el codo extendido y relajado (figura 13.18*d*).
- *Suprailíaco*. Pliegue diagonal por encima de la cresta ilíaca en el punto donde una línea imaginaria descendería desde la línea axilar anterior (figura 13.18*e*) (algunos prefieren tomar la medida más lateralmente, en la línea axilar media).
- *Axilar*. Pliegue vertical en la línea axilar media a nivel de la apófisis xifoides del esternón (figura 13.18*f*).
- *Subescapular*. Un pliegue medido en una línea diagonal que se extiende desde el borde vertebral hasta un punto a 1-2 cm del ángulo inferior de la escápula (figura 13.18*g*).
- *Peroneo*. Pliegue vertical a lo largo del lado medial de la pantorrilla, a nivel de la máxima circunferencia (figura 13.18*h*).

3. Usando la ecuación apropiada de la tabla 13.21 para una población específica, se calcula la densidad del cuerpo a partir de los pliegues cutáneos (45).
4. Se introduce el dato de la ecuación apropiada para una población específica, sacado de la tabla 13.22, con el fin de calcular el porcentaje de grasa corporal a partir de la densidad corporal (45).
5. Obsérvese que no hay normas universalmente aceptadas para la composición corporal. Cuando los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico evalúan la composición corporal de un atleta, deben tener en cuenta el error típico de estimación (ETE) e informar del margen de porcentajes en que se adscribe el atleta. Obsérvese que el ETE mínimo para ecuaciones de los pliegues cutáneos de poblaciones específicas es ±3% a ±5%. Por tanto, si el porcentaje de grasa corporal de un atleta varón de 25 años es un 24%, hay un margen mínimo del 6% (21-27%).

Nota: En las tablas 13.22 y 13.23 se aportan datos descriptivos para el porcentaje de grasa corporal.



FIGURA 13.18*a* Pliegue pectoral.



FIGURA 13.18*b* Pliegue crural.



FIGURA 13.18*c* Pliegue abdominal.



FIGURA 13.18*d* Pliegue tricipital.



FIGURA 13.18*e* Pliegue suprailíaco.



FIGURA 13.18*f* Pliegue axilar.



FIGURA 13.18*g* Pliegue subescapular.



FIGURA 13.18*h* Pliegue peroneo.

ANTROPOMETRÍA

13.28 MEDICIÓN DE LOS DIÁMETROS CORPORALES

Material

- Cinta métrica flexible con muelle recuperador.

Personal

- Un evaluador, un anotador.

Procedimiento

1. El atleta se coloca en una posición anatómica relajada para tomar todas y cada una de las medidas (a menos que se diga lo contrario para una medida concreta).
2. Se miden los siguientes puntos (56) (figura 13.19): • *Pecho*. A nivel de los pezones en el hombre y en el máximo diámetro (por encima de las mamas) en las mujeres.
   - *Brazo derecho*. En el punto de máximo diámetro con el codo totalmente extendido, la palma hacia arriba y el brazo en abducción y paralelo al suelo.
   - *Antebrazo derecho*. En el punto de máximo diámetro con el codo totalmente extendido, la palma hacia arriba y el brazo en abducción y paralelo al suelo.
   - *Cintura (abdomen)*. A nivel del ombligo.
   - *Caderas (nalgas)*. En la máxima protrusión de las nalgas con los talones juntos.
   - *Muslo derecho*. En el punto de máximo diámetro, por lo general, justo debajo de las nalgas.
   - *Pantorrilla derecha*. En el punto de máximo diámetro entre la rodilla y el tobillo.

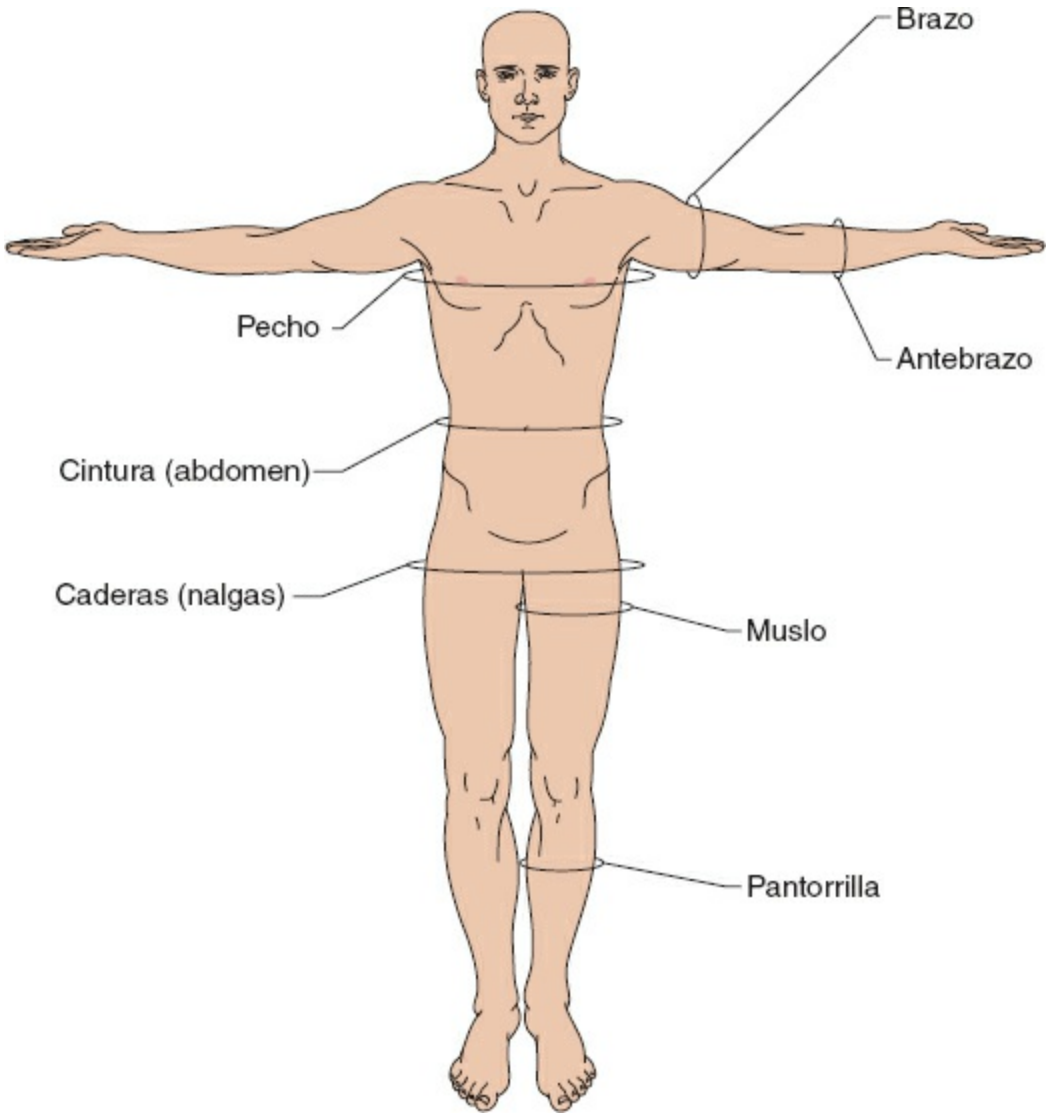


FIGURA 13.19 Puntos para la medición de los diámetros.

Evaluación estadística de los datos de las pruebas

Una vez que se ha elegido la prueba o pruebas, se han administrado y se han recabado las puntuaciones, el siguiente paso comprende todo o parte de lo siguiente: (1) análisis de los datos para determinar el cambio en el rendimiento de las personas o del grupo durante el período de entrenamiento (semanas, meses o años); (2) análisis del rendimiento del individuo o el grupo respecto al de otra persona o grupo similares en el pasado; (3) análisis de la relación entre las puntuaciones de cada atleta y las del grupo, y (4) comparación de las puntuaciones individuales con la norma a nivel local, estatal, nacional o internacional.

Una de las finalidades más importante de la repetición de pruebas sobre el rendimiento es la evaluación de la mejora de atletas individuales y la eficacia general del programa de acondicionamiento físico determinado por los cambios observados en los resultados de las pruebas (73). Una **diferencia de puntuación** es la diferencia entre la puntuación de un atleta al comienzo y al final de un período de entrenamiento o entre las marcas de dos pruebas separadas en el tiempo. El **cambio porcentual** es otra medición que se puede usar; sin embargo, evaluar la eficacia de un programa de entrenamiento simplemente por el grado de mejora presenta dos limitaciones graves. En primer lugar, los atletas que comienzan el período de entrenamiento en un estado de entrenamiento más alto no mejorarán tanto como otros atletas no entrenados cuyo rendimiento fue malo al comienzo del entrenamiento. La ventana de adaptación de las distintas capacidades físicas suele ser mayor en el caso de atletas bien entrenados (77). En segundo lugar, los atletas tal vez no se esfuercen deliberadamente al máximo en las pruebas previas al entrenamiento con el fin de inflar su puntuación en las pruebas tras el entrenamiento. Es importante convencer a los atletas para que se esfuercen al máximo tanto en las pruebas previas como en las posteriores al entrenamiento.

Tipos de estadísticas

La **estadística** es la ciencia de la recogida, clasificación, análisis e interpretación de datos numéricos (18, 110). Es útil tener un conocimiento práctico de la estadística para realizar evaluaciones certeras de los resultados de las pruebas. Hay distintas ramas de la estadística, como la estadística descriptiva y la estadística diferencial. En la actualidad, los científicos y especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico utilizan con mucha frecuencia criterios basados en la magnitud, que son más significativos porque aportan información sobre la magnitud del cambio que importa al atleta en el deporte en cuestión.

Estadística descriptiva

La **estadística descriptiva** resume o describe un amplio grupo de datos. Se usa cuando se conoce toda la información sobre una población. Por ejemplo, si se someten a prueba todos los miembros de un equipo, se pueden hacer aserciones sobre el equipo con el uso de la estadística descriptiva. Existen

tres categorías de medidas numéricas en la estadística descriptiva: la tendencia central, la variabilidad y el margen de percentil. En las secciones siguientes se definen estos términos y se presentan ejemplos de cómo calcular los valores y las puntuaciones.

Tendencia central Las medidas de la **tendencia central** son valores sobre los que tienden a acumularse datos. Las tres medidas más habituales de la tendencia central son las siguientes (18, 110):

- **Media.** Promedio de las puntuaciones (es decir, la suma de los valores dividida por el número de puntuaciones). Esta es la medida de la tendencia central más usada habitualmente.
- **Mediana.** Puntuación de posición central cuando una serie de valores se disponen en orden de magnitud. Con un número par de puntuaciones, la mediana es el promedio de las dos puntuaciones de posición central. La mitad de las puntuaciones se sitúa por encima de la mediana, mientras que la otra mitad se encuentra por debajo. Dependiendo de la distribución de las puntuaciones, la mediana es una medida de la tendencia central preferible a la media. Esto es especialmente cierto cuando tanteos muy altos o muy bajos de uno o unos pocos miembros del grupo examinado elevan o bajan la media del grupo en un grado que no describe adecuadamente la capacidad de la mayoría de los miembros del grupo.
- **Moda.** Puntuación que se da con máxima frecuencia. Si cada valor numérico aparece solo una vez, no hay modo. Si dos o más valores están «ligados» por la máxima frecuencia, entonces todos los valores parecidos son modos. El modo se suele considerar la medida menos útil de la tendencia central.

Variabilidad El grado de dispersión de los valores de un grupo se llama **variabilidad**. Dos medidas comunes de variabilidad son el grado y la desviación estándar. El **margen** es el intervalo entre la puntuación más baja y la más alta. La ventaja del margen es que resulta fácil de entender; la desventaja es que utiliza solo las puntuaciones de ambos extremos y por eso tal vez no sea una medida precisa de la variabilidad (110). Por ejemplo, el margen podría ser el mismo para un grupo de puntuaciones muy dispersas que para un grupo de puntuaciones poco dispersas, excepto por un valor desviador. La desviación estándar (DE) es una medida de la variabilidad de

una serie de valores respecto a la media. La fórmula para la desviación estándar de una muestra es la siguiente:

$$DE = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}} \qquad (13.1)$$

donde $\sum$ es un sumatorio, x es una puntuación, $\bar{x}$ es la media de las puntuaciones y n es el tamaño de la muestra (número de puntuaciones). Una desviación estándar relativamente pequeña revela que una serie de puntuaciones están muy próximas a la media; una desviación estándar mayor muestra una dispersión mayor de las puntuaciones respecto a la media. La desviación estándar es más útil cuando el grupo de puntuaciones «se distribuye normalmente» formando una curva con forma de campana, que se muestra en la figura 13.20 (18, 51).

La puntuación *z* sirve para expresar la distancia respecto a la media de cualquier puntuación individual en las unidades de la desviación estándar (DE):

$$z = (x - \bar{x}) / DE \qquad (13.2)$$

Por ejemplo, si un atleta corre el esprín de 37 metros en 4,6 segundos, y si la media y la desviación estándar del grupo examinado son 5,00 y 0,33 segundos, respectivamente, se puede aplicar la ecuación para determinar que la puntuación *z* de ese atleta es –1,2. Es decir, la puntuación del atleta está 1,2 unidades por debajo de la desviación estándar (es decir, la marca es más rápida que la media del grupo). Las gráficas son un medio útil para representar visualmente las puntuaciones *z*. Proporcionan al especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico una comparación de diferentes capacidades físicas y ayudan a la toma de decisiones sobre qué debilidades revertir con un programa de entrenamiento (figura 13.21). En el ejemplo mostrado, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico tal vez decida centrarse en mejorar la resistencia y la flexibilidad, y también en mejorar la composición corporal (figura 13.21).

Margen del percentil El **margen del percentil** de una persona es el porcentaje de personas sometidas a la prueba que puntúan por debajo de la puntuación de esa persona. Como cálculo de la mediana, el margen del

percentil requiere una disposición ordinal de las puntuaciones (de menor a mayor). Por ejemplo, si un atleta se sitúa en el percentil 75, es porque el 75% del grupo obtuvo una puntuación por debajo de la del atleta. Las normas basadas en muestras grandes a veces se expresan en percentiles espaciados regularmente. Aparecen varios ejemplos de tablas de margen del percentil: tablas 13.1 a 13.3, tabla 13.5, tablas 13.10 a 13.14, y la tabla 13.18.

Estadística interferencial frente a estadística de la magnitud

El uso de la **estadística interferencial** permite extraer unas conclusiones generales sobre una población a partir de la información recogida en una muestra de esa población. Por ejemplo, si la clase de gimnasia de unos chicos de noveno grado se somete a una batería de pruebas y se asume que la clase (la muestra) es representativa de todos los chicos de noveno grado en las escuelas (la población), entonces los resultados de estas pruebas sirven para inferir conclusiones sobre la población en general. Una suposición básica de la estadística interferencial es que la muestra es verdaderamente representativa de la población (18).

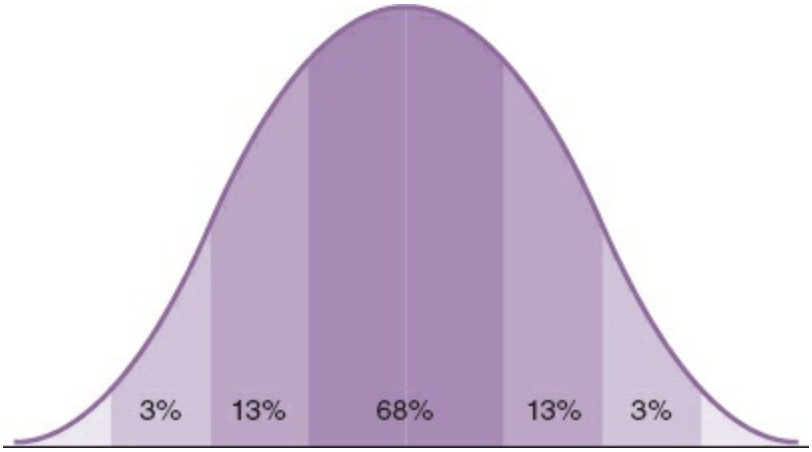


FIGURA 13.20 Curva de campana normal.

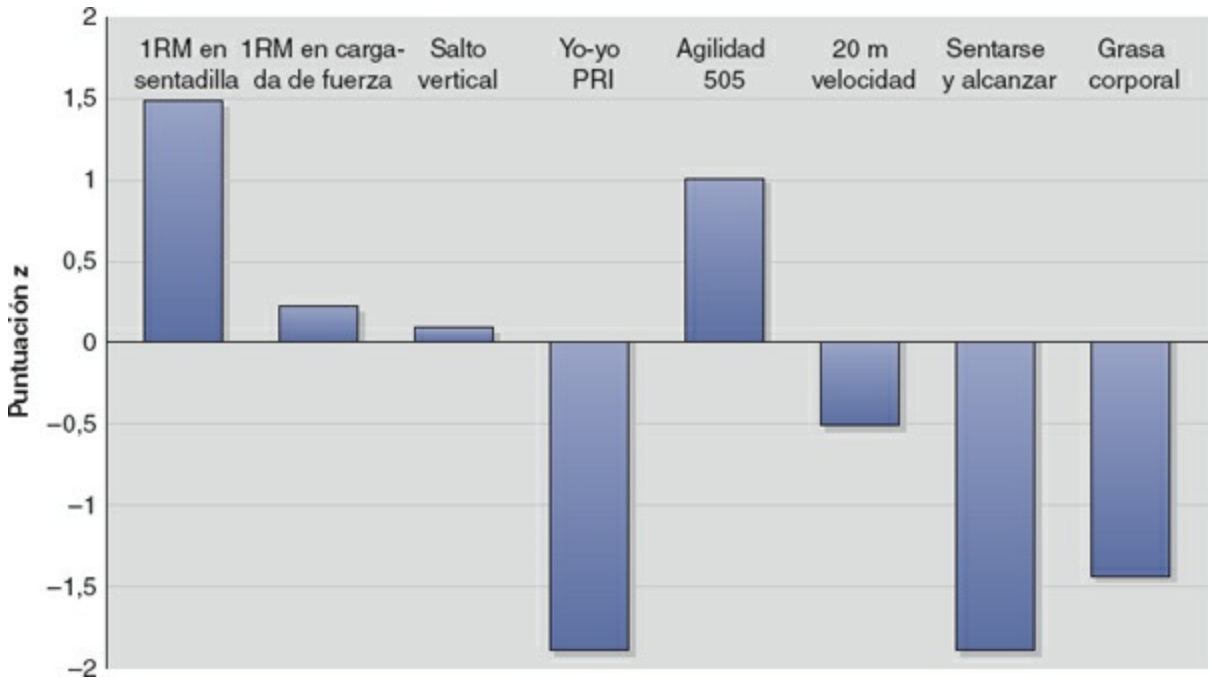


FIGURA 13.21 Gráfica de barras de la puntuación *z* donde se representan las puntuaciones estándar de distintas pruebas de un atleta concreto. El cero representa el promedio del equipo.

La **estadística de la magnitud** ofrece un enfoque más útil para los especialistas porque permite la interpretación de la importancia clínica de la pruebas de esfuerzo (51). Para describir y evaluar la magnitud del cambio en una prueba de esfuerzo, son importantes ciertas mediciones, como el cambio mínimo relevante y la magnitud del efecto.

El **cambio mínimo relevante** hace referencia a la capacidad de una prueba para detectar el cambio más pequeño pero importante para el rendimiento desde el punto de vista práctico. La habilidad para hacer un seguimiento de los cambios con una prueba de esfuerzo depende de la validez y fiabilidad de esa prueba. El cambio mínimo relevante se determina de varias formas, pero se suele calcular como 0,2 de la desviación estándar entre sujetos (51). Por ejemplo, si la desviación estándar para una prueba de salto vertical es 10 cm en un grupo de mujeres atletas, esto significa que el cambio mínimo relevante para este grupo de atletas es 2 cm (0,2 × 10 cm).

La **magnitud del efecto** es una estadística que resulta útil para calcular el rendimiento de grupos que siguen un programa de entrenamiento o para comparar grupos de atletas (29). El efecto del programa de entrenamiento se calcula como la diferencia o cambio en la media como una proporción de la desviación estándar previa a la prueba (ecuación 13.3).

$$ME = (x \text{ postest} - x \text{ pretest}) / DE \text{ pretest} \quad (13.3)$$

Por ejemplo, un grupo de atletas obtuvo una media previa al entrenamiento en 1RM en el *press* de banca de 104,5 kg (desviación estándar de 5,7 kg), y después de 12 semanas de entrenamiento, la media del *press* de banca fue 111,7 kg. La magnitud del efecto calculado equivaldría a (111,7 – 104,5)/5,7 = 1,26.

Existen varias escalas para comparar la magnitud del efecto (19, 73, 94), aunque los valores de referencia para grupos pequeños (0,2), moderados (0,6), grandes (1,2) y muy grandes (2) son un punto de partida útil para los profesionales (29, 51). En el ejemplo dado, esto significaría que el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico interpretaría la magnitud del efecto de 1,26 como que el programa de entrenamiento tuvo un efecto amplio.

Desarrollo de un perfil atlético

Para determinar el estado de entrenamiento específico de un deporte, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico pueden combinar los resultados de pruebas elegidas para generar un **perfil atlético**, que es un conjunto de resultados de pruebas relacionadas con las capacidades específicas para un deporte que son importantes para la calidad del rendimiento en un deporte o en una posición en el deporte. Al evaluar a atletas, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe seguir estos seis pasos:

1. Se seleccionan pruebas que midan los parámetros específicos más directamente relacionados con las características físicas del deporte o deportes en cuestión. Por ejemplo, una batería de pruebas para luchadores debe incluir pruebas de la fuerza de tracción, de la fuerza de empuje y de resistencia muscular localizada.
2. Se eligen pruebas válidas y fiables para medir estos parámetros, y se dispone la batería de pruebas en el orden apropiado con suficiente descanso entre ellas para favorecer su fiabilidad. Por ejemplo, pruebas apropiadas para la lucha libre comprenden las repeticiones máximas en un intervalo de tiempo para flexiones de brazos y flexiones de abdominales. Estas dos pruebas se deben separar por al menos 10 minutos de descanso para así favorecer la exactitud de las puntuaciones.
3. Se administra la batería de pruebas con tantos atletas como sea posible.

4. Se determina el cambio mínimo relevante en las pruebas y se comparan los datos normativos cuando sea apropiado. Se recomienda que los entrenadores guarden los resultados de las pruebas y desarrollen sus propias normas cuando se apliquen procedimientos estándar.
5. Se practican pruebas repetidas (p. ej., programa pre y posentrenamiento) y se emplean los resultados para presentar un perfil visual con cifras.
6. Se emplean los resultados de la pruebas con algún fin útil. Lo ideal es que los resultados permitan al especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico identificar los puntos fuertes y débiles de los atletas y diseñar el programa de entrenamiento teniéndolos en mente.

Conclusión

Las capacidades motoras y las variables de la composición corporal mejorables por medio de programas de fuerza y acondicionamiento físico son la fuerza muscular máxima, la potencia muscular máxima, la capacidad anaeróbica, la resistencia muscular localizada, la capacidad aeróbica, la agilidad, la velocidad, la flexibilidad, los perímetros corporales, el porcentaje de grasa corporal y la masa muscular magra. Las pruebas de rendimiento sirven para evaluar capacidades motoras básicas y la mejora de los atletas a lo largo del tiempo, así como la eficacia general de los programas de acondicionamiento físico. Existen numerosas pruebas para medir las capacidades físicas específicas de un deporte y el estado de entrenamiento. Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico usan datos normativos ya existentes para evaluar el rendimiento atlético o bien desarrollan los suyos propios. Medidas estadísticas como la tendencia central, la variabilidad, el margen de percentil, el cambio mínimo relevante, la magnitud del efecto y las puntuaciones estándar son útiles para evaluar las capacidades físicas y la mejoría de un grupo, así como de los individuos dentro del grupo.

TÉRMINOS CLAVE

agilidad
antropometría
cambio

- mínimo relevante
- porcentual

capacidad
- aeróbica
- anaeróbica

composición corporal
desviación estándar
diferencia de puntuación
equilibrio
estabilidad
estadística
- de la magnitud
- descriptiva
- interferencial

flexibilidad
fuerza muscular
- a alta velocidad
- a baja velocidad

magnitud del efecto
margen del percentil
media
mediana
modo
perfil atlético
potencia
- aeróbica
- anaeróbica
- muscular anaeróbica máxima

rendimiento atlético
resistencia muscular localizada
tendencia central
variabilidad
velocidad

PREGUNTAS DE REPASO

(respuestas en la página 657)

1. La capacidad anaeróbica se cuantifica como la producción de potencia máxima durante una actividad que dura:
   a. Menos de 10 segundos.
   b. De 30 a 90 segundos.
   c. De 2 a 3 minutos.
   d. Más de 5 minutos.

2. ¿Cuál de las siguientes pruebas NO se usa para medir la potencia muscular máxima?
   a. Prueba de Margaria-Kalamen.
   b. Salto vertical.
   c. Esprín de 37 m.
   d. 1RM en arrancada de potencia.

3. ¿La flexibilidad de cuál de los siguientes grupos musculares o áreas del cuerpo se evalúa durante la prueba de sentarse y alcanzar?
   I. Isquiotibiales.
   II. Erector de la columna.
   III. Columna lumbar.
   IV. Flexores de cadera.
   a. Solo I y III.
   b. Solo II y IV.
   c. Solo I, II y III.
   d. Solo II, III y IV.

4. ¿Cuál de las siguientes es una razón para descalificar un ensayo de la prueba de T (figura 13.10)?
   a. Tocar la base del cono D.
   b. Desplazarse lateralmente del cono C al cono D.
   c. Cruzar los pies desde el cono B hasta el cono C.
   d. Correr hacia delante desde el cono A hasta el cono B.

5. Al compilar los resultados del salto vertical de un equipo de voleibol, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico repara en que la mayoría de las puntuaciones son similares, pero hay tres puntuaciones que son mucho mayores que el resto. ¿Cuál de las siguientes mediciones de la tendencia central es más apropiada para este grupo?
   a. Media.

b. Mediana.
c. Modo.
d. Varianza.

TABLA 13.1 Percentiles de 1RM en *press* de banca, sentadilla y cargada de fuerza de mujeres atletas universitarias de la primera división de la NCAA

Rango (porcentaje)	1RM *press* de banca	1RM sentadilla	1RM cargada de fuerza	1RM *press* de banca	1RM sentadilla
	kg	kg	kg	kg	kg
	BALONCESTO			NATACIÓN	
90	56	81	59	53	66
80	54	73	56	50	61
70	52	67	53	48	59
60	51	61	51	46	55
50	48	59	50	44	53
40	46	52	47	43	51
30	44	51	44	42	47
20	40	46	40	40	46
10	37	37	35	35	44
Media	48	59	48	45	54
DE	8	19	9	7	9
n	120	86	85	42	35
	BÉISBOL FEMENINO			VOLEIBOL	
90	53	84	55	51	84
80	49	77	52	49	78
70	47	67	48	47	75
60	45	63	45	45	70
50	43	57	43	45	65
40	41	55	42	44	62
30	39	51	40	41	57
20	36	43	36	39	51
10	31	35	32	36	45
Media	43	59	44	44	65
DE	8	19	9	6	15
n	105	97	80	67	62

DE = Desviación estándar, *n* = tamaño de la muestra.

Fuente: Adaptado, con permiso, de Hoffman, 2006 (47).

TABLA 13.2 Percentiles de 1RM en *press* de banca, sentadilla y cargada de fuerza de jugadores de fútbol americano de instituto y universitarios

Rango (porcentaje)	1RM *press* de banca	1RM sentadilla	1RM cargada de fuerza	1RM *press* de banca	1RM sentadilla	1RM cargada de fuerza
	kg	kg	kg	kg	kg	kg
	14-15 AÑOS			16-18 AÑOS		
90	110	175	97	125	211	114
80	95	156	89	114	193	107
70	89	148	86	107	184	102
60	84	139	83	102	166	101
50	77	134	79	98	152	95
40	75	125	75	93	143	91
30	70	116	73	89	134	83
20	66	107	70	80	125	75
10	57	93	64	73	114	66
Media	81	134	80	97	158	93
DE	20	33	15	20	40	20
n	214	170	180	339	249	284
	NCAA DI			NCAA DIII		
90	168	227	136	166	214	
80	157	207	127	148	193	
70	148	195	123	140	184	
60	143	184	119	134	175	
50	136	180	115	127	166	
40	130	170	110	124	159*	
30	123	161	105	116	152	
20	116	150	100	111	143	
10	109	136	93	102	129	
Media	137	180	115	130	170	
DE	24	35	17	26	34	
n	1.189	1.074	1.017	591	588	

*Hoffman, 2006, documentó 166 kg para el rango del 40% de 1RM en sentadilla para la NCAA DIII.

DE = Desviación estándar, *n* = tamaño de la muestra.

Fuente: Reproducido, con permiso, de Hoffman, 2006 (47).

TABLA 13.3 Percentiles de 1RM en *press* de banca, sentadilla y cargada de fuerza de jugadores de béisbol y baloncesto en la primera división de la NCAA

Rango (porcentaje)	1RM *press* de banca	1RM sentadilla	1RM cargada de fuerza	1RM *press* de banca	1RM sentadilla	1RM cargada de fuerza
	kg	kg	kg	kg	kg	kg
	BÉISBOL			BALONCESTO		
90	124	166	120	122	143	114
80	118	147	109	114	139	107
70	112	141	102	109	134	105
60	109	133	98	105	127	100
50	102	123	94	102	120	98
40	99	120	91	98	111	93
30	92	112	86	95	102	89
20	88	107	83	89	89	82
10	80	99	74	84	75	74
Media	103	128	95	102	114	95
DE	19	26	16	15	26	15
n	170	176	149	142	131	122

DE = Desviación estándar, *n* = tamaño de la muestra.

Fuente: Reproducido, con permiso, de Hoffman, 2006 (47).

TABLA 13.4 Percentiles de 1RM en *press* de banca, sentadilla y cargada de fuerza de jugadores de béisbol y baloncesto en la primera división de la NCAA

Grupo, deporte o posición	Número de atletas	Peso corporal	Sentadilla	*Press* de banca	Arrancada de fuerza	*Press* de banca en decúbito prono
		kg	kg	kg	kg	kg
Liga nacional de rugby (7)	20	98,2 ± 9,9	175,0 ± 27,3			
Liga estatal de rugby (7)	20	91,3 ± 8,4	149,6 ± 14,3			
Liga nacional de rugby (8)	21	99,5 ± 8,7		142,7 ± 15,2		
Liga estatal de rugby (8)	21	90,7 ± 8,9		117,4 ± 16,3		
Liga nacional de rugby (5)	6	95,8 ± 14,6		150,8 ± 10,7		
Vela nacional (hombres) (87)	11	97,8 ± 12,5		140,9 ± 26,6		120,6 ± 16,9
Kayak/remo lucha/ yudo nacionales (hombre) (96)	75	76,0 ± 8,8		90,3 ± 16,3		80,2 ± 11,8
Baloncesto nacional (mujeres) (105)	12	75,6 ± 14,6		78,6 ± 3,0		
Fútbol americano universitario división IA de la NCAA (hombres) (12)	963			140,8		
Fútbol americano universitario división IA de la NCAA (hombres) (12)	560		190,8			
Béisbol nacional (mujeres) (81)	10	71,7 ± 11,1	83,3 ± 10,0			
Hockey sobre hielo nacional (mujeres) (89)	22	70,4 ± 7,1		65,3 ± 12,2		
Fútbol nacional (hombres) (123)	17	76,5 ± 7,6	171,7 ± 21,2			
Fútbol nacional (hombres) (124)	14	76,9 ± 6,3	164,6 ± 21,8	82,7 ± 12,8		
Fútbol nacional (hombres) (124)	15	76,8 ± 7,4	135,0 ± 16,2	77,1 ± 16,5		
Fútbol americano universitario división IA de la NCAA (hombres) (82)	207	104,0 ± 22,1		141,6 ± 26,6		

Grupo, deporte o posición	Número de atletas	Peso corporal	Sentadilla	*Press* de banca	Arrancada de fuerza	*Press* de banca en decúbito prono
		kg	kg	kg	kg	kg
Fútbol americano universitario división IA de la NCAA (hombres) (82)	88	102,5 ± 6,5			121,3 ± 15,0	
Fútbol americano universitario división IA de la NCAA (hombres) (82)	86	102,5 ± 6,5	180,5 ± 33,6			
Balonmano nacional (mujeres) (40)	16	69,3 ± 8,2		51,6 ± 6,7		
Balonmano nacional (hombres) (39)	15	93,9 ± 16,9		106,9 ± 11,6		
Liga de rugby sub-16 (hombres) (114)	30	75,2 ± 11,1	100,4 ± 21,9	73,9 ± 13,2		70,9 ± 10,1
Liga de rugby sub-17 (hombres) (114)	48	81,1 ± 9,4	122,2 ± 18,7	93,3 ± 13,4		83,5 ± 10,2
Liga de rugby sub-18 (hombres) (114)	55	85,3 ± 10,0	134,0 ± 15,5	103,7 ± 15,3		91,1 ± 10,1
Liga de rugby sub-19 (hombres) (114)	45	88,8 ± 9,9	138,4 ± 19,6	113,3 ± 16,4		97,6 ± 12,4
Liga de rugby sub-20 (hombres) (114)	26	88,9 ± 8,5	144,6 ± 22,1	114,3 ± 15,3		100,0 ± 11,2
Lacrosse tercera división NCAA (mujeres) (49)	11	60,0 ± 5,0	71,9 ± 6,1	43,9 ± 6,1		
Liga de rugby nacional, delanteros (hombres) (72)	63			123,0 ± 11,8		
Liga de rugby nacional, zagueros (hombres) (72)	55			114,0 ± 17,0		
Unión Nacional de rugby (hombres) (21)	30	107,1 ± 10,1	159,5 ± 26,3	140,0 ± 16,3		
Unión Nacional de rugby (mujeres) (10)	15	71,6 ± 9,9	69,0 ± 8,8			

*Los valores enumerados son ± desviación estándar. Los datos se deben considerar solo como descriptivos, no normativos.

TABLA 13.5 Normas para el salto de longitud parado en hombres y mujeres atletas de elite

Rango (porcentaje)	Hombres	Mujeres
	cm	cm

90	375	315
80	339	293
70	309	279
60	294	264
50	279	249
40	264	234
30	249	219
20	234	204
10	219	189

Fuente: Reproducido, con autorización de Hoffman, J. (2006). *Norms for fitness, performance, and health*. Champaign, IL. Human Kinetics (58). Adaptado de Chu, D.A. (1996). *Explosive power and strength*. Champaign, IL: Human Kinetics.

TABLA 13.6 Clasificación en el salto de longitud parado para hombres y mujeres atletas de 15 y 16 años

Categoria	Hombres	Mujeres
	cm	cm
Excelente	201	166
Por encima de la media	186	156
En la media	176	146
Por debajo de la media	165	135
Mala	<165	<135

Fuente: Reproducido, con autorización de Hoffman, J. (2006). *Norms for fitness, performance, and health*. Champaign, IL. Human Kinetics (58). Adaptado de Chu, D.A. (1996). *Explosive power and strength*. Champaign, IL: Human Kinetics.

TABLA 13.7 Datos descriptivos* de salto vertical, salto estático y salto de longitud para diversos grupos

Grupo, deporte o posición	Número de atletas	Salto vertical	Salto estático	Salto de longitud
		cm	cm	cm
Fútbol universitario (mujeres) (118)	51	40,9 ± 5,5		
Fútbol bachillerato (mujeres) (118)	83	39,6 ± 4,7		
Lacrosse universitario (mujeres) (118)	79	40,1 ± 5,6		
Fútbol gaélico sub-18 (hombres) (22)	265	43,3 ± 5,1		198,2 ± 20,7
Fútbol nacional (mujeres) (17)	21	31,6 ± 4,0	30,1 ± 3,7	
Fútbol sub-19 (mujeres) (17)	20	34,3 ± 3,9	32,8 ± 2,9	
Fútbol sub-17 (mujeres) (17)	21	29,0 ± 2,1	28,2 ± 2,5	
Fútbol sub-21 (hombres) (17)	18	40,3 ± 4,3	37,0 ± 3,9	
Fútbol sub-20 (hombres) (17)	17	40,2 ± 4,7	38,0 ± 4,9	
Fútbol sub-17 (hombres) (17)	21	40,9 ± 5,1	37,3 ± 4,7	
Fútbol 1.ª división España (mujeres) (99)	100	26,1 ± 4,8		
Hockey sobre hielo nacional (mujeres) (89)	23	50,3 ± 5,7#		214,8 ± 10,9
Fútbol nacional (mujeres) (42)	85	30,7 ± 4,1		
Fútbol 1.ª división Noruega (mujeres) (42)	47	28,1 ± 4,1		
Reclutas Liga nacional de hockey sobre hielo (mujeres) (15)	853	62,0 ± 7,6#		254,0 ± 17,8
Lucha universitaria (hombres) (109)	20	52,0 ± 8,0#		
Halterofilia nacional (hombres) (32)	6	60,8 ± 3,9		
Fútbol nacional (hombres) (123)	17	56,4 ± 4,0		
Fútbol nacional (hombres) (124)	14	56,7 ± 6,6		
Fútbol nacional (hombres) (124)	15	53,1 ± 4,0		

Grupo, deporte o posición	Número de atletas	Salto vertical	Salto estático	Salto de longitud
		cm	cm	cm
Fútbol nacional (hombres) (106)	270	45,1 ± 1,7	44,1 ± 1,3	
Balonmano nacional (mujeres) (40)	16	38,4 ± 4,4		
Balonmano nacional (mujeres) (39)	15	48,2 ± 7,2		
Liga de rugby sub-16 (hombres) (114)	67	45,7 ± 5,2		
Liga de rugby sub-17 (hombres) (114)	50	49,1 ± 5,8		
Liga de rugby sub-18 (hombres) (114)	56	50,6 ± 5,7		
Liga de rugby sub-19 (hombres) (114)	45	52,5 ± 5,5		
Liga de rugby sub-20 (hombres) (114)	25	52,8 ± 5,4		
Voleibol bachillerato (mujeres) (98)	27	47,1 ± 8,5#		
Voleibol 1.ª división NCAA (mujeres) (98)	26	52,8 ± 6,3#		
Delanteros de la liga de rugby nacional (hombres) (20)	12	37,3 ± 4,4		
Zagueros de la liga de rugby nacional (hombres) (20)	6	40,3 ± 6,4		
Liga de rugby nacional (hombres) (35)	26	50,7 ± 9,8#		
Liga de rugby nacional (hombres) (34)	58	62,8 ± 5,7#		
Rugby unión nacional (hombres) (21)	30			258,0 ± 20,0
Rugby unión nacional (mujeres) (10)	15	38,0 ± 4,0	35,0 ± 3,0	
Atletismo de instituto (mujeres) (75)	8			212,0 ± 16,0
Fútbol 1.ª división NCAA (mujeres) (67)	15	31,0 ± 5,0		147,0 ± 11,0
Liga de Rugby de instituto (hombres) (112)	302	41,3 ± 5,3		
Voleibol nacional junior (hombres) (33)	14	54,6 ± 2,2#		
Voleibol nacional junior (mujeres) (33)	15	45,7 ± 1,6#		
Fútbol australiano sub-18 (hombres) (127)	177	60,6 ± 5,5#		
Lacrosse 1.ª división NCAA (hombres) (117)	84	40,2 ± 5,6		
Fútbol 1.ª división NCAA (hombres) (102)	27	61,6 ± 7,1#		
Fútbol nacional (mujeres) (1)	17	30,5 ± 1,2		
Fútbol nacional (mujeres) (76)	17	32,6 ± 3,7		
Fútbol nacional (hombres) (76)	17	43,7 ± 2,2		
Fútbol nacional junior (mujeres) (76)	17	28,4 ± 2,0		
Fútbol nacional junior (hombres) (76)	17	43,9 ± 4,8		
Fútbol nacional (hombres) (2)	214	39,2 ± 5,0	37,6 ± 4,8	

*Los valores se enumeran como media ± desviación estándar. Los datos se deben considerar solo como descriptivos, no normativos.

#Saltos practicados balanceando los brazos.

TABLA 13.8 Datos descriptivos de la carrera de ida y vuelta de 274 metros*

Grupo, deporte o posición	Número de atletas	Marca(s)
Voleibol de instituto (mujeres) (98)	27	68 ± 6,3
Voleibol 1.ª división NCAA (mujeres) (98)	26	67,7 ± 3,8
Fútbol nacional (hombres) (107)	18	56,7 ± 1,7
Hombres y mujeres, deporte recreativo (121)	81	72,8 ± 9,1
Bádminton nacional (hombres) (120)	12	73,3 ± 3,4

*Los valores enumerados son ± desviación estándar. Los datos se deben considerar solo como descriptivos, no normativos.

TABLA 13.9 Valores estándar para el ejercicio de flexiones de brazo para el personal del ejército estadounidense

Margen de edad	Flexiones de brazos en 2 minutos									
HOMBRES										
17-21	6	13	20	28	35	42	49	57	64	71
22-26	—	5	14	23	31	40	49	58	66	75
27-31	—	1	11	20	30	39	49	58	68	77
32-36	—	—	7	17	26	36	46	56	65	75
37-41	—	—	5	15	24	34	44	54	63	73
42-46	—	—	—	12	21	30	39	48	57	66
47-51	—	—	—	8	17	25	34	42	51	59
52-56	—	—	—	—	11	20	29	38	47	56
57-61	—	—	—	—	9	18	27	36	44	53
62+	—	—	—	—	8	16	25	33	42	50
Puntos concedidos	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
MUJERES										
17-21	—	—	2	8	13	19	25	31	36	42
22-26	—	—	—	2	11	17	24	32	39	46
27-31	—	—	—	—	10	17	25	34	42	50
32-36	—	—	—	—	9	15	23	30	38	45
37-41	—	—	—	—	7	13	20	27	33	40
42-46	—	—	—	—	6	12	18	25	31	37
47-51	—	—	—	—	—	10	16	22	28	34
52-56	—	—	—	—	—	9	15	20	26	31
57-61	—	—	—	—	—	8	13	18	23	28
62+	—	—	—	—	—	7	12	16	21	25
Puntos concedidos	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Nota: 60 puntos equivalen a válido, y 90 puntos, a excelente.

Fuente: U.S. Department of the Army, 1998 (24).

TABLA 13.10 Normas de la YMCA para el *press* de banca

Percentil	Edad y sexo											
	18-25		26-35		36-45		46-55		56-65		>65	
	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M
90	44	42	41	40	36	33	28	29	24	24	20	18
80	37	34	33	32	29	28	22	22	20	20	14	14
70	33	28	29	28	25	24	20	18	14	14	10	10
60	29	25	26	24	22	21	16	14	12	12	10	8
50	26	21	22	21	20	17	13	12	10	9	8	6
40	22	18	20	17	17	14	11	9	8	6	6	4
30	20	16	17	14	14	12	9	7	5	5	4	3
20	16	12	13	12	10	8	6	5	3	3	2	1
10	10	6	9	6	6	4	2	1	1	1	1	0

La puntuación es el número de repeticiones completadas en 1 minuto usando una haltera de 36 kg para los hombres y 16 kg para las mujeres.

Fuente: Adaptado de YMCA, 2000 (125).

TABLA 13.11 Consumo máximo de oxígeno, tiempo en la carrera de 2,4 km, prueba de sentarse y alcanzar, y composición corporal. Márgenes de percentil de hombres de 20 a 29 años

Margen de percentil	$\dot{V}O_2$max ml/kg/min	Marca en carrera de 2,4 km (min:s)	Prueba de sentarse y alcanzar* (cm)	Grasa corporal (%)
99	60,5	8:29		4,2
90	54,0	9:34	55,9	7,9
80	51,1	10:09	50,8	10,5
70	47,5	10:59	48,3	12,6
60	45,6	11:29	45,7	14,8
50	43,9	11:58	43,2	16,6
40	41,7	12:38	38,1	18,6
30	39,9	13:15	35,6	20,7
20	38,0	14:00	33,0	23,3
10	34,7	15:30	27,9	26,6
01	26,5	20:58		33,4

*Sentarse y alcanzar para hombres de 18 a 25 años.

Fuente: Adaptado del American College of Sports Medicine (2014). *ACSM´s guidelines for exercise testing and prescription*, 9.ª ed. Baltimore, MD: Williams y Wilkins.

TABLA 13.12 Consumo máximo de oxígeno, tiempo en la carrera de 2,4 km, prueba de sentarse y alcanzar, y composición corporal. Márgenes de percentil de mujeres de 20 a 29 años

Margen de percentil	$\dot{V}O_2$max ml/kg/min	Marca en carrera de 2,4 km (min:s)	Prueba de sentarse y alcanzar* (cm)	Grasa corporal (%)
99	54,5	9:30		11,4
90	46,8	11:10	61,0	15,1
80	43,9	11:58	55,9	16,8
70	41,1	12:51	53,3	18,4
60	39,5	13:24	50,8	19,8
50	37,8	14:04	48,3	21,5
40	36,1	14:50	45,7	23,4
30	34,1	15:46	43,2	25,5
20	32,3	16:46	40,6	28,2
10	29,5	18:33	35,6	33,5
01	23,7	23:58		38,6

*Sentarse y alcanzar para mujeres de 18 a 25 años.

Fuente: Adaptado del American College of Sports Medicine (2014). *ACSM´s guidelines for exercise testing and prescription*, 9.ª ed. Baltimore, MD: Williams y Wilkins.

TABLA 13.13 Consumo máximo de oxígeno, tiempo en la carrera de 2,4 km, prueba de sentarse y alcanzar, y composición corporal. Márgenes de percentil de hombres de 30 a 39 años

Margen de percentil	$\dot{V}O_2$max ml/kg/min	Marca en carrera de 2,4 km (min:s)	Prueba de sentarse y alcanzar* (cm)	Grasa corporal (%)
99	58,3	8:49		7,3
90	51,7	10:01	53,3	12,4
80	48,3	10:46	48,3	14,9
70	46,0	11:22	45,7	16,8
60	44,1	11:54	43,2	18,4
50	42,4	12:24	38,1	20,0
40	40,7	12:58	35,6	21,6
30	38,7	13:44	33,0	23,2
20	36,7	14:34	27,9	25,1
10	33,8	15:57	22,9	27,8
01	26,5	20:58		34,4

*Sentarse y alcanzar para hombres de 26 a 35 años.

Fuente: Adaptado del American College of Sports Medicine (2014). A*CSM´s guidelines for exercise testing and prescription*, 9.ª ed. Baltimore, MD: Williams y Wilkins.

TABLA 13.14 Consumo máximo de oxígeno, tiempo en la carrera de 2,4 km, prueba de sentarse y alcanzar, y composición corporal. Márgenes de percentil de mujeres de 30 a 39 años

Margen de percentil	$\dot{V}O_2$max (ml/kg/min)	Marca en carrera de 2,4 km (min:s)	Prueba de sentarse y alcanzar* (cm)	Grasa corporal (%)
99	52,0	9:58		11,2
90	45,3	11:33	58,4	15,5
80	42,4	12:24	55,9	17,5
70	39,6	13:24	53,3	19,2
60	37,7	14:08	50,8	21,0
50	36,7	14:34	48,3	22,8
40	34,2	15:43	43,2	24,8
30	32,4	16:42	40,6	26,9
20	30,9	17:38	38,1	29,6
10	28,0	19:43	33,0	33,6
01	22,9	24:56		39,0

*Sentarse y alcanzar para mujeres de 26 a 35 años.

Fuente: Adaptado del American College of Sports Medicine (2014). *ACSM´s guidelines for exercise testing and prescription*, 9.ª ed. Baltimore, MD: Williams y Wilkins.

TABLA 13.15 Datos descriptivos del V

Clasificación	$\dot{V}O_2$máx típico de atletas en el deporte ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)		Deporte
	Hombres	Mujeres	
Extremadamente alto	70+	60+	Esquí de fondo Medio fondo Fondo
Muy alto	63-69	54-59	Ciclismo Remo Marcha atlética
Alto	57-62	49-53	Fútbol Natación distancia media Kayak Balonmano Frontón Patinaje de velocidad Patinaje artístico Esquí alpino Lucha libre
Por encima de la media	52-56	44-48	Baloncesto Ballet Fútbol americano (*backs* ofensivos y defensivos) Gimnasia rítmica Hockey Carreras de caballos (jóquey) Natación, esprín Tenis Atletismo de velocidad Modalidades de salto
En la media	44-51	35-43	Béisbol, béisbol femenino Fútbol americano (linieros, *quarterbacks*) Lanzamiento de peso Lanzamiento de disco Halterofilia olímpica Fisioculturismo

Fuente: Nieman, 1995 (78).

TABLA 13.16 Datos descriptivos sobre la prueba yo-yo de recuperación intermitente para diversas poblaciones*

Grupo, deporte o posición	Número de atletas	Yo-Yo IRT1
		Distancia (m)
Fútbol nacional (hombres) (74)	18	2260 ± 80
Fútbol nacional (hombres) (74)	24	2040 ± 60
Rugby liga nacional (hombres) (4)	23	1656 ± 403
Rugby liga semiprofesional (hombres) (4)	27	1564 ± 415
Fútbol nacional (mujeres) (76)	17	1224 ± 255

Fútbol nacional (hombres) (76)	17	2414 ± 456
Fútbol nacional junior (mujeres) (76)	17	826 ± 160
Fútbol nacional junior (hombres) (76)	17	2092 ± 260
Fútbol sub-17 (hombres) (25)	60	1556 ± 478
Rugby *union* sub-16 (hombres) (85)	150	1150 ± 403
Baloncesto de elite sub-14 (hombres) (116)	15	1100 ± 385
Baloncesto de elite sub-15 (hombres) (116)	15	1283 ± 461
Baloncesto de elite sub-17 (hombres) (116)	17	1412 ± 245
Fútbol gaélico sub-18 (hombres) (22)	265	1465 ± 370

*Los valores enumerados son ± desviación estándar. Los datos se deben considerar solo como descriptivos, no normativos.

TABLA 13.17 Datos descriptivos para las pruebas de agilidad de diversas poblaciones*

Grupo, deporte o posición	Número de atletas	Tiempo (s)			
		Prueba de agilidad (10 × 5 m)	Prueba deT	505	Hexágono
Fútbol universitario (mujeres) (118)	51	4,88 ± 0,20			
Fútbol de instituto (mujeres) (118)	83	4,91 ± 0,22			
Lacrosse universitario (mujeres) (118)	79	4,99 ± 0,24			
Béisbol nacional (mujeres) (80)	10			2,66 ± 0,14	
Baloncesto nacional (mujeres) (105)	12			2,69 ± 0,28	
Estudiantes universitarios (mujeres) (97)	34		11,92 ± 0,52		
Estudiantes universitarios (hombres) (97)	52		10,08 ± 0,46		
Fútbol universitario 2.ª división NCAA (hombres) (63)	12	4,80 ± 0,33			
Atletas recreativos (mujeres) (108)	20	5,23 ± 0,25	11,70 ± 0,67		
Atletas recreativos (hombres) (108)	24	4,67 ± 0,21	10,31 ± 0,46		
Liga de rugby instituto (hombres) (113)	70			2,42 ± 0,12	
Liga de rugby instituto (hombres) (36)	28			2,30 ± 0,13	
Liga de rugby instituto (hombres) (112)	302			2,49 ± 0,14	
Liga de rugby instituto (hombres) (112)	870			2,51 ± 0,15	
Voleibol nacional junior (hombres) (33)	14		9,90 ± 0,17		
Voleibol nacional junior (mujeres) (33)	15		10,33 ± 0,13		
Lacrosse universitario 1.ª división NCAA (mujeres) (117)	84	4,99 ± 0,23			
Lacrosse universitario 3.ª división NCAA (mujeres) (49)	11	4,92 ± 0,22	10,50 ± 0,60		
Béisbol MLB (hombres) (50)	62	4,42 ± 0,90			
Béisbol AAA (hombres) (50)	52	4,53 ± 0,20			
Béisbol AA (hombres) (50)	50	4,42 ± 0,68			
Béisbol A (hombres) (50)	84	4,48 ± 0,54			
Novatos béisbol (hombres) (50)	90	4,54 ± 0,19			
Voleibol instituto (mujeres) (98)	27		10,96 ± 0,58		
Voleibol 1.ª división NCAA (mujeres) (98)	26		10,65 ± 0,52		
Atletas recreativos (mujeres) (86)	52		12,52 ± 0,90		13,21 ± 1,68
Atletas recreativos (hombres) (86)	58		10,49 ± 0,89		12,33 ± 1,47
Atletas universitarios (mujeres) (86)	56		10,94 ± 0,60		12,87 ± 1,48
Atletas universitarios (hombres) (86)	47		9,94 ± 0,50		12,29 ± 1,39

*Los valores enumerados son ± desviación estándar. Los datos se deben considerar solo como descriptivos, no normativos.

TABLA 13.18 Márgenes de percentil para la prueba de agilidad de 10 × 5 metros (segundos) en atletas universitarios de la 1.ª división de la NCAA

Margen (%)	Voleibol femenino	Baloncesto femenino	Béisbol femenino	Baloncesto masculino	Béisbol masculino	Fútbol americano
90	4,75	4,65	4,88	4,22	4,25	4,21
80	4,84	4,82	4,96	4,29	4,36	4,31
70	4,91	4,86	5,03	4,35	4,41	4,38
60	4,98	4,94	5,10	4,39	4,46	4,44
50	5,01	5,06	5,17	4,41	4,50	4,52
40	5,08	5,10	5,24	4,44	4,55	4,59
30	5,17	5,14	5,33	4,48	4,61	4,66
20	5,23	5,23	5,40	4,51	4,69	4,76
10	5,32	5,36	5,55	4,61	4,76	4,89
Media	5,03	5,02	5,19	4,41	4,53	4,54
DE	0,20	0,26	0,26	0,18	0,23	0,27
n	81	128	118	97	165	869

Datos recabados mediante cronómetros electrónicos. DE = desviación estándar; n = número de atletas.

Fuente: Reproducido, con permiso, de Hoffman, 2006 (47).

TABLA 13.19 Datos descriptivos para la prueba de velocidad de distintas poblaciones*

Grupo, deporte o posición	Número de atletas	Tiempo (s)		
		10 m	20 m	40 m
Fútbol universitario (mujeres) (118)	51		3.38 ± 0.17	5.99 ± 0.29
Fútbol instituto (mujeres) (118)	83		3.33 ± 0.15	5.94 ± 0.28
Lacrosse universitario (mujeres) (118)	79		3.37 ± 0.14	5.97 ± 0.27
Fútbol universitario 1.ª división NCAAA (mujeres) (67)	15	2,31 ± 0,25		
Liga de rugby sub-16 (hombres) (114)	67	1,82 ± 0,07	3,13 ± 0,00	
Liga de rugby sub-17 (hombres) (114)	50	1,81 ± 0,06	3,12 ± 0,10	
Liga de rugby sub-18 (hombres) (114)	56	1,80 ± 0,06	3,09 ± 0,10	
Liga de rugby sub-19 (hombres) (114)	89	1,82 ± 0,07	3,11 ± 0,12	
Liga de rugby sub-20 (hombres) (114)	22	1,79 ± 0,06	3,07 ± 0,12	
Fútbol nacional (hombres) (123)	17	1,82 ± 0,30	3,00 ± 0,30	
Liga nacional de rugby (hombres) (7)	20	1,61 ± 0,06		5,15 ± 0,02
Liga estatal de rugby (hombres) (7)	20	1,66 ± 0,06		5,13 ± 0,02
Delanteros de la Liga nacional de rugby (hombres) (20)	12	1,66 ± 0,20	3,00 ± 0,08	
Zagueros de la Liga nacional de rugby (hombres) (20)	6	1,65 ± 0,15	2,91 ± 0,10	
Liga estatal de rugby (hombres) (36)	26	2,06 ± 0,18	3,36 ± 0,23	5,83 ± 0,31
Rugby union nacional (hombres) (21)	30	1,69 ± 0,10	2,93 ± 0,20	
Delanteros de la Liga nacional de rugby (hombres) (72)	63			5,27 ± 0,19
Zagueros de la Liga nacional de rugby (hombres)	55			5,08 ± 0,20

Grupo, deporte o posición	Número de atletas	Tiempo (s)		
		10 m	20 m	40 m
Bádminton nacional (hombres) (120)	12	1,94 ± 0,18	3,35 ± 0,30	
Liga nacional de rugby (hombres) (34)	58	1,73 ± 0,07		5,25 ± 0,17
Liga de rugby de elite sub-18 (hombres) (36)	28	1,81 ± 0,08	3,11 ± 0,12	5,56 ± 0,22
Liga de rugby subelite sub-18 (hombres) (36)	36	1,94 ± 0,11	3,28 ± 0,18	5,83 ± 0,35
Liga de rugby instituto (hombres) (112)	302	1,88 ± 0,12	3,23 ± 0,16	
Liga de rugby instituto (hombres) (112)	870	1,90 ± 0,12	3,27 ± 0,19	
Voleibol nacional junior (mujeres) (33)	20	1,90 ± 0,01		
Voleibol nacional junior (hombres) (33)	14	1,80 ± 0,02		
Fútbol australiano sub-18 (hombres) (127)	177		3,13 ± 0,09	
Fútbol universitario 3.ª división NCAA (hombres) (63)	12	1,96 ± 0,11		5,79 ± 0,31
Fútbol universitario 1.ª división NCAA (hombres) (102)	27	1,70 ± 0,10		4,90 ± 0,20
Fútbol australiano nacional (hombres) (126)	35	1,89 ± 0,07	3,13 ± 0,10	5,40 ± 0,17
Fútbol australiano nacional (hombres) (126)	30	1,70 ± 0,06	2,94 ± 0,08	
Fútbol nacional (mujeres) (42)	85	1,67 ± 0,07		
Fútbol nacional (mujeres) (42)	47	1,70 ± 0,07		
Fútbol nacional (mujeres) (1)	17		3,17 ± 0,03	
Fútbol nacional (hombres) (106)	270	2,27 ± 0,40	3,38 ± 0,70	
Fútbol gaélico sub-18 (hombres) (22)	265		3,22 ± 0,15	
		10 yardas	20 yardas	40 yardas
Lacrosse universitario 1.ª división NCAA (mujeres) (117)		1,99 ± 0,10	3,37 ± 0,14	5,97 ± 0,26
Béisbol MLB (hombres) (50)	62	1,52 ± 0,10		
Béisbol AAA (hombres) (50)	52	1,55 ± 0,09		
Béisbol AA (hombres) (50)	50	1,58 ± 0,07		
Béisbol A (hombres) (50)	84	1,59 ± 0,07		
Béisbol principiantes (hombres) (50)	90	1,57 ± 0,09		

*Los valores enumerados son ± desviación estándar. Los datos se deben considerar solo como descriptivos, no normativos.

TABLA 13.20 Datos normativos para el sistema de puntuación de errores de equilibrio

Edad	Mujeres	Hombres
20-29	11,9 ± 5,1	10,4 ± 4,4
30-39	11,4 ± 5,6	11,5 ± 5,5
40-49	12,7 ± 6,9	12,4 ± 5,7
50-54	15,1 ± 8,2	13,6 ± 6,9
55-59	16,7 ± 8,2	16,4 ± 7,2
60-64	19,3 ± 8,8	17,2 ± 7,1

65-69	19,9 ± 6,6	20,0 ± 7,3

Fuente: Iverson y Koehle, 2013 (54).

TABLA 13.21 Ecuaciones para calcular la densidad corporal a partir de mediciones de los pliegues cutáneos entre diversas poblaciones

Lugares[a] para la SPC	Subgrupos de población	Sexo	Edad	Ecuación	Referencia
S7SPC (pecho +abdomen +tríceps +subescapular +suprailíaco +pliegue axilar medio +muslo)	Negras o hispanas	Mujeres	18-55 años	Dc (g/cc)[b] = 1,0970 – 0,00046971 (S7SPC) + 0,00000056 (S7SPC)^2 – 0,00012828 (edad)	Jackson (57)
S7SPC (pecho +abdomen +tríceps +subescapular +suprailíaco +pliegue axilar medio +muslo)	Negros o atletas	Hombres	18-61 años	Dc (g/cc)[b] = 1,1120 – 0,00043499 (S7SPC) + 0,00000055 (S7SPC)^2 – 0,00028826 (edad)	Jackson y Pollock (55)
S4SPC (tríceps +porción anterior del suprailíaco +abdomen +muslo)	Atletas	Mujeres	18-29 años	Dc (g/cc)[b] = 1,096095 – 0,0006952 (S4SPC) – 0,0000011 (S4SPC)^2 – 0,0000714 (edad)	Jackson (57)
S3SPC (tríceps +suprailíaco +muslo)	Blancas o anoréxicas	Mujeres	18-55 años	Dc (g/cc)[b] = 1,0994921 – 0,0009929 (S3SPC) + 0,0000023 (S3SPC)^2 – 0,0001392 (edad)	Jackson (57)
S3SPC (pecho +abdomen +muslo)	Blanco	Hombres	18-61 años	Dc (g/cc)[b] = 1,109380 – 0,0008267 (S3SPC) + 0,0000016 (S3SPC)^2 – 0,0002574 (edad)	Jackson y Pollock (55)
S2SPC (tríceps +pantorrilla)	Blancos o negros	Chicos	6-17 años	% GC = 0,735 (S2SPC) + 1,0	Slaughter (103)
S2SPC (tríceps +pantorrilla)	Blancas o negras	Chicas	6-17 años	% GC = 0,610 (S2SPC) + 5,1	Slaughter (103)
Suprailíaco, tríceps	Atletas	Mujeres	Edad de bachillerato y universidad	Dc (g/cc)[b] = 1,0764 – (0,00081 3 suprailíaco) – (0,00088 3 tríceps)	Sloan y Weir (104)
Muslo, subescapular	Atletas	Hombres	Edad de bachillerato y universidad	Dc (g/cc)[b] = 1,1043 – (0,00133 3 muslo) – (0,00131 3 subescapular)	Sloan y Weir (104)
S3SPC (tríceps +abdomen +muslo)	Atletas	Hombres o mujeres	18-34 años	%GC = 8,997 + (S3SPC) – 6,343 (sexo[c]) – 1,998 (raza[d])	Evans (28)

[a]SPC = suma de los pliegues cutáneos (mm); GC = grasa corporal; Dc = densidad corporal.

[b]Usar fórmulas de conversión específicas para poblaciones (tabla 13.22) con el fin de calcular el % GC de la Dc.

[c]Atletas masculinos = 1; atletas femeninas = 0.

[d]Atletas negros = 1; atletas blancos = 0.

Fuente: Adaptado, con permiso, de Heyward, V.H. (1998). *Advanced fitness assessment and exercise prescription*, 3.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics (155).

TABLA 13.22 Ecuaciones para poblaciones específicas con el fin de calcular el porcentaje de grasa corporal a partir de la densidad ósea

Población	Edad	Sexo	% GC[a]
GRUPO HUMANO			
India americana	18-60	Femenino	(4,81/Dc) – 4,34
Negro	18-32	Masculino	(4,37/Dc) – 3,93
	24-79	Femenino	(4,85/Dc) – 4,39
Hispano	20-40	Femenino	(4,87/Dc) – 4,41
Japonés	18-48	Masculino	(4,97/Dc) – 4,52
		Femenino	(4,76/Dc) – 4,28
	61-78	Masculino	(4,87/Dc) – 4,41
		Femenino	(4,95/Dc) – 4,50
Blanco	7-12	Masculino	(5,30/Dc) – 4,89
		Femenino	(5,35/Dc) – 4,95
	13-16	Masculino	(5,07/Dc) – 4,64
		Femenino	(5,10/Dc) – 4,66
	17-19	Masculino	(4,99/Dc) – 4,55
		Femenino	(5,05/Dc) – 4,62
	20-80	Masculino	(4,95/Dc) – 4,50
		Femenino	(5,01/Dc) – 4,57
NIVEL DE GRASA CORPORAL			
Anoréxico	15-30	Femenino	(5,26/Dc) – 4,83
Obeso	17-62	Femenino	(5,00/Dc) – 4,56
Atlético[b]	Edad de instituto o universidad	Masculino y femenino	(4,57/Dc) – 4,142

GC = grasa corporal; DC = densidad corporal.

[a]Se multiplica el valor de los cálculos de esta columna por 100 para obtener el porcentaje.

[b]Se usa esta fórmula con la de Sloan y Weir (104) expuesta en la tabla 13.21.

Fuente: Adaptado, con permiso, de Heyward y Stolarczyck, 1996 (46).

TABLA 13.23 Datos descriptivos del porcentaje de grasa corporal de atletas de diversos deportes

Clasificación	Porcentaje típico de grasa corporal de los atletas		Deporte
	Hombres	Mujeres	
Extremadamente delgados	<7	<15	Gimnasia rítmica Fisioculturismo (en campeonatos) Lucha libre (en campeonatos) Carreras de *cross*
Muy delgados	8-10	16-18	Baloncesto masculino Frontón Remo Fútbol Decatlón (masculino) Heptatlón (femenino)
Más delgados que la media	11-13	19-20	Béisbol masculino Kayak Esquí alpino Patinaje de velocidad Halterofilia olímpica
En la media	14-17	21-25	Baloncesto femenino *Quarterbacks*, pateadores, apoyadores de fútbol americano Hockey Carreras de caballos (jóquey) Tenis Lanzamiento de disco Voleibol Béisbol femenino *Powerlifting*
Superior a la media (sobrepeso)	18-22	26-30	Fútbol americano (linieros) Lanzamiento de peso

Fuente: Nieman, 1995 (78).

CAPÍTULO 14

Calentamiento y entrenamiento de la flexibilidad

Ian Jeffreys

A la conclusión del capítulo, el lector:

- Identificará los componentes y beneficios de un calentamiento previo al ejercicio.
- Estructurará calentamientos que resulten eficaces.
- Examinará los factores que influyen en la flexibilidad.
- Usará ejercicios de flexibilidad que aprovechen la facilitación neuromuscular propioceptiva.
- Seleccionará y aplicará métodos apropiados de estiramiento estático y dinámico.

Este capítulo está dedicado a dos áreas clave, el calentamiento y el entrenamiento de la flexibilidad. Aunque ambas áreas se han vinculado con frecuencia, es importante diferenciarlas porque cumplen funcionales importantes claramente diferenciadas. El calentamiento está pensado para preparar a los atletas para el entrenamiento o competición inminentes y mejora el rendimiento, además de reducir potencialmente el riesgo de lesión. Se examinan los objetivos del calentamiento y se sugieren estructuras y protocolos apropiados para diseñar calentamientos eficaces. El entrenamiento de la flexibilidad, por su parte, está destinado a aumentar el grado de movilidad de una articulación, normalmente mediante el uso de distintas formas de estiramiento. También se evalúan los factores que influyen en la flexibilidad y se plantea el uso de distintos protocolos de estiramientos para facilitar la mejora de la flexibilidad.

Calentamiento

Que debe haber un período de calentamiento es algo casi universalmente aceptado como parte integral de cualquier competición o sesión de entrenamiento (10). En esencia, su objetivo es preparar a los atletas física y mentalmente para el ejercicio o la competición (51). Un calentamiento bien diseñado provoca diversas respuestas fisiológicas que aumentarán potencialmente el rendimiento inmediato. Esas respuestas se dividen en efectos asociados y no asociados con la temperatura (10). Entre los efectos asociados con la temperatura encontramos la temperatura muscular, la temperatura de la zona media (68), la mejora de la función neuronal y la interrupción de las uniones transitorias del tejido conjuntivo (33), mientras que entre los efectos no asociados con la temperatura incluimos el riego sanguíneo de los músculos, una elevación del consumo basal de oxígeno y una potenciación posactivación (10). Los efectos del calentamiento se manifiestan mejor mediante un tipo de calentamiento activo que mediante técnicas de calentamiento pasivas (33). Los efectos positivos sobre el rendimiento pueden ser los siguientes:

- Una contracción y relajación musculares más rápidas de los músculos agonistas y antagonistas (51).
- Mejoras de la tasa de desarrollo de fuerza y del tiempo de reacción (3).
- Incrementos de la fuerza y potencia musculares (9, 33).
- Reducción de la resistencia viscosa de los músculos y articulaciones (33).
- Mejora del aporte de oxígeno debido al efecto Bohr, mediante el cual las temperaturas más elevadas facilitan la liberación de oxígeno de la hemoglobina y la mioglobina (68).
- Incremento del riego sanguíneo de los músculos activos (68).
- Mejora de las reacciones metabólicas (33).
- Aumento de la preparación psicológica para un mayor rendimiento (10).

Aunque el número de estudios de calidad que investigan el impacto del calentamiento sobre el rendimiento sea sorprendentemente bajo, los estudios por lo general muestran un impacto positivo sobre el rendimiento inmediato (42), por ejemplo, la mejora del rendimiento de fondo (tanto aeróbico como anaeróbico) y mejoras del rendimiento durante tareas físicas como dar saltos, así como el rendimiento deportivo en sí (42). Lo que también está claro es que los principales factores que influyen en las mejoras potenciales son la

estructura y la especificidad del calentamiento para las tareas realizadas (42). Es probable que se pueda usar varios tipos de calentamiento, siempre que estén estructurados para cumplir los requisitos fisiológicos, biomecánicos y psicológicos específicos del deporte y del atleta.

La estructura del calentamiento influye en las mejoras potenciales; como tal, el calentamiento necesita ser específico de la actividad que se va a realizar.

Tradicionalmente se ha creído que un calentamiento eficaz reduce el riesgo de lesiones. Aunque no está clara la influencia del calentamiento sobre la prevención de lesiones, las evidencias sugieren que existen efectos positivos (41, 85, 86). Por ejemplo, el aumento de la temperatura muscular puede incrementar la resistencia a los desgarros musculares (81).

Componentes del calentamiento

Por lo general se aconseja que el calentamiento consista en un período de ejercicio aeróbico, seguido de estiramientos, y que termine con un período de actividad parecida a la que se va a desarrollar a continuación (42). La estructura de los programas de calentamiento tradicionales se organiza en torno a esos requisitos y suele implicar dos fases clave.

El primero es un período de **calentamiento general** (21, 77), que tal vez consista en 5 minutos de actividad aeróbica lenta como trotar, *skipping* y pedalear. El objetivo de esta fase es elevar la frecuencia cardíaca, el riego sanguíneo, la temperatura profunda de la musculatura, la frecuencia respiratoria y la transpiración, y disminuir la viscosidad de la sinovia articular (30). A esta fase le suele seguir un período de estiramiento general que intenta reproducir el grado de movilidad que la actividad inminente va a exigir a las articulaciones.

Después del calentamiento general viene el período de **calentamiento específico**, que incorpora movimientos parecidos a los movimientos del deporte del atleta. Esta fase también debe incluir el ensayo de las destrezas del deporte (100).

El calentamiento completo debe progresar gradualmente y ofrecer suficiente intensidad como para aumentar la temperatura central y la temperatura de la musculatura sin causar fatiga ni reducir las reservas de energía (68). Por lo general, debe durar entre 10 y 20 minutos; los períodos de tiempo más cortos son mucho más corrientes en la mayoría de las sesiones

de entrenamiento. Períodos de tiempo más largos son más habituales en casos en que aspectos del calentamiento son una parte integral de la principal sección, o cuando se practican calentamientos más específicos de la competición. El calentamiento debe terminar no más de 15 minutos antes del inicio de la actividad inmediata (pasados los cuales los efectos positivos del calentamiento comienzan a disiparse) (33).

Calentamientos específicos y estructurados

Si bien se suele aceptar la estructura del calentamiento general y específico, las actividades emprendidas en el calentamiento varían considerablemente. Por consiguiente, aunque los atletas estén realizando un calentamiento, es difícil asegurar que este aborde adecuadamente las variables clave necesarias para mejorar el rendimiento inmediato (42). Hay que considerar también una planificación eficaz que tenga en cuenta cómo el calentamiento contribuirá al rendimiento inmediato. De forma parecida, la planificación tiene que mediar entre los calentamientos usados antes de la competición y los que se utilizan con más frecuencia en una sesión de entrenamiento. Mientras que el entrenamiento para la competición pretende potenciar al máximo el rendimiento en la competición inmediata, el calentamiento de entrenamiento, además de mejorar el rendimiento agudo, puede contribuir al rendimiento de otras formas productivas y se debería planificar adecuadamente. Para que el impacto sea óptimo, esta planificación también debe tener en cuenta cómo el calentamiento contribuye al desarrollo general del atleta; esta planificación debe abarcar consideraciones a corto, medio y largo plazo.

La planificación a medio y largo plazo es una tendencia reciente en la planificación de calentamientos eficaces. Los atletas dedican una parte importante del tiempo de entrenamiento al calentamiento, y por eso las estructuras que permiten un uso óptimo de este tiempo aportan una poderosa herramienta para el entrenador (54). Los calentamientos eficaces se deben considerar como una parte integral de la sesión de entrenamiento, y no como una entidad aparte (54). Como la mayoría de los calentamientos de entrenamiento duran de 10 a 20 minutos, a lo largo de un ciclo de entrenamiento representan una cantidad significativa de tiempo de entrenamiento; con una planificación eficaz, esto contribuye en gran medida al desarrollo general del atleta, además de prepararlo óptimamente para la sesión inmediata.

El calentamiento forma parte integral de la sesión de entrenamiento. Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico deben planificar calentamientos que incorporen consideraciones a corto, medio y largo plazo que contribuirán al desarrollo general del atleta.

Es probable que existan niveles óptimos de calentamiento (89); están relacionados con el tipo de calentamiento (el entrenamiento o la competición), con la tarea realizada, el individuo y el medio ambiente. Es probable que haya una serie de calentamientos potencialmente eficaces; la clave es que el entrenador tenga una estructura sobre la cual planificar el calentamiento. La estructura del calentamiento general y específico, aunque válida, necesita acompañarse de un enfoque que permita concentrarse más en el rendimiento a corto y largo plazo. Una estructura que han adoptado muchos entrenadores y que incorpora todos los aspectos clave de un calentamiento eficaz es el protocolo consistente en **«aumentar, activar, movilizar y potenciar» (*raise, activate, mobilize* y *potentiate*: RAMP)** (54). Se basa en la estructura general y específica, y aporta un método adecuado por medio del cual potenciar el rendimiento a corto, medio y largo plazo (54). Como su nombre indica, aumentar, activar, movilizar y potenciar son sus tres fases clave.

La primera fase del protocolo RAMP comprende actividades que eleven el nivel de parámetros fisiológicos clave, pero también los niveles de destreza de los atletas. Esta fase es análoga al calentamiento general y tiene por objeto elevar la temperatura corporal, la frecuencia cardíaca, la frecuencia respiratoria, el riego sanguíneo y la viscosidad del líquido articular mediante actividades de baja intensidad. No obstante, un aspecto crítico es que, a diferencia de las actividades generales del calentamiento tradicional, estos no son simplemente ejercicios aeróbicos generales, sino que intentan reproducir los patrones de movimientos de la actividad inmediata o desarrollar los patrones de movimiento o los patrones de destreza que el atleta tendrá que desplegar en el deporte. De este modo, la sesión, desde el principio, tiene por objeto desarrollar las capacidades y destrezas clave, además de proporcionar los efectos fisiológicos requeridos por la actividad. Esto también ayuda a preparar psicológicamente al atleta antes del entrenamiento o la competición, dado que la sesión implica constantemente a componentes relacionados con la actuación y el rendimiento.

La segunda fase, de activación y movilización, es análoga a la parte de un entrenamiento típico que se dedica a los estiramientos. Se practican patrones

clave de movimiento necesarios para el rendimiento atlético en la sesión inmediata y para el desarrollo general del atleta, como sentadillas y tijeras. El interés por la movilidad, o por el movimiento activo en todo el arco de movilidad, requiere una combinación de control motor, estabilidad y flexibilidad, y se relaciona estrechamente con los movimientos requeridos por el atleta (54). Sigue en curso el gran debate sobre si se deberían usar estiramientos estáticos en el calentamiento, dado que las evidencias hasta el momento son equívocas. Algunos revisiones de la literatura respecto al efecto de los estiramientos estáticos sobre el rendimiento se cuestionan esta práctica (83, 84, 100), sugiriendo que pueden comprometer el rendimiento muscular (59). Ciertos estudios han demostrado efectos negativos de los estiramientos estáticos sobre el rendimiento en diversos parámetros, como la producción de fuerza (8, 25-27, 35, 76), el despliegue de potencia (23, 92, 99, 100), la velocidad en carrera (38), el tiempo de reacción y movimiento (7), y la fuerza-resistencia (73). Otros estudios no muestran decrementos del rendimiento, y una revisión más reciente, a cargo de Kay y Blazevich (56), llegó a la conclusión de que hay evidencias claras de que los estiramientos estáticos de corta duración no tienen efectos negativos sobre el rendimiento inmediato a menos que los estiramientos se mantengan más de 60 segundos. No obstante, un reciente metaanálisis realizado por Simic (87) se cuestiona el trabajo de Kay y Blazevich (56), y sugiere que los autores no usaron medidas estadísticas apropiadas para respaldar su disensión. Simic (87) informó de que las tandas de estiramientos estáticos de duración más corta (<45 segundos) causaban una menor disminución del rendimiento, pero que esa disminución existía y tal vez afectase al rendimiento en competición. Por tanto, a la hora de decidir si usar estiramientos estáticos en esta fase del calentamiento, es importante que el profesional de la fuerza y del acondicionamiento físico practique un análisis de los riesgos y beneficios (65). Un factor importante a tener en cuenta al diseñar esta fase del calentamiento es el arco de movilidad articular que se requiere en la actividad; los atletas en deportes que requieran grandes arcos de movilidad tal vez necesiten dedicar más tiempo a esta fase del calentamiento que cuando se requiera un arco de movilidad menor (46, 97).

Respecto a estas decisiones, la existencia de una fase de activación y movilización para el calentamiento en lugar de la fase de estiramiento ayuda a los entrenadores a seleccionar las actividades. Como no se ha demostrado la existencia de un vínculo incontestable entre estiramientos y prevención de

lesiones (47, 50, 75, 86, 89) o agujetas posteriores (55), el interés por el calentamiento debe desviarse hacia el rendimiento. Los ejercicios deben tener por objeto contribuir a la preparación para la sesión inminente, pero también mejorar la capacidad de movimiento general del atleta. Los ejercicios que invitan a los atletas a usar patrones de movimiento clave, para que ayuden al desarrollo del control motor requerido, así como de la movilidad, son actividades ideales en esta fase del calentamiento (54). De forma similar, esta fase ofrece una gran oportunidad mediante la cual abordar aspectos específicos de movilidad que el atleta tenga que desplegar (54).

Utilizar diversos ejercicios de movilidad y estiramiento dinámico aporta todas estas ventajas clave. Además, los estiramientos dinámicos ayudan a mantener los beneficios asociados con la temperatura obtenidos en la fase de aumentar del calentamiento (54). Igualmente, varias articulaciones pueden integrarse en un solo estiramiento, a menudo incluyendo movimientos en varios planos parecidos a los que se producen en el deporte. Por tanto, los estiramientos dinámicos son muy eficaces respecto al aprovechamiento del tiempo, lo cual puede ser importante cuando se dispone de tiempo limitado para el entrenamiento (49, 54). Estas ventajas, junto con el hecho de que los ejercicios de movilidad y estiramiento dinámico han demostrado mejorar el rendimiento inmediato al correr (38, 66, 98), hacen de este tipo de ejercicios las actividades preferidas durante el calentamiento para la mayoría de los deportes (54).

La tercera fase, la **potenciación**, es análoga al calentamiento específico, pero lo importante es que se centra en la intensidad de las actividades. Esta fase despliega actividades específicas de un deporte que aumentan en intensidad hasta que el atleta esté ejercitándose a la intensidad requerida para la competición o sesión de entrenamiento inminente. Esta fase es importante para el rendimiento inmediato, sobre todo en actividades que requieren niveles elevados de velocidad, fuerza y potencia, aunque a menudo se omite en los calentamientos tradicionales. Cuanta más potencia sea necesaria para el deporte o actividad, más importante será la fase de potenciación del calentamiento (17), e incluir ejercicios dinámicos de alta intensidad puede facilitar el rendimiento inmediato (11, 14, 36, 99). El calentamiento para la competición debe incluir una progresión de las actividades específicas para el deporte que permiten al atleta potenciar fisiológica y psicológicamente al máximo el rendimiento (11). El calentamiento para los entrenamientos se centrará en la sesión inmediata, aunque también en los requisitos a más largo

plazo del atleta. Con una planificación eficaz, esta fase del calentamiento puede ser una parte clave de la sesión, ofreciendo una oportunidad ideal para trabajar aspectos del rendimiento como la velocidad y la agilidad (54). La planificación eficaz de esta fase permite dedicar un tiempo considerable del entrenamiento a componentes clave de la condición física sin un incremento global de la duración del entrenamiento (54). Es esta fase la que realmente determina la duración óptima del calentamiento, ya que la fase de potenciación puede convertirse en una parte clave de la sesión, permitiendo la participación de elementos como el entrenamiento de la velocidad y de la agilidad; en estos casos, el período de calentamiento será más largo, pero avanzará armónicamente hasta la sesión principal.

Flexibilidad

El grado de movimiento que se produce en una articulación se denomina **grado de movilidad (ROM)**. La **flexibilidad** es una medición del ROM y tiene componentes estáticos y dinámicos. La **flexibilidad estática** es el arco de movimiento posible de una articulación (22, 30) y de sus músculos circundantes durante un movimiento pasivo (40, 44). La flexibilidad estática no requiere actividad muscular voluntaria; una fuerza externa, como la gravedad, un compañero o una máquina, aporta la fuerza para un estiramiento. La **flexibilidad dinámica** se refiere al ROM disponible durante movimientos activos y, por tanto, requiere acciones musculares voluntarias. El ROM dinámico suele ser mayor que el ROM estático. La relación entre el ROM estático y el dinámico se ha cuestionado históricamente (52), y sigue en gran medida sin resolverse, sobre todo en relación con el hecho de que una movilidad normal no llegue a garantizar el movimiento normal (19). Por tanto, la transferencia directa entre medidas de la flexibilidad estática y el rendimiento deportivo no se puede determinar.

Al determinar qué tipo de flexibilidad es más crucial, es importante fijarse en la naturaleza del deporte en sí. Un papel clave de la flexibilidad es su contribución al movimiento de un atleta. Por tanto, la flexibilidad considerada de forma aislada puede llevar a error, ya que el arco de movilidad normal no garantiza el movimiento normal (19). En este contexto, el concepto de la movilidad puede ser más iluminador, porque comprende el movimiento y, por tanto, la integración de aspectos adicionales como la coordinación del equilibrio, la coordinación del control ortostático y la percepción (19). De

este modo, la movilidad enmarca la flexibilidad como una cualidad dinámica, teniendo que demostrar el atleta control, coordinación y fuerza durante cualquier arco de movilidad. Esto es ventajoso cuando se observa el papel de la flexibilidad en el rendimiento. La mejora del arco de movilidad sin un control motor apropiado nunca puede potenciar al máximo el rendimiento (82).

Flexibilidad y rendimiento

Los efectos de la flexibilidad sobre el rendimiento dependen de los tipos de actividad emprendida, y los atletas más flexibles no siempre son los de mayor éxito (82). Por tanto, el principal objetivo del entrenamiento es más mejorar la flexibilidad en relación con la actividad específica que simplemente potenciar la flexibilidad *per se* (71). Los deportes y actividades tienen requisitos específicos en cuanto al grado de movilidad, y es probable que existan niveles óptimos de flexibilidad en cada actividad, que están relacionados con los movimientos del deporte en particular (45, 89). También es importante que los profesionales de la fuerza y el acondicionamiento físico tengan presentes los patrones cinéticos y cinemáticos requeridos para esa movilidad, ya que eso dictará los tipos de métodos de trabajo utilizados. El desarrollo de una mayor movilidad se asociará con el objetivo de mejorar el rendimiento, y eso a menudo implica la necesidad de aplicar fuerza durante el arco de movilidad requerido y la capacidad de asumir posturas técnicas clave durante el deporte. En algunos casos, una mayor movilidad se puede ver como el eslabón perdido en el programa de potencia de los atletas, dado que la capacidad de aplicar fuerza durante un arco de movilidad más amplio aumenta el impulso, mediante la prolongación del tiempo durante el cual el atleta aplica fuerza, lo cual a su vez contribuye a mejorar el rendimiento en diversos deportes (67). Por tanto, el profesional de la fuerza y el acondicionamiento físico deben considerar la movilidad óptima requerida por el atleta, pero también los patrones de fuerza necesarios a lo largo de ese arco de movilidad, y debería desarrollarlos en tándem con la movilidad mejorada para garantizar que el atleta esté perfectamente preparado para el desempeño de su actividad deportiva.

Existen valores óptimos de flexibilidad según el deporte y la actividad, y el riesgo de lesión tal vez aumente cuando los atletas no alcanzan estos valores. También es importante reparar en que tanto la inflexibilidad como la

hiperflexibilidad elevan el riesgo de lesión (78, 89). Además, un desequilibrio en la flexibilidad predispone a un mayor riesgo de lesiones (57, 58).

Factores que influyen en la flexibilidad

Varios factores anatómicos y relacionados con el entrenamiento influyen en la flexibilidad. El entrenamiento no puede alterar algunos de ellos, como la estructura articular, la edad y el sexo. Sin embargo, otros se manipulan y, por tanto, son consideraciones importantes en el diseño de programas para el desarrollo de la flexibilidad. Un programa de estiramiento a largo plazo puede tener un efecto positivo acumulativo, desde la mejora de la flexibilidad hasta la mejora de la fuerza (82). Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico deben tener en cuenta la combinación única en cada atleta de factores y requisitos deportivos cuando se recomiendan programas y ejercicios para el desarrollo de la flexibilidad.

Estructura articular

La estructura de una articulación determina su grado de movilidad (66). Las **articulaciones esferoideas**, como la cadera y el hombro, se mueven en todos los planos anatómicos y presentan el mayor arco de movilidad de todas las articulaciones (2). La muñeca es una **articulación elipsoidea** (un cóndilo ovalado que encaja en una cavidad elíptica), que permite sobre todo movimiento en los planos frontal y sagital; su grado de movilidad es significativamente menor que el de la cadera y el hombro (2). En contraste, la rodilla es una **articulación troclear** modificada, produciéndose el movimiento sobre todo en el plano sagital; su grado de movilidad es menor que el de las articulaciones esferoideas o la articulación elipsoidea de la muñeca. El tipo de articulación, la forma de las superficies articulares y los tejidos blandos que rodean la articulación influyen en su grado de movilidad.

Edad y sexo

Los jóvenes suelen ser más flexibles que las personas mayores (95), y las mujeres tienden a ser más flexibles que los hombres (44). Las diferencias en la flexibilidad entre jóvenes de ambos sexos tal vez se deba en parte a diferencias estructurales y anatómicas, y al tipo y extensión de las actividades practicadas. Las personas mayores experimentan un proceso llamado **fibrosis**, por el cual el tejido conjuntivo fibroso remplaza las fibras

musculares degenerativas (2). Esto probablemente se deba a la inactividad y a una tendencia a usar menos el arco de movilidad disponible durante el movimiento. Del mismo modo que las personas mayores pueden mejorar la fuerza, también pueden mejorar la flexibilidad con ejercicio apropiado.

Músculo y tejido conjuntivo

Diversos tejidos corporales influyen en la flexibilidad. Por ejemplo, factores como el tejido muscular, la unión musculotendinosa, los tendones, los ligamentos, las vainas tendinosas, las cápsulas articulares y la piel pueden limitar el grado de movilidad (30). Su contribución relativa al aumento de la flexibilidad, tanto de forma inmediata como crónica, no está clara y refleja el impacto de la **elasticidad** y la **plasticidad**. La elasticidad (la capacidad para volver a la longitud original en reposo después de un estiramiento pasivo) y la plasticidad (la tendencia a asumir una longitud nueva y mayor después de un estiramiento pasivo) del tejido conjuntivo son otros factores que determinan el grado de movilidad (39, 96). Los ejercicios de estiramiento influyen positivamente en los tejidos conjuntivos aprovechando su potencial plástico, aunque aún no está clara la importancia relativa de cada tipo de tejido y las diferencias entre las respuestas individuales (12).

Tolerancia al estiramiento

Un factor importante para determinar la flexibilidad del atleta es la tolerancia al estiramiento, o la capacidad para tolerar las molestias del estiramiento (82). Las personas con mayor grado de movilidad tienden a mostrar un mayor nivel de tolerancia al estiramiento y, por tanto, son capaces de soportar una mayor carga de estiramiento (12). Un rasgo importante de un programa de estiramientos habituales es que incrementa la tolerancia al estiramiento del atleta, con lo cual, en potencia, permite aumentar más la flexibilidad.

Control neuronal

El control de la movilidad de un atleta depende en último término del sistema nervioso central y periférico, y menos de elementos estructurales (62). Este sistema comprende tanto mecanismos aferentes como eferentes que producen actividades conscientes y reflejas que al final controlan el grado de movilidad que un atleta logra conseguir. Un aspecto clave de todo programa eficaz de flexibilidad es la capacidad de influir positivamente en este sistema,

permitiendo manifestar un mayor grado de movilidad.

Entrenamiento resistido

Un programa general y correcto de entrenamiento resistido tal vez aumente la flexibilidad (60, 88) y también ayuda a desarrollar la capacidad de fuerza por medio de una mejora del grado de movilidad. Los protocolos eficaces de entrenamiento de la fuerza se deben considerar como un medio auxiliar de los programas de estiramientos (82). Sin embargo, existe un inconveniente: Un entrenamiento resistido con grandes cargas pero con un arco de movilidad limitado durante los ejercicios puede reducir la movilidad (30). Para prevenir la pérdida de movilidad, los atletas deberían practicar ejercicios que desarrollen tanto los músculos agonistas como los antagonistas (16), y se deben ejercitar en todo el arco de movilidad disponible en las articulaciones implicadas.

Masa muscular

Un incremento significativo de la masa muscular tal vez influya negativamente en el arco de movilidad, impidiendo el movimiento articular. Un atleta con grandes bíceps y deltoides, por ejemplo, tal vez experimente dificultad al afectuar un estiramiento del tríceps (30), depositar la barra en una cargada de fuerza, o al sostener la haltera mientras practica una sentadilla frontal. Aunque alterar el programa de entrenamiento pueda reducir el volumen de masa muscular, esto tal vez no sea aconsejable para los atletas de potencia grandes, como los lanzadores de peso y los linieros ofensivos de fútbol americano. Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico siempre deben tener presentes los requisitos del deporte del atleta: Unos grandes músculos hacen innecesaria una movilidad articular extrema, aunque cuando el grado de movilidad es crucial, se debe tener en cuenta los potenciales efectos negativos de la masa muscular y planificar en consecuencia los programas de entrenamiento.

Nivel de actividad

Las personas activas tienden a ser más flexibles que las inactivas (44). Esto es particularmente cierto si la actividad comprende ejercicios de flexibilidad, pero también si se practican otras actividades como un entrenamiento resistido. Hombres y mujeres han aumentado con éxito su flexibilidad como

un resultado de un programa de entrenamiento resistido correctamente diseñado (94). También es importante entender que el nivel de actividad por sí solo no mejora la flexibilidad; los ejercicios de estiramientos o los que exigen al cuerpo moverse en todo el arco de movilidad son esenciales para mantener o aumentar la flexibilidad articular.

Frecuencia, duración e intensidad de estiramiento

Al igual que sucede con todas las formas de entrenamiento, la frecuencia, duración e intensidad son aspectos importantes en el diseño de programas (28). Tanto los estiramientos estáticos (13) como los estiramientos de la facilitación neuromuscular propioceptiva (34) han demostrado aumentar la flexibilidad articular de la rodilla, la cadera, el tronco, el hombro y el tobillo (89). A pesar de esto, todavía no están claros los exactos mecanismos responsables del aumento de la flexibilidad. Los efectos inmediatos del estiramiento sobre la movilidad son transitorios y máximos inmediatamente después de la sesión de estiramiento, y a continuación empiezan a declinar, siendo la duración de esa mejora significativa de la flexibilidad de 3 minutos (29) a 24 horas (31).

Para lograr efectos más duraderos, se requiere un programa dedicado a la flexibilidad (89). Un régimen de estiramientos dos veces por semana, durante un mínimo de cinco semanas, ha demostrado mejorar significativamente la flexibilidad (40). No obstante, la literatura aporta pautas limitadas respecto a los parámetros específicos de los estiramientos, sobre todo respecto a los métodos de facilitación neuromuscular propioceptiva (30).

Se suele recomendar que un estiramiento estático tenga una duración de 15 a 30 segundos (78), y se ha demostrado que estos estiramientos son más eficaces que los de duración más corta (79, 93). Las pruebas respaldan el uso de estiramientos de 30 segundos (4-6) y sugieren que los resultados disminuyen si se supera esta duración. Otra consideración es el tiempo total dedicada a los estiramientos durante el día, lo cual tal vez sea tan importante como la duración de un solo estiramiento (17, 79). Cuando se practiquen estiramientos estáticos, los atletas deben mantener el estiramiento en una posición en que sientan leves molestias (pero no dolor). La integridad articular no se debe comprometer nunca para aumentar el grado de movilidad. Todas las sesiones de estiramiento deben ir precedidas por un período de actividad general para elevar la temperatura corporal. Como las estructuras

neuronales y vasculares se estiran durante los ejercicios de flexibilidad, hay que monitorizar que los atletas no experimenten una pérdida de sensibilidad ni dolor que irradie.

¿Cuándo deberían estirar los atletas?

Los estiramientos se deberían practicar en los siguientes momentos para obtener unos beneficios óptimos:

- *Después de los entrenamientos y la competición*. Los estiramientos después del ejercicio facilitan las mejoras de la movilidad (43) por el incremento de la temperatura de los músculos (39). Se deben practicar a los 5 a 10 minutos de acabar las prácticas. El aumento de la temperatura corporal incrementa las propiedades elásticas del colágeno presente en músculos y tendones, lo cual permite una mayor magnitud a los estiramientos. Los estiramientos después del ejercicio tal vez también reduzcan las agujetas (77), aunque las pruebas al respecto son ambiguas (1, 61).
- *Como una sesión independiente*. Si se requiere un aumento de los niveles de flexibilidad, tal vez se necesiten sesiones adicionales de estiramientos. En este caso, a los estiramientos debería preceder un calentamiento general y exhaustivo que logre el aumento de la temperatura muscular necesaria para que los estiramientos sean eficaces. Este tipo de sesiones son especialmente útiles como sesiones de recuperación al día siguiente de una competición.

Propioceptores y estiramientos

Hay que tener en cuenta dos propioceptores importantes durante los estiramientos: los **husos musculares** y los **órganos tendinosos de Golgi (OTG)**. Los husos musculares, localizados en las fibras musculares intrafusales que discurren paralelas a las fibras musculares extrafusales, controlan los cambios en la longitud del músculo (40). Durante un rápido movimiento de estiramiento, una neurona sensitiva del huso muscular inerva una motoneurona de la columna vertebral. La motoneurona causa una acción muscular de las fibras musculares extrafusales previamente estiradas; este es el **reflejo de estiramiento**. La estimulación del huso muscular y la inmediata activación del reflejo de estiramiento se deberían evitar durante los

estiramientos, ya que el movimiento se limitará mediante la acción muscular refleja. Si los husos musculares no se estimulan, el músculo se relaja y permite un estiramiento más largo. Debido a que el movimiento es muy lento durante los estiramientos estáticos (véase la siguiente sección «Tipos de estiramientos»), no interviene el reflejo de estiramiento. Los movimientos rápidos de estiramiento (balísticos y dinámicos) estimulan los husos musculares y provocan el reflejo de estiramiento.

Los OTG, un **mecanorreceptor** localizado cerca de la unión musculotendinosa, son sensibles a los incrementos de la tensión muscular. Cuando se estimulan, los OTG hacen que el músculo se relaje de forma refleja. La relajación que ocurre en el mismo músculo que está experimentando una creciente tensión se llama **inhibición autógena** (18, 22, 72). La inhibición autógena se consigue mediante la contracción activa de un músculo inmediatamente antes de un estiramiento pasivo del mismo músculo. La tensión acumulada durante la contracción activa estimula los OTG, causando una relajación refleja del músculo durante el inmediato estiramiento pasivo. La relajación que ocurre en el músculo antagonista al músculo que experimenta la creciente tensión se llama **inhibición recíproca** (18, 72). Esto ocurre cuando uno contrae simultáneamente el músculo opuesto al músculo que se estira pasivamente. Aquí la tensión del músculo que se contrae estimula los OTG y causa una relajación refleja simultánea del músculo estirado.

Tipos de estiramiento

Los estiramientos exigen el movimiento de un segmento corporal hasta un punto de resistencia dentro del arco de movilidad articular. Llegados al punto de resistencia, se aplica una fuerza. El movimiento de este estiramiento se puede practicar de forma activa o pasiva. Un **estiramiento activo** es aquel en que la misma persona genera la fuerza del estiramiento. Durante el ejercicio de tocarse las puntas de los pies sentado, por ejemplo, el atleta contrae la musculatura abdominal y los flexores de cadera para flexionar el tronco hacia delante y estirar los isquiotibiales y la región lumbar. Se produce un **estiramiento pasivo** cuando un compañero o una máquina aportan la fuerza externa que causa o mejora el estiramiento.

Estiramientos estáticos

Los **estiramientos estáticos** son lentos y constantes, y la posición final se mantiene durante 15 a 30 segundos (4, 6). Todo estiramiento estático comprende la relajación y consiguiente elongación del músculo estirado (37). Como se practican lentamente, los estiramientos estáticos no desencadenan el reflejo de estiramiento del músculo estirado (20); por tanto, la posibilidad de lesionarse es menor que durante los estiramientos balísticos (2, 39, 90). Además, los estiramientos estáticos son fáciles de aprender y se ha demostrado que mejoran eficazmente la movilidad (13). Aunque pueda haber lesiones en los músculos o el tejido conjuntivo si el estiramiento estático es demasiado intenso, no hay desventajas reales en los estiramientos estáticos mientras se emplee una técnica correcta. Los estiramientos estáticos son apropiados para aumentar la flexibilidad de todos los atletas de diversos deportes.

El ejercicio de tocarse las puntas de los pies sentado es un buen ejemplo de estiramiento estático. Para practicar estáticamente este estiramiento, el atleta se sienta en el suelo con las extremidades inferiores juntas y las rodillas extendidas, se inclina hacia delante doblando la cintura y extiende los brazos lentamente hacia los tobillos. El atleta aumenta gradualmente la intensidad del estiramiento inclinándose hacia delante hasta que sienta un malestar leve en los isquiotibiales o la región inferior de la espalda. El atleta mantiene esta postura de 15 a 30 segundos y luego vuelve lentamente a una posición erguida en sedestación. El estiramiento es estático porque se practica lentamente y la postura final se mantiene sin movimiento.

Estiramientos balísticos

Los **estiramientos balísticos** suelen implicar un esfuerzo muscular activo y emplean un movimiento tipo rebote en el que no se mantiene la posición final (70). Los estiramientos balísticos se suelen usar en el calentamiento previo al ejercicio; sin embargo, si no se controlan o secuencian apropiadamente, tal vez lesionen los músculos o los tejidos conjuntivos, sobre todo cuando ha habido una lesión previa (20). Los estiramientos balísticos suelen desencadenar un reflejo de estiramiento que no permite relajarse a los músculos implicados, lo cual tal vez limite la movilidad, por los que el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debería monitorizarla durante la sesión.

Por ejemplo, pensemos en el ejercicio de tocarse los dedos de los pies

sentado, practicado más como un estiramiento balístico que como un estiramiento estático. El atleta se sienta en el suelo con las rodillas extendidas, con las extremidades inferiores juntas y el hemicuerpo superior perpendicular a las piernas. Extiende los brazos hacia los tobillos, genera unos botes en la posición final e inmediatamente vuelve a la posición casi vertical del torso. En cada repetición, la posición final se extiende más que en la repetición precedente. Los estiramientos balísticos han demostrado ser tan eficaces como los estiramientos estáticos para mejorar el arco de movilidad (63) y podrían ejercer un papel en un programa de desarrollo de la flexibilidad (24). Sin embargo, hay que tener cuidado de asegurarse de que el atleta está preparado para este tipo de ejercicio tanto a nivel inmediato como crónico, y se debe tener cuidado especial cuando se haya registrado alguna lesión previa.

Estiramientos dinámicos

Los **estiramientos dinámicos** son un tipo de ejercicio de estiramiento con una base funcional que utiliza movimientos genéricos y específicos del deporte con el fin de preparar el cuerpo para la actividad (64). Los estiramientos dinámicos —a veces llamados **ejercicios de movilidad** (3)— hacen más hincapié en los movimientos requeridos por el deporte o actividad que en los músculos individuales. Este tipo de ejercicio puede reproducir estrechamente los movimientos que requiere un deporte o actividad (48); por ejemplo, un estiramiento que imite el ejercicio de elevación de rodillas en deambulación reproduce el levantamiento que un velocista hace de las rodillas al correr. En esencia, podemos concebir los estiramientos dinámicos como el movimiento activo de una articulación en todo el arco de movilidad utilizado en un deporte.

Los estiramientos dinámicos y balísticos tal vez parezcan similares; sin embargo, cierto número de diferencias clave alteran significativamente los efectos de estas actividades, como el hecho de que los estiramientos dinámicos evitan los potenciales efectos negativos asociados con los estiramientos balísticos. Los estiramientos dinámicos evitan los rebotes y se practican de forma más controlada que los estiramientos balísticos. El resultado es un arco de movilidad controlado que a menudo es menor que el que se produce en los estiramientos balísticos, aunque muestra el control requerido para moverse activamente durante todo el grado de movilidad y

asumir y mantener la posición final.

La capacidad de mover activamente una articulación en todo su arco de movilidad suele ser más específica del deporte que la capacidad para mantener estáticamente un estiramiento. Las ventajas de los estiramientos dinámicos incluyen su capacidad de favorecer la flexibilidad dinámica y de reproducir los patrones de movimiento y el ROM requerido por las actividades deportivas. Como consecuencia, los estiramientos dinámicos, ya descritos en la explicación del calentamiento, son el método de estiramiento cada vez más preferido durante el calentamiento.

En los estiramientos dinámicos, a diferencia de los estáticos, el músculo no se relaja durante el estiramiento, sino que está activo durante todo el arco de movilidad; esto también resulta más específico de los patrones de movimiento propios del deporte. Incluso si es una actividad ideal para el calentamiento, los estiramientos dinámicos tal vez sean menos eficaces que los estáticos o los estiramientos de la facilitación neuromuscular propioceptiva con un ROM estático creciente (5); en situaciones en las que se necesita un mayor ROM estático, quizá se prefieran los métodos de facilitación neuromuscular propioceptiva o estáticos.

Cuando se diseña un programa de estiramientos dinámicos, el punto de partida debe ser un cuidadoso análisis de los principales patrones de movimiento del deporte dado y el arco de movilidad necesario durante estos movimientos. Entonces es posible seleccionar ejercicios que reproduzcan esos movimientos mediante una serie de estiramientos dinámicos. De este modo, es posible lograr un programa de flexibilidad muy específico.

Los estiramientos dinámicos brindan la oportunidad de combinar movimientos (32, 49). Esto permite al especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico un gran número de combinaciones para aportar variedad en el calentamiento. Los atletas pueden practicar ejercicios de estiramientos dinámicos, sea una serie de repeticiones en el mismo sitio (p. ej., 10 tijeras) o una serie de repeticiones que cubran una distancia dada (p. ej., tijeras durante 15 m). Con independencia del método elegido, todos los ejercicios deberían comenzar lentamente para elevar de forma gradual el arco de movilidad, la velocidad o ambos durante las siguientes repeticiones o series. Por ejemplo, los atletas pueden practicar el ejercicio de elevación de las rodillas durante una distancia de 15 m, primero caminando para ir evolucionando a un *skipping* en las siguientes repeticiones. Esta progresión aporta un incremento de la velocidad y el arco de movilidad. Un

calentamiento eficaz que use estiramientos dinámicos puede requerir de 10 a 15 minutos (64).

En un estiramiento dinámico que reproduzca una destreza deportiva —como el ejercicio de elevar las rodillas de un velocista—, es importante que el estiramiento también subraye los factores clave de la destreza necesarios para el movimiento, de modo que se refuerce la mecánica más importante del ejercicio. Por ejemplo, si el ejercicio de levantar las rodillas se usa en el calentamiento, habrá que hacer hincapié en una mecánica eficaz del cuerpo junto con las posiciones articulares clave, como la flexión dorsal del tobillo del pie elevado. El uso de estiramientos dinámicos siempre se debe coordinar con técnicas deportivas apropiadas y nunca comprometer la técnica correcta.

Facilitación neuromuscular propioceptiva

Los estiramientos de la **facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP)** se concibieron originalmente como parte de un programa de rehabilitación neuromuscular para relajar los músculos con un mayor tono o actividad (90). Desde entonces se ha ido extendiendo su uso en el atletismo como un método para incrementar la flexibilidad. Las técnicas de facilitación neuromuscular propioceptiva se suelen practicar con un compañero e implican tanto movimientos pasivos como acciones musculares activas (concéntricas e isométricas). Los estiramientos de la facilitación neuromuscular propioceptiva tal vez sean superiores a otros métodos de estiramiento porque facilitan la inhibición muscular (21, 34, 53, 74, 80, 88, 91), aunque no se han obtenido evidencias sólidas (28). Sin embargo, los estiramientos de la FNP a menudo no son prácticos porque la mayoría de ellos requieren un compañero y cierta experiencia. Esta sección sirve como introducción a los estiramientos de la FNP.

Durante un estiramiento de la FNP, se emplean tres acciones musculares específicas para facilitar el estiramiento pasivo. Se emplean acciones musculares tanto concéntricas como isométricas del antagonista (el músculo estirado) antes de efectuar un estiramiento pasivo del mismo para conseguir inhibición autógena. La acción muscular isométrica se denomina *sustentación* y la acción muscular concéntrica, *contracción*. Una acción muscular concéntrica del agonista, llamada **contracción agonista**, se usa durante un estiramiento pasivo del antagonista para lograr la inhibición recíproca. Cada técnica también implica estiramientos pasivos y estáticos que se denominan

relajación.

Hay tres tipos básicos de técnicas de estiramiento en la FNP:

- Sustentación-relajación (15, 18, 21, 80, 88).
- Contracción-relajación (15, 21).
- Sustentación-relajación con contracción agonista (18, 72).

Las técnicas de FNP se completan en tres fases. En cada una de las tres técnicas, la primera fase incorpora una preestiramiento pasivo de 10 segundos. Las acciones musculares que se emplean en la segunda y tercera fases difieren en las tres técnicas; las fases segunda y tercera dan su nombre a cada técnica. Un estiramiento para mejorar la flexibilidad de los músculos isquiotibiales sirve aquí a modo de ejemplo (figuras 14.1-14.11).

Técnica de sustentación-relajación

La técnica de **sustentación-relajación** comienza con un preestiramiento pasivo que se mantiene en un punto de malestar leve durante 10 segundos (figura 14.3). El compañero a continuación aplica una fuerza de flexión en la cadera y ordena al atleta que «aguante y no deje que se mueva la pierna»; el atleta «aguanta» y opone resistencia al movimiento, de modo que se produzca una contracción muscular isométrica y se sostenga durante 6 segundos (figura 14.4). El atleta se relaja a continuación y se practica un estiramiento pasivo aguantando 30 segundos (figura 14.15). El estiramiento final debería ser de mayor magnitud debido a la inhibición autógena (es decir, la activación de los isquiotibiales).



FIGURA 14.1 Postura inicial del estiramiento de isquiotibiales de la facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP).



FIGURA 14.2 Postura de las manos y la pierna del sujeto y el compañero para el estiramiento de isquiotibiales de la FNP.



FIGURA 14.3 Preestiramiento pasivo de isquiotibiales durante la técnica de sustentación-relajación del estiramiento de la FNP.



FIGURA 14.4 Acción isométrica durante la técnica de sustentación-relajación del estiramiento de isquiotibiales de la facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP).



FIGURA 14.5 Incremento del grado de movilidad articular durante la técnica de sustentación-relajación del estiramiento pasivo de isquiotibiales de la FNP.



FIGURA 14.6 Preestiramiento pasivo de isquiotibiales durante la técnica de contracción-relajación del estiramiento de la FNP.



FIGURA 14.7 Acción concéntrica de los músculos extensores de cadera durante la técnica de contracción-relajación del estiramiento de la FNP.



FIGURA 14.8 Incremento del grado de movilidad articular durante la técnica de contracción-relajación del estiramiento de la FNP.



FIGURA 14.9 Preestiramiento pasivo durante la técnica de sustentación-relajación con contracción agonista del estiramiento de isquiotibiales de la FNP.



FIGURA 14.10 Acción isométrica de los músculos isquiotibiales durante la técnica de sustentación-relajación con contracción agonista del estiramiento de la facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP).



FIGURA 14.11 Contracción concéntrica del músculo cuádriceps durante la técnica de sustentación-relajación con contracción agonista del estiramiento de isquiotibiales de la FNP, creando un incremento del grado de movilidad articular durante el estiramiento pasivo.

Técnica de contracción-relajación

La técnica de **contracción-relajación** también empieza con un preestiramiento pasivo de los isquiotibiales que se mantiene en un punto de malestar leve durante 10 segundos (figura 14.6). A continuación, el atleta extiende la cadera contra la resistencia del compañero, de modo que se produzca una acción muscular concéntrica durante todo el arco de movilidad (figura 14.7). El atleta se relaja entonces y se aplica un estiramiento pasivo de flexión de la cadera que se mantiene durante 30 segundos (figura 14.8). El aumento del arco de movilidad se facilita mediante inhibición autógena (es decir, activación de los isquiotibiales). En una alternativa a esta técnica, el atleta intenta extender la cadera mientras el compañero impide el movimiento (69). Como en esencia es lo mismo que la técnica de sustentación-relajación, se prefiere el método de contracción-relajación aquí descrito.

Técnica de sustentación-relajación con contracción agonista

La técnica de **sustentación-relajación con contracción agonista** es idéntica a la técnica de sustentación-relajación en las dos primeras fases (figuras 14.9 y 14.10). Durante la tercera fase, se emplea una acción concéntrica del

músculo agonista junto con el estiramiento pasivo para sumarlo a la fuerza del estiramiento (figura 14.11). Es decir, después del período de sustentación isométrica, el atleta flexiona la cadera, con lo cual aumenta el grado de movilidad. Con esta técnica, el estiramiento final debería ser mayor, sobre todo debido a la inhibición recíproca (es decir, la activación de los músculos flexores de la cadera) (69, 72) y, en segundo lugar, debido a la inhibición autógena (es decir, activación de los músculos isquiotibiales) (72).

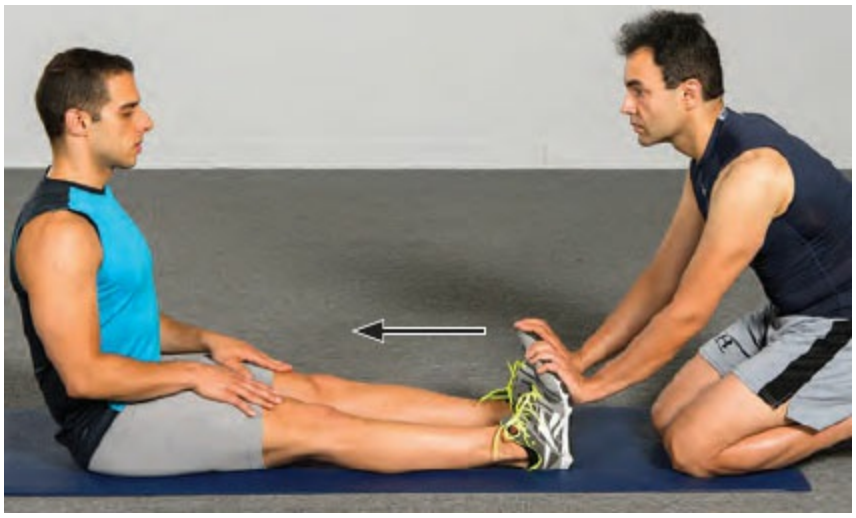


FIGURA 14.12 Estiramiento de pantorrillas de la facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP) con un



FIGURA 14.13 Estiramiento pectoral de la FNP con un compañero.

La técnica de contracción-relajación con contracción agonista es la técnica más eficaz de estiramiento de la facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP) debido a la facilitación mediante inhibición tanto autógena como recíproca.

Estiramientos comunes de FNP con un compañero

Los siguientes son estiramientos comunes de FNP practicados con un compañero:

- Pantorrillas y tobillos (figura 14.12).
- Pecho (figura 14.13).
- Ingle (figura 14.14).
- Isquiotibiales y extensores de cadera (descritos previamente).
- Cuádriceps y flexores de cadera (figura 14.15).
- Hombros (figura 14.16).

Conclusión

Un calentamiento aporta beneficios que mejoran el rendimiento inmediato. El calentamiento se debe orientar al deporte o actividad concretos y se debe usar una estructura apropiada que garantice que los deportistas estarán óptimamente preparados para la actividad inmediata. La planificación eficaz del calentamiento garantiza que las actividades preparen a los atletas para la sesión inminente pero sin inducir fatiga. Además, el calentamiento se debe planificar de modo que las actividades contribuyan tanto al objetivo de la próxima sesión como al desarrollo del atleta a medio y largo plazo.

La flexibilidad óptima para el rendimiento varía de un deporte a otro y está estrechamente relacionada con los tipos de movimientos y acciones que se exigirán del atleta. El concepto de movilidad tal vez sea más apropiado que el de flexibilidad centrándose en el movimiento activo durante el arco de movilidad requerido. En el caso de atletas que necesiten aumentar su flexibilidad, las técnicas de estiramientos estáticos y de la FNP permitirán un incremento eficaz del ROM, y estas técnicas deben ser un componente clave de un programa de entrenamiento dilatado. Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico deben tener en cuenta en cada atleta la combinación única de estructura articular, edad, sexo y requisitos deportivos cuando recomienden protocolos de estiramiento.



FIGURA 14.14 Estiramiento inguinal de la facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP) con un compañero.



FIGURA 14.15 Estiramiento de cuádriceps y los flexores de cadera de la FNP con un compañero.



FIGURA 14.16 Estiramiento de hombros de la FNP con un compañero.

TÉCNICAS DE ESTIRAMIENTO ESTÁTICO

CUELLO
14.1 Mirar a izquierda y derecha
14.2 Flexión y extensión

HOMBROS Y PECHO
14.3 Brazos extendidos detrás de la espalda
14.4 Inclinación posterior en sedestación

CARA POSTERIOR DEL BRAZO
14.5 Estiramiento detrás del cuello (ala de pollo)

PORCIÓN SUPERIOR DE LA ESPALDA
14.6 Brazo cruzado sobre el pecho
14.7 Brazos rectos por encima de la cabeza (pilar)

PORCIÓN INFERIOR DE LA ESPALDA
14.8 Giros de columna (Pretzel)
14.9 Estiramiento de vallista con rodillas semiflexionadas

CADERAS
14.10 Tijera hacia delante (luchador de esgrima)
14.11 Flexión de rodilla en decúbito supino

TORSO
14.12 Lateroflexión con los brazos extendidos
14.13 Lateroflexión con brazo flexionado

CARA ANTERIOR DEL MUSLO Y FLEXORES DE CADERA
14.14 Estiramiento lateral del cuádriceps

CARA POSTERIOR DEL MUSLO
14.15 Tocarse las puntas de los pies en sedestación
14.16 Estiramiento del vallista (el cuatro)

INGLE
14.17 Estiramiento de aductores con piernas abiertas
14.18 La flor de loto

PANTORRILLAS

14.19 Estiramiento contra la pared
14.20 Estiramiento en un escalón

Pautas para los estiramientos estáticos

- Adoptar una postura que facilite la relajación.
- Mover la articulación hasta el punto en que se sienta una leve molestia. Si se practican estiramientos de la FNP con la ayuda de un compañero, habrá que comunicarse claramente con él.
- Los estiramientos se aguantan durante 15 a 30 segundos.
- Los estiramientos unilaterales se repiten por ambos lados.

Precauciones para los estiramientos estáticos

- Se reducirá la intensidad del estiramiento si se experimenta dolor, síntomas que irradien o pérdida de sensibilidad.
- Se actuará con precaución cuando se estiren articulaciones hipermóviles.
- Se evitarán movimientos combinados que afecten la columna (p. ej., extensión y flexión lateral).
- Los músculos estabilizadores deben estar activos para proteger otras articulaciones y evitar movimientos indeseables.

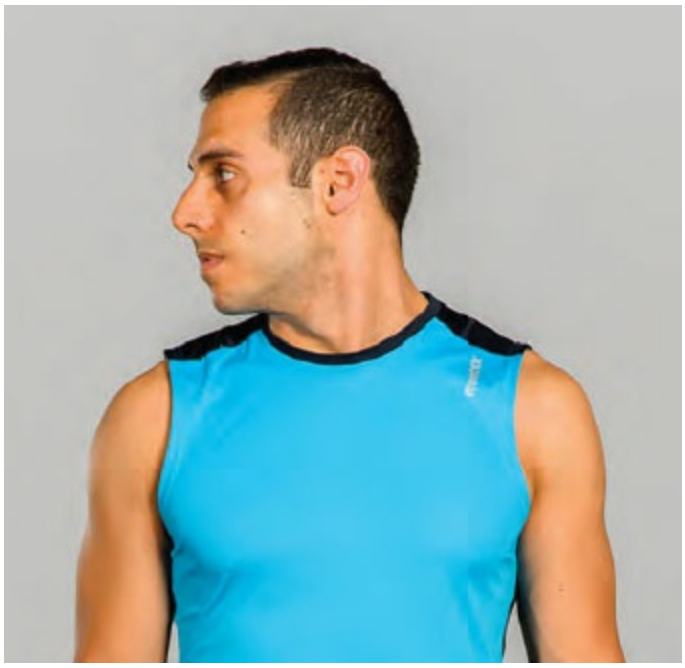
Cuello

14.1 MIRAR A IZQUIERDA Y DERECHA

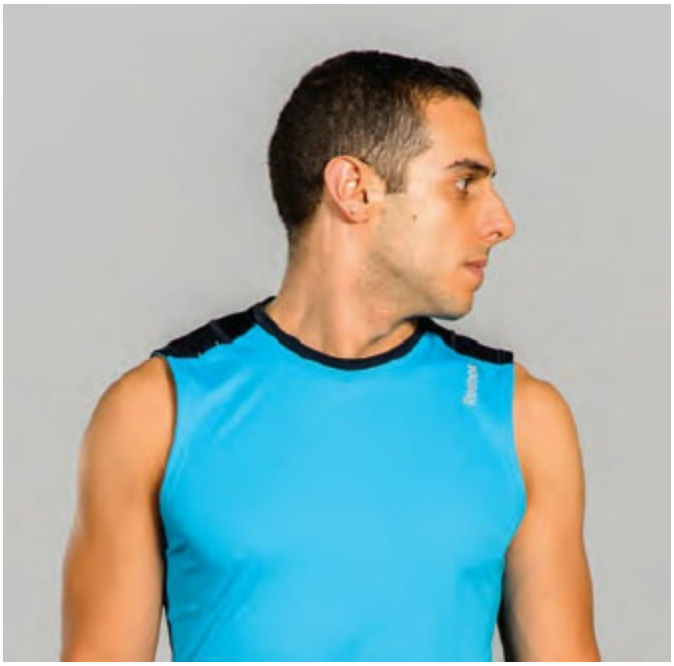
1. En posición sentados o de pie con la cabeza y el cuello erguidos.
2. Giramos la cabeza a la derecha mediante una acción muscular concéntrica submáxima.
3. Giramos la cabeza a la izquierda mediante una acción muscular concéntrica submáxima.

MÚSCULO EJERCITADO

Esternocleidomastoideo



Rotación del cuello a la derecha.



Rotación del cuello a la izquierda.

14.2 FLEXIÓN Y EXTENSIÓN

1. En posición sentados o de pie con la cabeza y el cuello erguidos,

flexionamos el cuello hundiendo el mentón en el pecho.
2. Si tocamos el pecho con el mentón, intentemos tocar el pecho en un punto más abajo.
3. Extendemos el cuello intentando aproximar al máximo la cabeza hacia la espalda.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Esternocleidomastoideo, suboccipitales, esplenios



Extensión del cuello.



Flexión del cuello.

Hombros y pecho

14.3 BRAZOS EXTENDIDOS DETRÁS DE LA ESPALDA

1. En bipedestación, llevamos los brazos detrás de la espalda.
2. Entrelazamos los dedos con las palmas de las manos orientadas una hacia la otra.
3. Extendemos los codos al máximo.
4. Alzamos lentamente los brazos, manteniendo los codos extendidos.
5. Mantenemos la cabeza erguida y el cuello relajado.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Porción anterior del deltoides, pectoral mayor



Estiramiento de las articulaciones del hombro, de pie.

14.4 INCLINACIÓN POSTERIOR EN SEDESTACIÓN

1. En sedestación con las piernas y los brazos extendidos, las palmas apoyadas en el suelo unos 30 cm por detrás de las caderas.
2. Apuntamos con los dedos de las manos hacia atrás.
3. Deslizamos las manos hacia atrás e inclinamos el tronco hacia atrás.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Deltoides, pectoral mayor



Estiramiento de las articulaciones del hombro en sedestación.

Cara posterior del brazo

14.5 ESTIRAMIENTO DETRÁS DEL CUELLO (ALA DE POLLO)

1. De pie o sentado, se mueve el hombro derecho en abducción y se flexiona el codo.
2. Se extiende la mano derecha espalda abajo hacia el omoplato izquierdo.
3. Se ase el codo derecho con la mano izquierda.

4. Se tira del codo por detrás de la cabeza con la mano izquierda para aumentar la abducción del hombro.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Tríceps braquial, dorsal ancho



Estiramiento de tríceps.

Porción superior de la espalda

14.6 BRAZO CRUZADO SOBRE EL PECHO

1. De pie o sentado con el codo izquierdo ligeramente flexionado (15°-30°) y el brazo cruzado sobre el cuerpo (es decir, el hombro en aducción horizontal).
2. Se ase el brazo justo por encima del codo, apoyando la mano derecha sobre el lado posterior del brazo.

3. Se tira del brazo cruzado sobre el pecho (hacia la derecha) con la mano derecha.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Porción posterior del deltoides, romboides, porción media del trapecio



Estiramiento de la porción superior de la espalda.

14.7 BRAZOS RECTOS POR ENCIMA DE LA CABEZA (PILAR)

1. De pie con los brazos delante del torso, los dedos entrelazados con las palmas mirando hacia fuera.
2. Se extienden lentamente los brazos por encima de la cabeza con las palmas hacia arriba.
3. Se siguen extendiendo hacia arriba brazos y manos.
4. Mientras prosigue la extensión hacia arriba, se llevan lentamente los brazos un poco hacia atrás.

MÚSCULO EJERCITADO

Dorsal ancho



Estiramiento de los brazos y la porción superior de la espalda.

Porción inferior de la espalda

14.8 GIROS DE COLUMNA (PRETZEL)

1. Sentado con las piernas extendidas y el hemicuerpo superior casi vertical, apoyamos el pie derecho junto al costado izquierdo de la rodilla izquierda.
2. Apoyamos el dorso del codo izquierdo sobre el costado derecho de la rodilla derecha, que ahora está flexionada.
3. Apoyamos la palma de la mano derecha en el suelo a 30-40 cm detrás de las caderas.
4. Empujamos la rodilla derecha hacia la izquierda con el codo izquierdo mientras giramos los hombros y la cabeza hacia la derecha todo lo

posible. Intentar mirar hacia atrás de la espalda.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Oblicuo interno, oblicuo externo, piriforme, erector de la columna



Estiramiento de los costados y la porción inferior de la espalda.

14.9 ESTIRAMIENTO DE VALLISTA CON RODILLAS SEMIFLEXIONADAS

1. Sentado con las rodillas flexionadas de 30° a 50°; las piernas están totalmente relajadas.
2. Apuntamos con las rodillas hacia fuera; los laterales de las rodillas pueden estar en contacto o no con el suelo.
3. Inclinamos el tronco hacia delante doblando la cintura y extendiendo el tronco con los brazos extendidos.

Nota: Flexionando las rodillas y relajando las piernas se reduce la implicación de los isquiotibiales y aumenta el estiramiento de la porción inferior de la espalda.

MÚSCULO EJERCITADO

Erector de la columna



Estiramiento de la porción inferior de la espalda en posición sedente.

Caderas

14.10 TIJERA HACIA DELANTE (LUCHADOR DE ESGRIMA)

1. De pie, damos un paso largo hacia delante con la pierna derecha y flexionamos la rodilla derecha hasta que esté directamente sobre el pie derecho (como en el ejercicio de tijera con pesas libres).
2. Mantenemos el pie derecho apoyado en el suelo.
3. Mantenemos la pierna retrasada extendida.
4. Mantenemos el pie retrasado apuntando en la misma dirección que el pie adelantado; no es necesario que el talón esté apoyado en el suelo.
5. Mantenemos el torso erguido y descansamos las manos sobre las caderas o sobre la pierna adelantada.
6. Lentamente bajamos las caderas hacia delante.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Iliopsoas, recto femoral



Estiramiento de los músculos flexores de cadera.

14.11 FLEXIÓN DE RODILLA EN DECÚBITO SUPINO

1. Nos tumbamos sobre la espalda con las piernas extendidas.
2. Flexionamos la rodilla y cadera derechas aproximando el muslo al pecho.
3. Situamos las manos detrás del muslo y seguimos tirando de él hacia el pecho.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Extensores de cadera (glúteo mayor e isquiotibiales)



Estiramiento de los músculos glúteos e isquiotibiales.

Torso

14.12 LATEROFLEXIÓN CON LOS BRAZOS EXTENDIDOS

1. En bipedestación con los pies separados la anchura de los hombros.
2. Entrelazamos los dedos con las palmas alejadas del torso y mirando hacia fuera.
3. Extendemos el torso hacia arriba con los brazos rectos.
4. Manteniendo rectos los brazos, inclinamos el torso hacia el lado izquierdo doblando la cintura. En ningún momento se flexionan las rodillas.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Oblicuo externo del abdomen, dorsal ancho, serrato anterior



Estiramiento de los costados y la porción superior de la espalda.

14.13 LATEROFLEXIÓN CON BRAZO FLEXIONADO

1. En bipedestación con los pies separados la anchura de los hombros.
2. Flexionamos el codo derecho y lo elevamos por encima del hombro izquierdo.
3. Extendemos la mano derecha hacia abajo en dirección al hombro izquierdo.
4. Asimos el codo derecho con la mano izquierda.
5. Tiramos del codo por detrás de la cabeza.
6. Manteniendo el brazo flexionado, nos inclinamos hacia la izquierda por la cintura.
7. No se flexionan las rodillas.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Oblicuo externo, dorsal ancho, serrato anterior, tríceps braquial



Estiramiento de los costados, el tríceps y la porción superior de la espalda.

Cara anterior del muslo y flexores de cadera

14.14 ESTIRAMIENTO LATERAL DEL CUÁDRICEPS

1. Nos tumbamos en decúbito lateral izquierdo con ambas piernas extendidas.
2. Colocamos el antebrazo izquierdo plano en el suelo y el brazo perpendicular al suelo.
3. El antebrazo izquierdo adopta un ángulo de 45° respecto al torso.
4. Flexionamos la pierna derecha, con el talón del pie derecho

desplazándose hacia las nalgas.
5. Asimos la cara anterior del tobillo con la mano derecha y tiramos hacia las nalgas.

Nota: El estiramiento ocurre como resultado de la flexión de la rodilla y la extensión de la cadera.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Cuádriceps, iliopsoas



Estiramiento de cuádriceps.

Cara posterior del muslo

14.15 TOCARSE LAS PUNTAS DE LOS PIES EN SEDESTACIÓN

1. Nos sentamos con el torso casi vertical y las piernas rectas.
2. Nos inclinamos hacia delante mediante flexión de las caderas y asimos con las manos los dedos de los pies. Tiramos ligeramente de los dedos hacia el torso mientras que también se tira del pecho hacia las piernas. Si la flexibilidad es limitada, probemos a asir los tobillos.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Isquiotibiales, erector de la columna, gastrocnemio



Estiramiento de los isquiotibiales y la porción inferior de la espalda.

14.16 ESTIRAMIENTO DEL VALLISTA (EL CUATRO)

1. No sentamos con el torso casi vertical y las piernas rectas.
2. Apoyamos la planta del pie derecho en la cara interna de la rodilla izquierda. El lado externo de la pierna derecha debe descansar en el suelo.
3. Inclinamos el torso hacia delante mediante flexión de las caderas y asimos con la mano izquierda los dedos del pie izquierdo. Tiramos ligeramente de los dedos hacia el torso mientras también se tira del pecho hacia la pierna izquierda.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Gastrocnemio, isquiotibiales, erector de la columna



Estiramiento de los isquiotibiales y la porción inferior de la espalda.

Ingle

14.17 ESTIRAMIENTO DE ADUCTORES CON LAS PIERNAS ABIERTAS

1. No sentamos con el torso casi vertical y las piernas rectas. Se mueven las caderas en abducción, extendiendo las piernas cuanto sea posible.
2. Asimos con las manos los dedos del pie izquierdo y tiramos ligeramente de ellos a la vez que tiramos del pecho hacia la pierna izquierda.
3. Repetimos el ejercicio hacia el centro asiendo los dedos del pie derecho con la mano derecha y los dedos del pie izquierdo con la mano izquierda. Tiraremos del torso hacia delante y hacia el suelo.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Gastrocnemio, isquiotibiales, erector de la columna, aductores de cadera, sartorio



Estiramiento de los isquiotibiales y los aductores de cadera.



Estiramiento de los isquiotibiales, los aductores de cadera y la porción inferior de la espalda.

14.18 LA FLOR DE LOTO

1. Nos sentamos con el torso casi vertical y las piernas rectas. Flexionamos ambas rodillas aproximando y juntando las plantas de los pies.
2. Tiramos de los pies aproximándolos hacia el cuerpo.
3. Ponemos las manos en los pies y apoyamos los codos en las piernas.
4. Tiramos del torso ligeramente hacia delante mientras que los codos empujan las piernas hacia abajo causando abducción de la cadera.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Aductores de cadera, sartorio



Estiramiento de los músculos aductores de cadera.

Pantorrillas

14.19 ESTIRAMIENTO CONTRA LA PARED

1. Nos situamos de pie delante de una pared con los pies separados la anchura de los hombros y los pies a 0,6 metros de la pared.
2. Nos inclinamos hacia delante apoyando las manos en la pared.
3. Damos un paso atrás de aproximadamente 0,6 metros dejando la pierna extendida mientras flexionamos la rodilla de la pierna adelantada.
4. Extendemos la rodilla de la pierna estirada y bajamos el talón al suelo para aplicar el estiramiento.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Gastrocnemio, sóleo, tendón de Aquiles



Estiramiento de las pantorrillas.

14.20 ESTIRAMIENTO EN UN ESCALÓN

1. Apoyamos la punta de un pie en el borde de un escalón o un cajón de 8-10 centímetros de altura, con el otro pie totalmente apoyado en el escalón.
2. Con las piernas extendidas, bajamos cuanto sea posible el talón del pie apoyado en el borde del escalón.
3. Repetimos la acción con la otra pierna.

Nota: Para estirar el tendón de Aquiles, completaremos el mismo estiramiento con 10° de flexión de la rodilla.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Gastrocnemio, sóleo, tendón de Aquiles



Estiramiento de la pantorrilla de pie sobre un escalón.

Técnicas de estiramiento dinámico

14.21 Balanceo lateral de los brazos
14.22 El agrimensor
14.23 Tijeras con las manos en la nuca
14.24 Tijeras con extensión lateral de un brazo por encima de la cabeza
14.25 Elevación de rodillas en deambulación
14.26 Tijeras hacia delante con extensión hasta tocar el empeine con el codo
14.27 Marcha punta-talón

14.28 Marcha lateral por encima y debajo de una valla
14.29 Estiramiento de isquiotibiales invertido
14.30 Paso de la oca
14.31 Gateo de Spiderman

Pautas para los estiramientos dinámicos

- Se realizan de 5 a 10 repeticiones de cada movimiento, sin moverse del sitio o a lo largo de una distancia dada.
- Siempre que sea posible, aumentaremos progresivamente el grado de movilidad en cada repetición.
- Siempre que sea apropiado, aumentaremos la velocidad de movimiento en las series siguientes, pero siempre conservando el control del movimiento.
- Controlaremos activamente las acciones musculares mientras se completa todo el movimiento articular.
- Cuando sea apropiado, intentaremos reproducir los movimientos requeridos en la práctica deportiva.

Precauciones para los estiramientos dinámicos

- Desplazaremos progresivamente la articulación o articulaciones en todo su grado articular.
- Nos moveremos deliberadamente durante el movimiento sin hacer rebotes (el movimiento se debe controlar en todo momento).
- No comprometeremos una buena técnica por alcanzar unos grados adicionales de movilidad.

14.21 BALANCEO LATERAL DE LOS BRAZOS

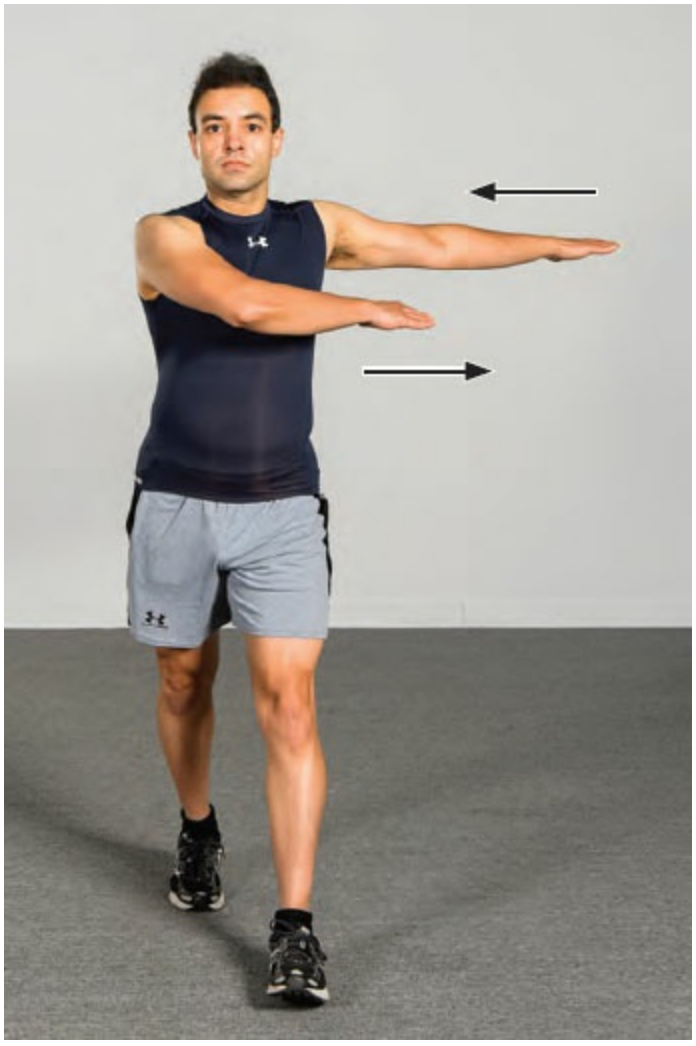
1. En bipedestación y erguidos, elevamos los brazos delante del cuerpo hasta que queden paralelos al suelo.
2. Mientras caminamos la distancia prescrita, se balancean los brazos al unísono hacia la derecha de modo que el brazo izquierdo cruce el pecho por delante, con los dedos de la mano izquierda apuntando directamente

laterales al hombro izquierdo, y el brazo derecho queda detrás del cuerpo.

3. Invertimos inmediatamente la dirección del movimiento de balanceo de los brazos al unísono hacia la izquierda.
4. El movimiento solo se produce en las articulaciones del hombro (es decir, se mantiene el torso y la cabeza mirando hacia delante).
5. Alternamos el balanceo de los brazos al unísono a derecha e izquierda.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Dorsal ancho, redondo mayor, porciones anterior y posterior del deltoides, pectoral mayor



14.22 EL AGRIMENSOR

1. En bipedestación y erguidos, separamos los pies la anchura de los

hombros.

2. Mientras flexionamos ligeramente las rodillas, flexionamos el torso hacia delante por la cintura y apoyamos las manos en el suelo separadas la anchura de los hombros.
3. El peso del cuerpo se debe desplazar hacia atrás (es decir, no directamente sobre las manos), con las nalgas elevadas y en el aire: imaginemos que adoptamos una V invertida con el cuerpo.
4. Desplazamos las manos alternativamente hacia delante como si diéramos pasos cortos con las manos, hasta que el cuerpo asuma la posición propia de las flexiones de brazos.
5. Aproximamos las piernas hacia las manos dando pasitos cortos mientras mantenemos las rodillas ligeramente flexionadas.
6. Repetimos el movimiento hasta recorrer la distancia prescrita.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Erector de la columna, gastrocnemio, glúteo mayor, isquiotibiales, sóleo, tibial anterior



14.23 TIJERAS CON LAS MANOS EN LA NUCA

1. En bipedestación y erguidos, mantenemos los pies paralelos entre sí y separados la anchura de los hombros.
2. Damos un paso exagerado hacia delante con la pierna izquierda, plantando el pie izquierdo plano en el suelo apuntando directamente adelante.
3. Permitimos que la cadera y la rodilla izquierda se flexionen lentamente, manteniendo la rodilla izquierda directamente sobre el pie izquierdo.
4. Flexionamos ligeramente la rodilla derecha que desciende hasta quedar 3-5 cm por encima del suelo; el pie derecho debería apuntar directamente hacia delante.

5. Equilibramos el peso por igual entre la punta del pie derecho y todo el pie izquierdo.
6. Mantenemos el torso perpendicular al suelo «aferrándose» a la pierna izquierda.
7. Hacemos un despegue forzado del suelo extendiendo la cadera y la rodilla izquierdas.
8. Levantamos el pie derecho y lo plantamos junto al pie izquierdo; no daremos ningún paso vacilante hacia delante.
9. Nos ponemos de pie y erguidos, hacemos una pausa y damos un paso adelante con la pierna derecha, avanzando a cada paso.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Glúteo mayor, isquiotibiales, iliopsoas, cuádriceps



14.24 TIJERAS CON EXTENSIÓN LATERAL DE UN BRAZO POR ENCIMA DE LA CABEZA

1. En bipedestación y erguidos, con los pies paralelos entre sí y separados la anchura de los hombros.
2. Damos un paso exagerado hacia delante con la pierna izquierda,

plantando el pie izquierdo plano en el suelo apuntando directamente adelante.

3. Permitimos que la cadera y la rodilla izquierdas se flexionen lentamente, manteniendo la rodilla izquierda directamente sobre el pie izquierdo.
4. Flexionamos ligeramente la rodilla derecha que desciende hasta quedar 3-5 cm por encima del suelo; el pie derecho debería apuntar directamente hacia delante.
5. Extendemos el brazo derecho hacia arriba y flexionamos el toso lateralmente hacia la pierna izquierda.
6. Volvemos a la posición con el torso erguido y a continuación hacemos un despegue forzado del suelo extendiendo la cadera y la rodilla izquierdas.
7. Levantamos el pie derecho y lo plantamos junto al pie izquierdo; no daremos ningún paso vacilante hacia delante.
8. Nos ponemos de pie y erguidos, hacemos una pausa y damos un paso adelante con la pierna derecha, avanzando a cada paso.



MÚSCULOS EJERCITADOS

Glúteo mayor, isquiotibiales, iliopsoas, dorsal ancho, oblicuos internos y externos del abdomen, recto femoral

14.25 ELEVACIÓN DE RODILLAS EN DEAMBULACIÓN

1. En bipedestación y erguidos, con los pies paralelos entre sí y separados la anchura de los hombros.
2. Damos un paso adelante con la pierna izquierda y flexionamos la cadera y la rodilla derechas para elevar el muslo derecho hacia el pecho.
3. Asimos la rodilla por delante o la porción superior de la espinilla y utilizamos los brazos para tirar más de la rodilla derecha hacia arriba y para apretar el muslo contra el pecho.
4. Procedemos a la flexión dorsal del pie izquierdo mientras se flexionan la cadera y la rodilla derechas.

5. Manteniendo el torso erguido, hacemos una pausa momentánea, y luego bajamos la pierna derecha dando un paso.
6. Apoyamos el peso del cuerpo sobre la pierna derecha y repetimos el movimiento con la pierna izquierda.
7. Avanzamos a cada paso aumentado el grado de movilidad y la velocidad en los pasos siguientes.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Glúteo mayor, isquiotibiales



14.26 TIJERAS HACIA DELANTE CON EXTENSIÓN HASTA TOCAR EL EMPEINE CON EL CODO

1. En bipedestación y erguidos, con los pies paralelos entre sí y separados la anchura de los hombros.

2. Damos un paso hacia delante con la pierna izquierda, plantando el pie izquierdo plano en el suelo apuntando directamente adelante.
3. Permitimos que la cadera y la rodilla izquierdas se flexionen lentamente, manteniendo la rodilla izquierda directamente sobre el pie izquierdo.
4. Flexionamos ligeramente la rodilla derecha, que desciende hasta quedar 3-5 cm por encima del suelo; el pie derecho debe apuntar directamente hacia delante.
5. Nos inclinamos hacia delante, llevando el pie izquierdo adelante y tocando con el codo izquierdo el empeine del pie izquierdo; se puede apoyar la mano derecha en el suelo para conservar el equilibrio.
6. Nos inclinamos hacia atrás para volver a la postura con el torso erguido, y a continuación hacemos un despegue forzado del suelo extendiendo la cadera y la rodilla izquierdas.
7. Levantamos el pie derecho y lo plantamos junto al pie izquierdo; no daremos ningún paso vacilante hacia delante.
8. Nos ponemos de pie y erguidos, hacemos una pausa y damos un paso adelante con la pierna derecha, avanzando a cada paso.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Bíceps femoral, erector de la columna, gastrocnemio, glúteo mayor, isquiotibiales, iliopsoas, dorsal ancho, oblicuos internos y externos del abdomen, cuádriceps, recto femoral



14.27 MARCHA PUNTA-TALÓN

1. En bipedestación y erguidos, con los pies paralelos entre sí y separados la anchura de los hombros.
2. Damos un pequeño paso adelante con la pierna derecha; apoyamos primero el talón del pie derecho y luego continuamos la flexión dorsal del pie.
3. Rodamos inmediatamente hacia delante y nos alzamos cuanto podamos sobre la punta del pie derecho.
4. Balanceamos la pierna izquierda hacia delante para dar otro pasito.
5. Repetimos con la pierna izquierda, avanzando hacia delante a cada paso.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Gastrocnemio, sóleo, tibial anterior





14.28 MARCHA LATERAL POR ENCIMA Y DEBAJO DE UNA VALLA

1. En bipedestación con los pies paralelos entre sí y separados la anchura de los hombros.
2. Flexionamos la cadera y la rodilla izquierdas y luego movemos el muslo izquierdo en abducción hasta quedar paralelo al suelo.
3. Damos un paso lateral a la izquierda, superando por encima la primera valla.
4. Apoyamos el pie izquierdo con firmeza en el suelo, cargando el peso del cuerpo sobre la pierna izquierda, y luego levantamos la pierna derecha sobre la primera valla.
5. Después de levantar la pierna derecha por encima de la valla y apoyar el pie derecho en el suelo, nos erguimos bien, hacemos una pausa y flexionamos las caderas y las rodillas, y moveremos los tobillos en

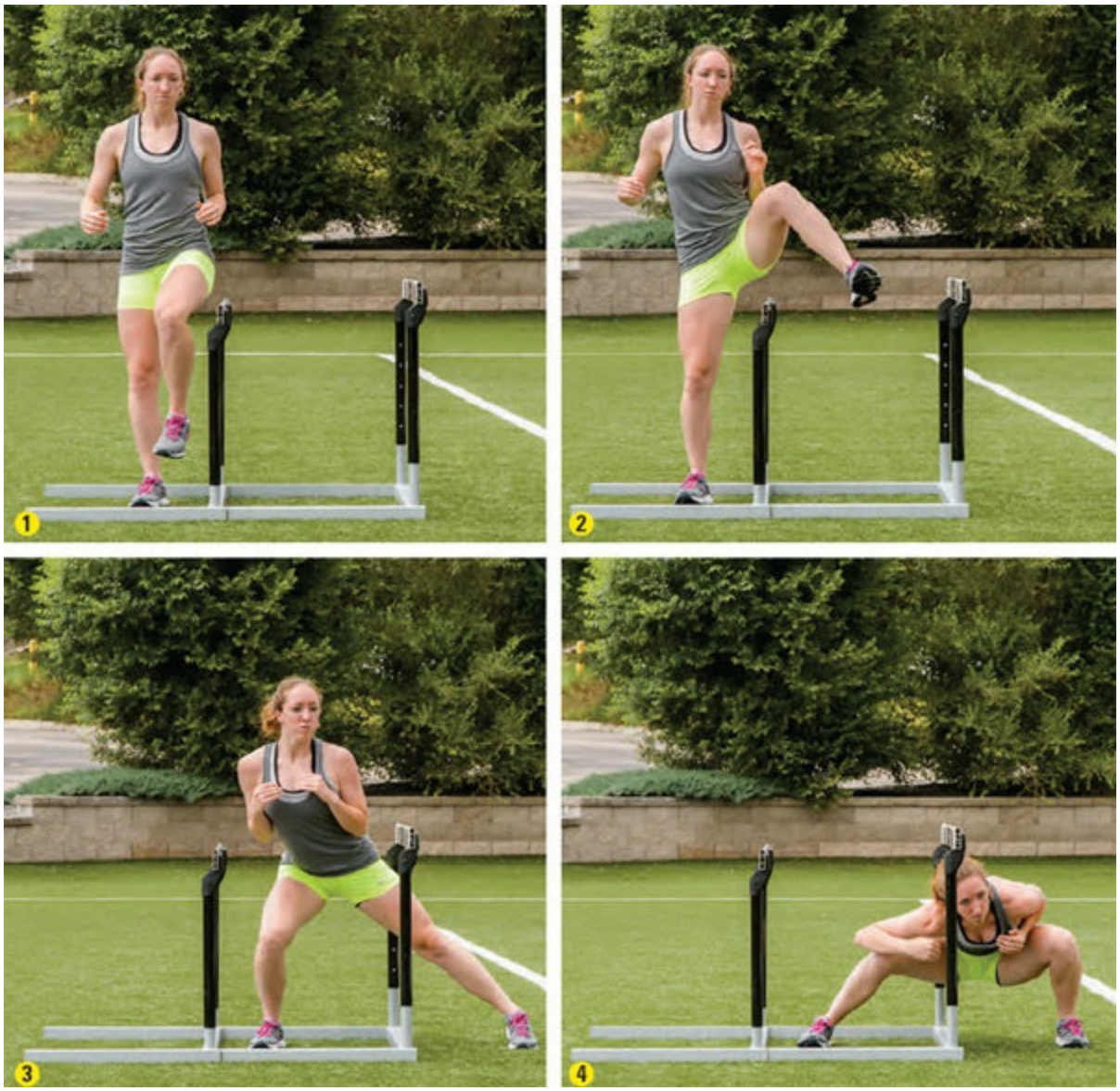
flexión dorsal hasta adoptar una sentadilla completa.

6. Extendemos la pierna izquierda lateralmente, como si practicáramos una tijera lateral.
7. Manteniendo el peso del cuerpo abajo, desplazamos el cuerpo lateralmente, salvando por debajo la segunda valla.
8. Nos ponemos de pie erguidos, hacemos una pausa y repetimos el movimiento en dirección opuesta, agachándonos para salvar la segunda valla y superando por encima la primera.

Nota: Si no disponemos de vallas, los atletas pueden practicar el ejercicio imitando el movimiento de intentar superar por arriba una valla dando un paso alto lateral y luego agacharse para salvar por abajo otra valla.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Abductores de cadera, aductores de cadera, gastrocnemio, glúteo mayor, isquiotibiales, iliopsoas, recto femoral, sóleo



14.29 ESTIRAMIENTO DE ISQUIOTIBIALES INVERTIDO

1. En bipedestación y erguidos, damos un pasito adelante con la pierna izquierda.
2. Flexionamos el cuerpo por la cintura.
3. Extendemos el brazo izquierdo hacia delante mientras simultáneamente extendemos la pierna derecha hacia atrás.
4. Intentamos mantener las caderas a la misma altura.
5. Alcanzamos una posición en la que sintamos un estiramiento en los isquiotibiales, pero el objetivo final es lograr una postura en que el cuerpo se mantenga paralelo al suelo.

6. Extendemos la mano derecha hacia abajo hasta el suelo.
7. Volvemos a la posición inicial usando activamente los isquiotibiales y los glúteos de la pierna apoyada.
8. Repetimos dando un paso adelante con la pierna contralateral.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Glúteo mayor, isquiotibiales, abductores de cadera, aductores de cadera, erector de la columna

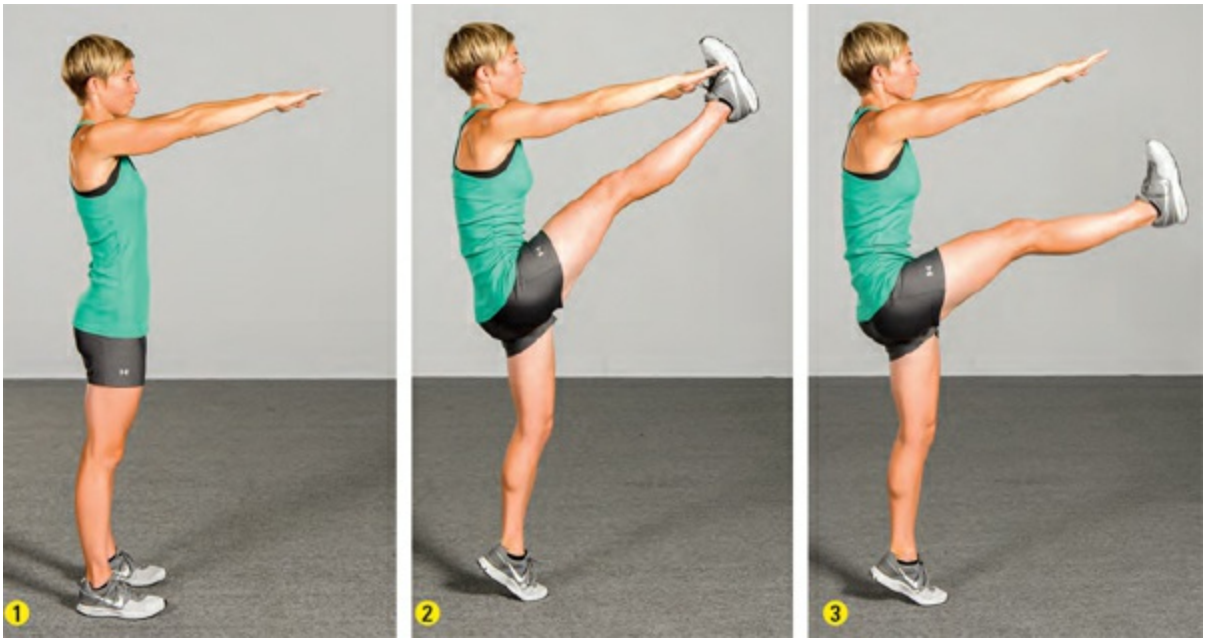


14.30 PASO DE LA OCA

1. Asumimos una postura erguida en bipedestación con ambos brazos extendidos hacia delante a la altura del pecho.
2. Nos ponemos de puntillas sobre la pierna izquierda y simultáneamente, usando la pierna recta, elevamos la pierna derecha tratando de alcanzar de forma activa el arco de movilidad articular más amplio posible.
3. Una vez alcanzado el punto de mayor altura, tiramos activamente de la pierna de vuelta a la posición inicial.
4. Mantenemos en todo momento la postura erguida del cuerpo.
5. Repetimos alternando las piernas mientras avanzamos hacia delante.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Glúteo mayor, isquiotibiales, iliopsoas, recto femoral



14.31 GATEO DE SPIDERMAN

1. Asumimos la postura para flexiones de brazos con los codos flexionados de modo que la postura sea más baja de lo normal.
2. Elevamos y giramos la pierna izquierda en rotación externa llevando la rodilla hacia delante en un ángulo que la sitúe por fuera del codo izquierdo.
3. Caminamos con las manos hacia delante y cruzándose por delante del

cuerpo.

4. Al mismo tiempo, llevamos la pierna derecha hacia delante por fuera de la mano derecha y repetimos a lo largo de la distancia dada.
5. Repetimos, alternando los lados, hasta recorrer la distancia requerida.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Bíceps femoral, erector de la columna, gastrocnemio, glúteo mayor, isquiotibiales, iliopsoas, dorsal ancho, oblicuos internos y externos del abdomen, cuádriceps, recto femoral, sóleo



TÉRMINOS CLAVE

articulación
- elipsoidea
- esferoidea
- troclear

calentamiento
- específico
- general

contracción agonista
contracción-relajación
ejercicios de movilidad
elasticidad estiramiento
- activo
- balístico
- dinámico
- estático
- pasivo

facilitación neuromuscular
- propioceptiva (FNP)

fibrosis
flexibilidad

dinámica
estática
grado de movilidad (ROM)
husos musculares
inhibición
autógena
recíproca
mecanorreceptor
órgano tendinoso de Golgi (OTG)
plasticidad
potenciación
protocolo consistente en «aumentar, activar, movilizar y potenciar» (RAMP)
reflejo de estiramiento
sustentación-relajación
con contracción agonista
general
contracción agonista
contracción-relajación
ejercicios de movilidad
elasticidad estiramiento
activo
balístico
dinámico
estático
pasivo
facilitación neuromuscular
propioceptiva (FNP)
fibrosis
flexibilidad
dinámica
estática
grado de movilidad (ROM)
husos musculares
inhibición
autógena
recíproca
mecanorreceptor

órgano tendinoso de Golgi (OTG)
plasticidad
potenciación
protocolo consistente en «aumentar, activar, movilizar y potenciar» (RAMP)
reflejo de estiramiento
sustentación-relajación

PREGUNTAS DE REPASO

(respuestas en la página 657)

1. ¿Cuál de los siguientes es un efecto del calentamiento no asociado con la temperatura?
   a. Mejora de la función neuronal.
   b. Disrupción de las uniones transitorias del tejido conjuntivo.
   c. Elevación del consumo basal del oxígeno.
   d. Aumento de la temperatura muscular.

2. Cuando se estimulan durante un estiramiento de la FNP, los órganos tendinosos de Golgi permiten la relajación del:
   a. Músculo estirado mediante la contracción del músculo recíproco.
   b. Músculo recíproco mediante la contracción del músculo estirado.
   c. Músculo recíproco mediante su propia contracción.
   d. Músculo estirado mediante su propia contracción.

3. ¿Cuál de las siguientes técnicas de estiramiento reduce la estimulación de los husos musculares?
   a. Dinámico.
   b. Balístico.
   c. Estático.
   d. Pasivo.

4. La estimulación de los husos musculares induce una:
   a. Relajación de los OTG.
   b. Relajación del músculo estirado.
   c. Contracción del músculo estirado.
   d. Contracción del músculo recíproco.

5. Después de practicar la técnica de sustentación-relajación con el

estiramiento de la FNP con contracción agonista, ¿cuál de las siguientes acciones explica el aumento resultante de la flexibilidad?

I. Inhibición autógena.
II. Inhibición del estiramiento.
III. Inhibición recíproca.
IV. Inhibición del reflejo extensor cruzado.

a. Solo I y III.
b. Solo II y IV.
c. Solo I, II y III.
d. Solo II, III y IV.

CAPÍTULO 15

Técnica de los ejercicios de entrenamiento con pesas libres y con máquinas de pesas

Scott Caulfield y Douglas Berninger*

A la conclusión del capítulo, el lector:

- Entenderá las técnicas generales para la correcta ejecución de los ejercicios del entrenamiento resistido.
- Será capaz de aportar pautas sobre la respiración.
- Determinará si es apropiado llevar un cinturón de halterofilia.
- Hará recomendaciones para vigilar a las personas durante los ejercicios con pesas libres.
- Enseñará técnicas correctas de vigilancia y para los ejercicios resistidos.

* Los autores agradecen la significativa aportación de Roger W. Earle y Thomas R. Baechle en la redacción de este capítulo.

Este capítulo sienta las bases y proporciona estrategias para practicar y enseñar técnicas seguras y eficaces para levantar pesas y vigilar a los atletas que las levantan. El núcleo de un entrenamiento resistido seguro y eficaz consiste en una ejecución correcta de los ejercicios. Cuando los ejercicios se practican y vigilan correctamente, se favorece que haya resultados sin lesiones y con un aprovechamiento óptimo del tiempo.

La primera mitad de este capítulo resume las técnicas fundamentales relacionadas con la correcta ejecución y vigilancia de los ejercicios, y el uso de cinturones de halterofilia durante los levantamientos de pesas. La última sección proporciona listas de verificación y fotografías que describen las técnicas correctas de entrenamiento y de vigilancia del entrenamiento con

ejercicios resistidos. Se asume que el lector está familiarizado con estos ejercicios. Por tanto, las técnicas se exponen en forma de pautas muy simples que representan el método más habitualmente aceptado para practicar los ejercicios. No se ha intentado describir todas las variaciones de la correcta ejecución y vigilancia de los ejercicios incluidos en este capítulo.

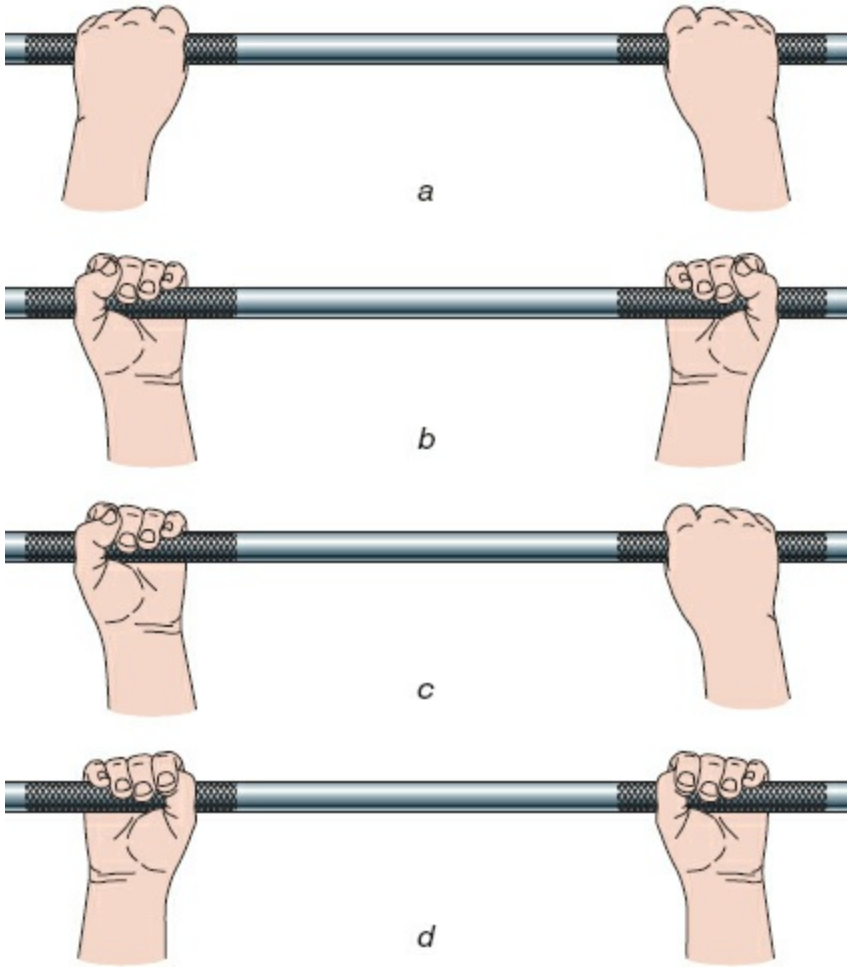


FIGURA 15.1 Empuñaduras para la haltera: (*a*) en pronación, (*b*) en supinación, (*c*) alterna y (*d*) en garfio (vista posterior).

Fundamentos técnicos de los ejercicios

Hay varios aspectos comunes en las técnicas de entrenamiento con ejercicios resistidos. La mayoría de los ejercicios en máquinas y con pesas libres presentan cierto tipo de empuñaduras para la barra, las mancuernas o las asas, y absolutamente todos los ejercicios requieren una colocación óptima del cuerpo y las extremidades, un límite y velocidad adecuados para los

movimientos y un método de respiración apropiado. Adicionalmente, algunos ejercicios tal vez exijan el uso de un cinturón de halterofilia y ciertos procedimientos para levantar una haltera del suelo.

Empuñaduras

Dos empuñaduras habituales se utilizan en los ejercicios de entrenamiento resistido: (*a*) la **empuñadura en pronación**, con las palmas hacia abajo y los nudillos hacia arriba, también llamada **empuñadura por arriba**, y (*b*) la **empuñadura en supinación**, con las palmas hacia arriba y los nudillos hacia abajo, también llamada **empuñadura por abajo** (figura 5.1). (Una variación de ambas es la **empuñadura neutra**, en la que los nudillos apuntan hacia los lados, como cuando estrechamos la mano de alguien). Dos empuñaduras menos corrientes son la **empuñadura alterna**, donde un mano asume una empuñadura en pronación y la otra una empuñadura en supinación, y la **prensión en garfio**, que es similar a la empuñadura en pronación excepto porque el pulgar se sitúa debajo de los dedos índice y corazón. La prensión en garfio se suele usar para practicar ejercicios que requieren una empuñadura más sólida (ejercicios de potencia, como la arrancada). Obsérvese que el pulgar está rodeando la barra en todas las empuñaduras mostradas; esta colocación se llama **empuñadura cerrada**. Cuando el pulgar no se ciñe alrededor de la barra, la empuñadura se llama **empuñadura falsa** o abierta.

La adquisición de la empuñadura correcta en un ejercicio implica colocar las manos a la distancia correcta entre sí (llamada **anchura de la empuñadura**), desde el centro de la barra (para mantener el equilibrio). Las tres anchuras de la empuñadura (que se muestran en la figura 15.2) son normal, estrecha y ancha. En la mayoría de los ejercicios, las manos se sitúan separadas aproximadamente la anchura de los hombros. La colocación de las manos para todos los ejercicios debe resultar en una barra equilibrada. Los ejercicios de halterofilia y sus variaciones emplean dos tipos de empuñadura: (*a*) la **empuñadura de cargada** y (*b*) la **empuñadura de arrancada**. En ambos casos, las manos asumen una empuñadura cerrada y en pronación. La colocación de las manos en la empuñadura de cargada es un poco más separada que la anchura de los hombros, por fuera de las rodillas. La empuñadura de arrancada es ancha y se determina usando dos tipos de mediciones: el método del puño hasta el hombro contralateral y el método de codo a codo (también llamado el método del espantapájaros). Tanto la

empuñadura de cargada como la de arrancada se suelen usar con una prensión en garfio (mencionada antes) para ayudar al atleta a mantener una empuñadura con más aguante.

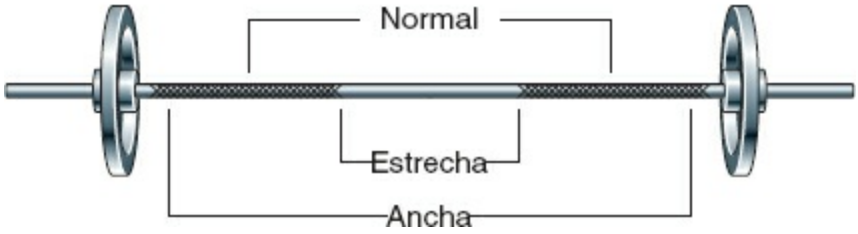


FIGURA 15.2 Anchura de la empuñadura.

Postura estable del cuerpo y de las extremidades

Tanto si un ejercicio exige levantar una haltera como una mancuerna del suelo, o empujar o tirar de un peso mientras uno está dentro o sobre una máquina de pesas, asumir una postura estable es crítico para la seguridad y para una óptima ejecución. Una postura estable permite al atleta mantener una correcta alineación del cuerpo durante los ejercicios, lo que a su vez hace que la tensión y el esfuerzo del ejercicio se concentren en los músculos y articulaciones adecuados.

Los ejercicios practicados en bipedestación suelen requerir que los pies estén un poco más separados que la anchura de las caderas, con toda la planta en contacto con el suelo. Asumir una postura estable en una máquina a veces exige ajustar el asiento o el brazo de resistencia y ceñirse bien los cinturones de seguridad.

Los ejercicios en sedestación o en decúbito **supino** (tumbados boca arriba) practicados en un banco requieren una postura específica. El atleta se debe colocar de modo que adopte una **posición de apoyo en cinco puntos**:

1. La cabeza se apoya con firmeza en el banco o en el respaldo acolchado.
2. Los hombros y la porción superior de la espalda se apoyan con firmeza y por igual en el banco o en el respaldo acolchado.
3. Las nalgas se apoyan de manera uniforme en el banco o el asiento.
4. El pie derecho se apoya por completo en el suelo.
5. El pie izquierdo se apoya por completo en el suelo.

Establecer y mantener esta posición del cuerpo con cinco puntos de apoyo

al inicio y durante todas las fases de movimiento asegura una máxima estabilidad y apoyo de la columna vertebral (2, 9, 10).

Los ejercicios practicados de pie suelen exigir que los pies estén un poco más separados que la anchura de las caderas con los talones y las puntas de los pies en contacto con el suelo. Los ejercicios en sedestación o en decúbito supino practicados en un banco suelen exigir una posición del cuerpo con cinco puntos de contacto.

Las máquinas de pesas basadas en levas, poleas o palancas y que tienen un eje de rotación requieren una colocación específica del cuerpo, brazos y piernas del atleta por razones de seguridad y una óptima ejecución. Para alinear la principal articulación del cuerpo implicada en el ejercicio con el eje de la máquina, tal vez sea necesario mover el asiento, el rodillo para los tobillos o los brazos, o el rodillo para los muslos, el pecho o la espalda. Así, por ejemplo, se ajusta el rodillo para los tobillos (hacia arriba o hacia abajo) y el respaldo acolchado (hacia delante o hacia atrás) para alinear la articulación de la rodilla con el eje de la máquina antes de practicar el ejercicio de extensión de las piernas (rodillas).

Grado de movilidad y velocidad

Cuando se activa todo el **grado de movilidad (ROM)** durante un ejercicio, el valor del ejercicio aumenta y la flexibilidad se mantiene o mejora. Idealmente, el ROM completo de un ejercicio debe reproducir todo el ROM de la articulación o articulaciones implicadas con el fin de que se produzcan las máximas mejoras, aunque a veces esto no es posible (articulación de la rodilla de la pierna retrasada durante una tijera) ni recomendable (uso de las articulaciones intervertebrales durante una sentadilla).

Las repeticiones practicadas de forma lenta y controlada aumentan la posibilidad de que se alcance todo el ROM. Sin embargo, cuando se practican ejercicios de potencia, así como rápidos levantamientos de pesas (p. ej., arrancada de potencia, empuje sobre la cabeza y arrancada), se debe hacer un esfuerzo para acelerar al máximo el movimiento de la barra mientras se mantiene el control y la ejecución correcta durante todo el ejercicio.

Consideraciones sobre la respiración

El movimiento más agotador de una repetición —habitualmente poco

después de la transición entre la fase excéntrica y la fase concéntrica— recibe el nombre de **punto de retención**. Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico deben enseñar a los atletas a espirar *durante* el punto de retención e inhalar durante la fase menos estresante de la repetición (3, 6, 7). Por ejemplo, como el punto de retención del ejercicio de flexión de bíceps ocurre hacia el punto medio de la fase de movimiento ascendente (flexión concéntrica del codo), el atleta debe espirar durante esta porción del ejercicio. La inspiración, por tanto, debe ocurrir mientras la barra desciende de vuelta a la posición inicial. Esta estrategia respiratoria se aplica a la mayoría de ejercicios para el entrenamiento resistido.

Sin embargo, hay algunas situaciones en las que se recomienda aguantar la respiración. En el caso de los atletas con un entrenamiento resistido que practican **ejercicios estructurales** (los que cargan la columna vertebral y, por tanto, le imponen un esfuerzo) con cargas elevadas, la **maniobra de Valsalva** puede ser útil para mantener la correcta alineación y apoyo de la columna vertebral. Como se explicó en el capítulo 2, la maniobra de Valsalva implica espirar contra la hendidura glótica cerrada, lo cual, cuando se combina con la contracción de los músculos del abdomen y de la caja torácica, crea compartimentos rígidos de líquido en la porción inferior del torso y de aire en la porción superior del torso (es decir, la «bola de fluidos»). La ventaja de la maniobra de Valsalva es que aumenta la rigidez de todo el torso al ayudarlo a sostener la columna vertebral, lo que a su vez reduce las fuerzas de compresión asociadas sobre los discos durante los levantamientos (1, 4, 5, 8). También ayuda a establecer y mantener una posición lordótica normal de la columna lumbar (también llamada **columna neutra**) y la posición erguida de la porción superior del torso, descrita en las listas de verificación de la técnica para ciertos ejercicios. Seamos conscientes, sin embargo, de que el incremento resultante de la presión intraabdominal tiene efectos secundarios potencialmente perjudiciales, como mareos, desorientación, hipertensión arterial excesiva y desvanecimientos. Por eso, la fase de aguantar la respiración es —y debe ser— muy corta, solo de 1 a 2 segundos (como máximo). Incluso las personas muy bien entrenadas no deben prolongar esta fase de aguantar la respiración, dado que la tensión arterial llega a triplicar rápidamente los valores en reposo (7).

Los especialistas de la fuerza y acondicionamiento físico implicados en dirigir pruebas de 1 repetición máxima (1RM), como, por ejemplo, la sentadilla, el peso muerto, la prensa oblicua, el *press* de piernas, el *press* de

hombros o la cargada de fuerza, tienen que ser conscientes de las ventajas y desventajas de enseñar a los atletas la maniobra de Valsalva. Aunque es importante que la columna vertebral tenga alguna sujeción interna durante estos movimientos, por razones técnicas y de seguridad, se recomienda que los atletas no prolonguen el período de apnea voluntaria.

En la mayoría de los ejercicios, espiraremos durante el punto de máxima dificultad de la fase concéntrica e inhalaremos durante la fase excéntrica. Los atletas experimentados y bien entrenados tal vez quieran usar la maniobra de Valsalva al practicar ejercicios estructurales para ayudar a sostener y mantener la correcta alineación de la columna vertebral (6).

Cinturones de halterofilia

El empleo de un cinturón de halterofilia quizá ayude a mantener la presión intraabdominal durante los levantamientos (5, 7). Su adecuación depende del tipo de ejercicio practicado y de la carga relativa levantada. Se recomienda llevar un cinturón de halterofilia durante los ejercicios que generen tensión en la región lumbar y durante las series con cargas máximas o casi máximas. Adoptar esta estrategia tal vez reduzca el riesgo de lesiones lumbares cuando se combina con técnicas correctas de levantamiento de pesas y vigilancia. Un inconveniente del uso de cinturones de halterofilia es que llevarlos demasiado reduce las oportunidades de que se ejerciten los músculos abdominales. Por lo demás, no se necesita un cinturón de halterofilia en ejercicios que no generen tensión en la región lumbar (p. ej., flexiones de bíceps, jalones), o en ejercicios que generen tensión en la región lumbar (p. ej., sentadillas trasnuca y peso muerto) pero que utilizan cargas ligeras.

Por lo general, un atleta suele llevar un cinturón de halterofilia para practicar ejercicios que imponen tensión en la región lumbar y durante series que implican cargas máximas o casi máximas. No se necesita un cinturón de halterofilia para los ejercicios que no sometan a tensión la región lumbar o para los que generen tensión en la región lumbar pero que utilizan cargas ligeras.

Vigilancia de ejercicios con pesas libres

Un **ayudante** es alguien que ayuda en la ejecución de un ejercicio con el fin de proteger al deportista de daños o lesiones. Un ayudante sirve también para motivar al atleta y ayudarle a completar **repeticiones forzadas** (igualmente llamadas **repeticiones asistidas por un compañero**), aunque la principal

responsabilidad del ayudante es la seguridad del atleta al que supervisa. El ayudante debe ser consciente de que un desempeño deficiente de esta responsabilidad puede derivar en daños graves, no solo para el deportista al que supervisa, sino también para sí mismo u otras personas que estén próximas. Aunque las acciones asistidas por un compañero son valiosas para que el atleta obtenga beneficios del entrenamiento, la importancia de la seguridad nunca se podrá destacar lo suficiente.

El resto de esta sección aporta información adicional sobre cuándo y cómo supervisar los ejercicios con pesas libres. Esta información sienta las bases que deben aplicar los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico en el marco de los entrenamientos específicos.

Tipos de ejercicios practicados y equipamiento empleado

Los **ejercicios con pesas libres** practicados por encima de la cabeza (p. ej., el *press* de hombros con mancuernas) o con la haltera en la espalda (p. ej., sentadilla trasnuca), o por delante sobre los hombros o las clavículas (p. ej., sentadilla frontal) o por encima de la cara (p. ej., *press* de banca, extensión de tríceps en decúbito supino) plantean un mayor reto al atleta para su correcta ejecución que los ejercicios en los que la haltera o las mancuernas se sostienen o elevan hacia los lados o hacia delante (p. ej., elevaciones laterales de brazos o flexiones de bíceps con haltera, respectivamente) y, por tanto, requieren la presencia de uno o más ayudantes. Los ejercicios por encima de la cabeza, con la barra sobre la espalda o sobre los hombros por delante, o por encima de la cara (sobre todo si se usan mancuernas), también requieren más habilidad por parte del ayudante, ya que son potencialmente más peligrosos para el atleta. La supervisión de ejercicios con mancuernas suele requerir más experiencia que la supervisión de ejercicios con haltera porque hay una pesa adicional de la que estar pendientes. No se deben supervisar los ejercicios de potencia.

Con la excepción de los ejercicios de potencia, los ejercicios con pesas libres practicados con una barra en movimiento por encima de la cabeza, apoyada en la espalda, colocada sobre los hombros por delante, o que se desplaza por delante de la cara, suelen exigir uno o más ayudantes.

Vigilar los ejercicios con la barra por encima de la cabeza, sobre

la espalda o sobre los hombros por delante

Lo ideal para garantizar la seguridad del atleta, de los ayudantes y de otras personas próximas es que los ejercicios por encima de la cabeza y aquellos en que se sostenga una haltera sobre la espalda o sobre los hombros por delante se practiquen dentro de una jaula de potencia con los soportes dispuestos a la altura apropiada. Toda el área para los levantamientos debe estar libre de discos de pesas, barras, seguros y soportes para discos de halteras, con el fin de no chocar ni tropezar con ellos y de que no influyan en el movimiento de la haltera. Los atletas que no estén practicando levantamientos en ese momento deben estar lejos de esa zona. Como las cargas levantadas en estos ejercicios pueden ser considerables, para aportar suficiente impulso, el ayudante o ayudantes tienen que ser tan fuertes o al menos tan altos como el atleta que practica el levantamiento. Los **ejercicios fuera de la jaula** (p. ej., las tijeras hacia delante o la subida de escalones con haltera) con grandes cargas pueden causar lesiones graves. Estos ejercicios solo los ejecutarán atletas diestros y bien entrenados, y bajo la supervisión de profesionales con experiencia.

Vigilar los ejercicios con la barra moviéndose delante de la cara

Durante la vigilancia de **ejercicios con la haltera por delante de la cara** es importante que el ayudante agarre la barra con una empuñadura alterna, por lo general más estrecha que la empuñadura del atleta. Debido a la trayectoria curva de la haltera en algunos ejercicios (p. ej., extensiones de tríceps en decúbito supino, extensiones de hombros con haltera por encima de la cabeza), el ayudante usará una empuñadura alterna para recoger la barra y devolverla al suelo, así como una empuñadura en supinación para supervisar la barra. Así se garantiza que al ayudante no se le caiga la haltera de las manos sobre la cara o cuello del atleta. Como al ayudante se le puede pedir que agarre la haltera o que ayude a levantar cargas de moderadas a grandes (por lo general desde un punto aventajado a más altura), es de vital importancia establecer una base de sustentación sólida y amplia con los pies, así como una postura con la columna vertebral neutra.

Para los ejercicios con mancuernas es importante supervisar las mancuernas lo más de cerca posible o, en unos pocos ejercicios, vigilar la misma mancuerna. Aunque hay quien aboga por vigilar los movimientos de las mancuernas colocando las manos sobre los brazos o codos del atleta

(figura 15.3*a*), esta técnica puede causar daños. Si los codos del atleta «ceden» (se flexionan), el ayudante no estará en posición para evitar que las mancuernas golpeen la cara o pecho del atleta. Situar las manos junto a los antebrazos cerca de las muñecas (figura 15.3*b*) es una técnica más segura. Obsérvese que en algunos ejercicios (p. ej., extensiones de hombros con mancuernas por encima de la cabeza y las extensiones de tríceps con mancuernas por encima de la cabeza), es necesario vigilar las mismas mancuernas con las manos.

No vigilar los ejercicios de potencia

Del mismo modo que se recomienda supervisar todos los tipos de ejercicios antes descritos, no se aconseja en el caso de los ejercicios de potencia. En vez de vigilar estos ejercicios, el profesional de la fuerza y el acondicionamiento físico tiene que enseñar a los atletas a alejarse de la haltera cuando pierdan el control sobre ella. La supervisión de este tipo de ejercicios es demasiado peligrosa para el ayudante y el atleta. Hay que enseñar a los atletas que, cuando pierdan el control de la haltera por delante, la empujen alejándola o simplemente la dejen caer. Deben aprender que, si dejan caer la barra por detrás de la cabeza, tendrán que soltarla y saltar hacia delante. Por estas razones, el área circundante o la plataforma deben estar libres de otros atletas y material deportivo antes de practicar estos ejercicios.



FIGURA 15.3 (*a*) Ubicación incorrecta del ayudante en un ejercicio con mancuernas. (*b*) Ubicación correcta del ayudante.

Número de ayudantes

El número de ayudantes necesarios depende en gran medida de la carga que se levante, de la experiencia y habilidad del atleta y los ayudantes, y de la fuerza física de los ayudantes. Con grandes cargas, aumentan la posibilidad y gravedad de una lesión. Una vez que la carga supera la capacidad del ayudante para proteger perfectamente al atleta (y a sí mismo), tiene que participar un segundo ayudante. No obstante, es preferible un solo ayudante si el atleta puede mantener la carga con facilidad, porque dos o más ayudantes tienen que coordinar sus acciones con las del atleta. A medida que aumenta el número de ayudantes, también lo hace la posibilidad de que haya un error de sincronización o en la técnica.

Comunicación entre atleta y ayudante

La comunicación es responsabilidad del atleta y el ayudante. Antes de iniciar una serie, el atleta debe indicar al ayudante cómo manipulará la barra inicialmente, cuántas repeticiones hará y cuándo estará listo para mover y

situar la haltera en posición. Si los ayudantes no cuentan con esta información, podrían asumir el control de la barra de forma incorrecta, a destiempo y, por consiguiente, interrumpiendo el ejercicio o causando lesiones al atleta.

Ayuda para sacar la haltera

La expresión **sacar la haltera** se refiere al levantamiento de la barra de sus soportes hasta una posición en la que el atleta pueda iniciar el ejercicio. Por lo general, el ayudante ayuda a colocar la haltera o las mancuernas en las manos del atleta mientras este mantiene los codos extendidos, y ayuda a situar la haltera o las mancuernas en la posición inicial correcta. Algunos atletas quieren que el ayudante proceda a sacar la haltera; otros, no. Si se necesita o pide sacar la haltera, el atleta y el ayudante tienen que haber acordado de antemano una señal verbal (p. ej., la orden «arriba», o «te la daré cuando haya contado hasta tres»). Por lo general, el atleta señala que está listo; el ayudante dice: «uno, dos, tres», y al decir «tres» la barra se sitúa en posición. La práctica de sacar la haltera se usa normalmente en el *press* de banca (al levantar la haltera del soporte), en el *press* de hombros (al levantar la haltera del soporte o de los hombros) y en las sentadillas si los soportes están muy bajos y su altura no es regulable. Cuando participan dos ayudantes y el atleta quiere que le saquen la haltera —como en el *press* de banca—, un ayudante ayuda y se desplaza rápidamente hasta el extremo de la barra para vigilar (el otro ayudante ya está en el otro extremo de la barra). El ayudante que ayuda a sacar la haltera debe estar seguro de que el atleta tiene un control completo de la haltera una vez levantada del soporte. Si se emplean dos ayudantes, ambos deben ayudar a que el atleta devuelva la haltera a los soportes al llegar al final del ejercicio.

Pautas para la vigilancia

Ciertos ejercicios que exigen vigilancia (por encima del cuello y la cara, y sobre la espalda) presentan un nivel más alto de dificultad y por eso exigen consideraciones adicionales sobre seguridad. En cualquier ejercicio en que haya riesgo de lesiones, se debe recurrir a la vigilancia.

- La vigilancia es necesaria durante ejercicios exigentes en que participan múltiples articulaciones, se levantan una barra o unas mancuernas por encima de la cabeza y se sostienen sobre la espalda o sobre los hombros por delante o por encima de la cara.

- Los ejercicios por encima de la cabeza y con la haltera apoyada en la espalda o en los hombros por delante tal vez requieran más de un ayudante; cuando haya varios ayudantes, tendrán que aprender cómo y cuándo supervisar el ejercicio.
- Vigilar ejercicios en que la pesa se mueve por encima de la cara requiere que el ayudante agarre el implemento que se levanta o las muñecas del atleta. Los ayudantes deben aprender a asir correctamente el implemento e incluso a ayudar a los atletas a depositar la barra en el soporte o devolver las mancuernas a la posición inicial en caso de que un ejercicio se vuelva demasiado difícil para completarlo solo el atleta con seguridad.
- En los ejercicios de potencia no se usan ayudantes por razones de seguridad para el atleta y el/los ayudante/s, y los atletas tienen que aprender a «fallar» correctamente al aprender estos ejercicios.
- Determinar el número de ayudantes para ciertos ejercicios depende de varios factores, sobre todo la carga usada, porque la posibilidad de una lesión aumenta mucho cuando se usan grandes cargas.
- Tanto los ayudantes como los atletas se deben comunicar correctamente antes de iniciar un ejercicio que requiera aumentar la seguridad. Ambos deben participar en esta comunicación y dejar claro el ejercicio que se va a practicar y cuántas repeticiones. Por tanto, la comunicación en ejercicios que requieren ayuda para sacar el peso es crítica para la seguridad de los mismos.
- Para sacar el peso a veces es necesario un ayudante que asista al atleta a situar los implementos en la posición correcta antes de iniciar el ejercicio, y en ocasiones se requieren varios ayudantes, dependiendo del ejercicio.

Las pautas para la vigilancia de los ejercicios aportadas en este capítulo deben ser una parte fundamental del entrenamiento profesional de la fuerza y el acondicionamiento físico. La seguridad de los atletas en la sala de pesas es la función más importante en la conducción y supervisión adecuadas de los programas de entrenamiento con el propósito de proporcionar el ambiente mejor y más seguro para que el entrenamiento atlético sea un éxito.

Grado y sincronización de los ayudantes

Saber cuánto y cuándo ayudar a un atleta es un aspecto importante de la vigilancia, y requiere que el ayudante tenga experiencia con las técnicas correctas de supervisión. La mayoría de los atletas suelen necesitar suficiente ayuda como para completar con éxito una repetición durante el punto de máxima dificultad (es decir, una acción asistida por un compañero); en otras ocasiones, tal vez el ayudante tenga que asumir el peso de toda la carga. A la primera señal de que no se podrá concluir una repetición, el atleta debe pedir ayuda o señalar rápidamente al ayudante (a veces con un simple sonido o un gruñido), y el ayudante tiene que aportar de inmediato la cantidad de asistencia necesaria. Si el atleta no puede en absoluto colaborar para terminar la repetición, tiene que decirle de inmediato al ayudante «cógela» u otra frase

acordada antes del levantamiento. Con independencia de cuándo o porqué se necesite la asistencia del ayudante, deberá tomar la barra del atleta con rapidez y suavidad —si es posible—, intentando evitar cambios bruscos en la cantidad de carga que sostiene el atleta. Este intentará sujetar la barra hasta que descanse en su soporte o se haya depositado con seguridad en el suelo. De este modo, ayudante y atleta estarán más protegidos ante una posible lesión.

Las pautas para la vigilancia de los ejercicios suministradas en la lista de verificación de la técnica de los ejercicios son apropiadas para el entorno típico de los entrenamientos. Los procedimientos para la vigilancia tal vez varíen cuando se usen cargas excesivamente pesadas —como en los intentos de 1RM—, en los que se suelen necesitar más ayudantes.

Conclusión

Tiene una importancia crítica que el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico proporcione a los atletas una formación correcta sobre la técnica de los ejercicios de entrenamiento resistido, incluyendo los fundamentos respiratorios y el uso de un cinturón de halterofilia. Además, tiene que enseñar a los atletas cuándo y cómo un ayudante debe supervisar los ejercicios. Combinada con una supervisión de calidad y con consejos y retroalimentación continuos, esta atención prestada al correcto aprendizaje se traducirá en un entorno seguro y en un estímulo apropiado y eficaz para el entrenamiento.

EJERCICIOS DEL ENTRENAMIENTO RESISTIDO

ABDOMEN

15.1 Flexiones de abdominales con las rodillas dobladas
15.2 Abdominales cortos
15.3 Abdominales cortos (en máquina)

ESPALDA

15.4 Remo inclinado
15.5 Remo inclinado a una mano con una mancuerna
15.6 Jalones (en máquina)

15.7 Remo sentado (en máquina)
15.8 Remo con polea baja en sedestación (en máquina)

BÍCEPS
15.9 Flexiones de bíceps con haltera
15.10 Flexiones de martillo

PANTORRILLAS
15.11 Elevación de gemelos de pie (en máquina)
15.12 Elevación de gemelos sentado (en máquina)

PECHO
15.13 *Press* de banca con haltera (y variación con mancuernas)
15.14 *Press* de banca inclinada con mancuernas (y variación con mancuernas)
15.15 Aberturas con mancuernas en decúbito supino (y variación en banca inclinada)
15.16 *Press* de pecho vertical (en máquina)
15.17 Pec Deck (en máquina)

ANTEBRAZOS
15.18 Flexiones de muñeca
15.19 Extensiones de muñeca

CADERA Y MUSLOS
15.20 Prensa oblicua (en máquina)
15.21 Sentadilla trasnuca
15.22 Sentadilla frontal
15.23 Tijera hacia delante
15.24 Subida de escalón
15.25 Buenos días
15.26 Peso muerto
15.27 Peso muerto con las piernas rígidas
15.28 Peso muerto rumano
15.29 Extensión de piernas (rodillas) (en máquina)
15.30 Flexión de piernas (rodillas) (en máquina)

HOMBROS
15.31 *Press* de hombros (en máquina)
15.32 *Press* de hombros sentado con haltera (y variación con mancuernas)

15.33 Remo vertical
15.34 Elevaciones laterales de brazos

TRÍCEPS

15.35 Extensiones de tríceps con haltera en decúbito supino
15.36 Tríceps (en máquina)

EJERCICIOS DE POTENCIA

15.37 Extensiones de hombros
15.38 Empuje sobre la cabeza
15.39 Cargada de fuerza (y la variación cargada de fuerza colgante)
15.40 Arrancada de potencia (y la variación arrancada de fuerza colgante)

ABDOMEN

15.1 FLEXIONES DE ABDOMINALES CON LAS RODILLAS DOBLADAS

Postura inicial

- Nos tumbamos en el suelo en decúbito supino sobre una colchoneta.
- Flexionamos las rodillas para aproximar los talones a las nalgas.
- Cruzamos los brazos sobre el pecho o el abdomen.
- Todas las repeticiones empiezan en esta posición.

Fase de movimiento ascendente

- Flexionamos el cuello para aproximar el mentón al pecho.
- Manteniendo neutros e inmóviles los pies, las nalgas y la región lumbar sobre la colchoneta, flexionamos el torso hacia los muslos hasta que la porción superior de la espalda se levante de la colchoneta.

Fase de movimiento descendente

- Bajamos el torso de vuelta a la posición inicial.
- Mantenemos los pies, las nalgas, la región lumbar y los brazos en la misma posición.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Recto del abdomen



Movimientos ascendente y descendente.

15.2 ABDOMINALES CORTOS

Postura inicial

- Nos tumbamos en el suelo en decúbito supino sobre una colchoneta.
- Apoyamos los talones sobre una banca con las caderas y las rodillas flexionadas 90°.
- Cruzamos los brazos sobre el pecho o el abdomen.
- Todas las repeticiones empiezan en esta posición.

Fase de movimiento ascendente

- Flexionamos el cuello para aproximar el mentón al pecho.
- Manteniendo neutros e inmóviles los pies, las nalgas y la región lumbar sobre la colchoneta, flexionamos el torso hacia los muslos hasta que la porción superior de la espalda se levante de la colchoneta.

Fase de movimiento descendente

- Bajamos el torso de vuelta a la posición inicial.
- Mantenemos los pies, las nalgas, la región lumbar y los brazos en la misma posición.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Recto del abdomen



Postura inicial.



Movimientos ascendente y descendente.

15.3 ABDOMINALES CORTOS (EN MÁQUINA)

Postura inicial

- Nos sentamos en la máquina y apoyamos la espalda con firmeza contra el respaldo.
- Apoyamos los pies en el suelo con las piernas detrás de los rodillos acolchados.
- Colocamos las piernas paralelas entre sí.
- Extendemos los brazos hacia atrás y asimos las asas con una empuñadura cerrada y neutra, con el dorso de los brazos ejerciendo presión contra las almohadillas.
- Todas las repeticiones empiezan en esta posición.

Fase de movimiento anterior

- Manteniendo las nalgas en el asiento y las piernas quietas, flexionamos el torso adelante hacia los muslos.

Fase de movimiento posterior

- Extendemos el torso de vuelta a la posición inicial.
- Mantenemos los pies, las nalgas, la región lumbar y los brazos en la misma posición.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Recto del abdomen



Postura inicial.



Movimientos ascendente y descendente.

Espalda

15.4 REMO INCLINADO

Antes de empezar

- Agarramos la barra con empuñadura cerrada en pronación.
- Las manos de la empuñadura están más separadas que la anchura de los hombros.
- Levantamos la barra del suelo igual que se describe para el ejercicio de peso muerto. Usamos una empuñadura en pronación, no una empuñadura alterna.

Postura inicial

- Separamos los pies la anchura de los hombros con las rodillas ligeramente flexionadas.
- Flexionamos el tronco por las caderas de modo que el torso quede casi paralelo con el suelo.
- Adoptamos una postura con la columna neutra.
- Fijamos los ojos un poco delante de los pies.
- Dejamos que la barra cuelgue con los codos completamente extendidos.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Fase de movimiento ascendente

- Tiramos de la barra aproximándola al torso.
- Mantenemos el torso rígido, la espalda neutra y las rodillas ligeramente flexionadas.
- No damos tirones hacia arriba con el torso.
- Tocamos con la barra la porción inferior del pecho o la superior del abdomen.

Fase de movimiento descendente

- Bajamos la barra de vuelta a la posición inicial.
- Mantenemos la columna neutra y las posiciones estáticas del torso y las rodillas.
- Al final de cada serie, flexionamos las caderas y las rodillas para dejar la barra en el suelo, y nos incorporamos.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Dorsal ancho, redondo mayor, fibras medias del trapecio, romboides, cara posterior del deltoides



Postura inicial.



Movimientos ascendente y descendente.

15.5 REMO INCLINADO A UNA MANO CON UNA MANCUERNA

Postura inicial

- Separamos los pies la anchura de los hombros con las rodillas ligeramente flexionadas.
- Flexionamos el tronco por las caderas de modo que el torso quede casi paralelo al suelo.
- Adoptamos una postura con la columna neutra.
- Agarramos la barra con empuñadura cerrada y neutra.
- Plantamos la otra mano en el banco para apoyarnos.
- Dejamos que la barra cuelgue con el codo completamente extendido.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Fase de movimiento ascendente

- Tiramos de la barra aproximándola al torso, manteniendo el codo cerca del cuerpo.
- Mantenemos el torso rígido, la espalda neutra y las rodillas ligeramente flexionadas.
- Tocamos con la mancuerna el costado del torso.

Fase de movimiento descendente

- Bajamos la barra de vuelta a la posición inicial.
- Mantenemos la columna neutra y las posiciones estáticas del torso y las rodillas.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Dorsal ancho, redondo mayor, fibras medias del trapecio, romboides, cara posterior del deltoides



Postura inicial.



Movimientos ascendente y descendente.

15.6 JALONES (EN MÁQUINA)

Postura inicial

- Asimos la barra con una empuñadura cerrada y en pronación.
- Las manos de la empuñadura están más separadas que la anchura de los hombros.
- Nos sentamos en el asiento de cara a la máquina.
- Disponemos los muslos debajo de los rodillos con los pies pegados al suelo. Si fuese necesario, ajustaremos el asiento y los rodillos de los muslos.
- Inclinamos el torso ligeramente hacia atrás.
- Extendemos los codos por completo.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Fase de movimiento descendente

- Tiramos de la barra hacia abajo hasta la porción superior del pecho.
- Mantenemos el torso ligeramente inclinado hacia atrás; no damos ningún

tirón con el torso hacia atrás.
- Tocamos con la barra la clavícula y la porción superior del área del pecho.

Fase de movimiento ascendente

- Dejaremos que los codos se extiendan lentamente de vuelta a la posición inicial.
- Mantenemos el torso en la misma posición.
- Al final de la serie, nos ponemos de pie y devolvemos la barra a su posición en reposo.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Dorsal ancho, redondo mayor, fibras medias del trapecio, romboides, cara posterior del deltoides



Postura inicial.



Movimientos descendente y ascendente.

15.7 REMO SENTADO (EN MÁQUINA)

Postura inicial

- Nos sentamos con los pies totalmente apoyados en los estribos y presionamos el torso contra la almohadilla pectoral.
- Asimos las asas con una empuñadura cerrada, en pronación o neutra. Si fuera necesario, ajustaremos la altura del asiento para situar los brazos aproximadamente paralelos al suelo.
- Permitiremos que los codos se extiendan por completo.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Fase de movimiento hacia atrás

- Tiramos de las asas hacia el pecho o hacia la porción superior del pecho.
- Mantenemos el torso recto y los codos junto al torso.
- Tiramos de las asas cuanto podamos hacia atrás.
- No daremos tirones ni haremos movimientos bruscos con el torso hacia atrás.

Fase de movimiento adelante

- Dejamos que las asas retrocedan hacia delante, de vuelta a la posición inicial.
- Mantenemos el torso en la misma posición.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Dorsal ancho, redondo mayor, fibras medias del trapecio, romboides, cara posterior del deltoides



Postura inicial.



Movimientos hacia atrás y adelante.

15.8 REMO CON POLEA BAJA EN SEDESTACIÓN (EN MÁQUINA)

Postura inicial

- Nos sentamos en el banco (o en el suelo si no disponemos de un asiento acolchado) y apoyamos los pies en los estribos o en las barras de la máquina.
- Asimos las asas con una empuñadura cerrada, en pronación o neutra.
- Nos sentamos con el torso erguido y perpendicular al suelo, con las rodillas ligeramente flexionadas, y los pies y las piernas paralelos entre sí.
- Permitiremos que los codos se extiendan por completo con los brazos aproximadamente paralelos al suelo.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Fase de movimiento hacia atrás

- Tiramos de las asas hacia el abdomen.

- Mantenemos el torso erguido con las rodillas en la misma posición ligeramente flexionada. No damos tirones ni hacemos movimientos bruscos con el torso ni lo inclinamos hacia atrás.
- Seguiremos tirando de las asas hasta que toquen el abdomen.

Fase de movimiento adelante

- Permitiremos que los codos se extiendan lentamente de vuelta a la posición inicial.
- Mantenemos el torso erguido con las rodillas en la misma posición ligeramente flexionada.
- Al final de la serie, flexionamos las rodillas y las caderas para devolver el peso a su posición inicial.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Dorsal ancho, redondo mayor, fibras medias del trapecio, romboides, cara posterior del deltoides



Postura inicial.



Movimientos hacia atrás y adelante.

Bíceps

15.9 FLEXIONES DE BÍCEPS CON HALTERA

Postura inicial

- Agarramos la barra con empuñadura cerrada en supinación.
- Las manos en la empuñadura están separadas la anchura de los hombros, de modo que los brazos toquen los costados del torso.
- Nos mantenemos erguidos con los pies separados la anchura de los hombros y las rodillas ligeramente flexionadas.
- Apoyamos la barra en los muslos con los codos totalmente extendidos.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Fase de movimiento ascendente

- Flexionamos los codos hasta que la barra esté próxima a la cara anterior del deltoides.

- Mantenemos el torso erguido y los brazos quietos.
- No damos tirones con el cuerpo ni balanceamos la barra hacia arriba.

Fase de movimiento descendente

- Bajamos la barra hasta que los codos estén completamente extendidos.
- Mantenemos el torso y las rodillas en la misma posición.
- No haremos rebotes con la haltera sobre los muslos entre repeticiones.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Bíceps braquial, braquial, braquiorradial



Postura inicial.



Movimientos ascendente y descendente.

15.10 FLEXIONES DE MARTILLO

Postura inicial

- Asimos dos mancuernas con empuñadura cerrada y neutra.
- Nos mantenemos de pie, bien erguidos, con los pies separados la anchura de los hombros y las rodillas ligeramente flexionadas.
- Situamos las mancuernas junto a los muslos con los codos totalmente extendidos.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Fase de movimiento ascendente

- Manteniendo la mancuerna con una empuñadura neutra, flexionamos el

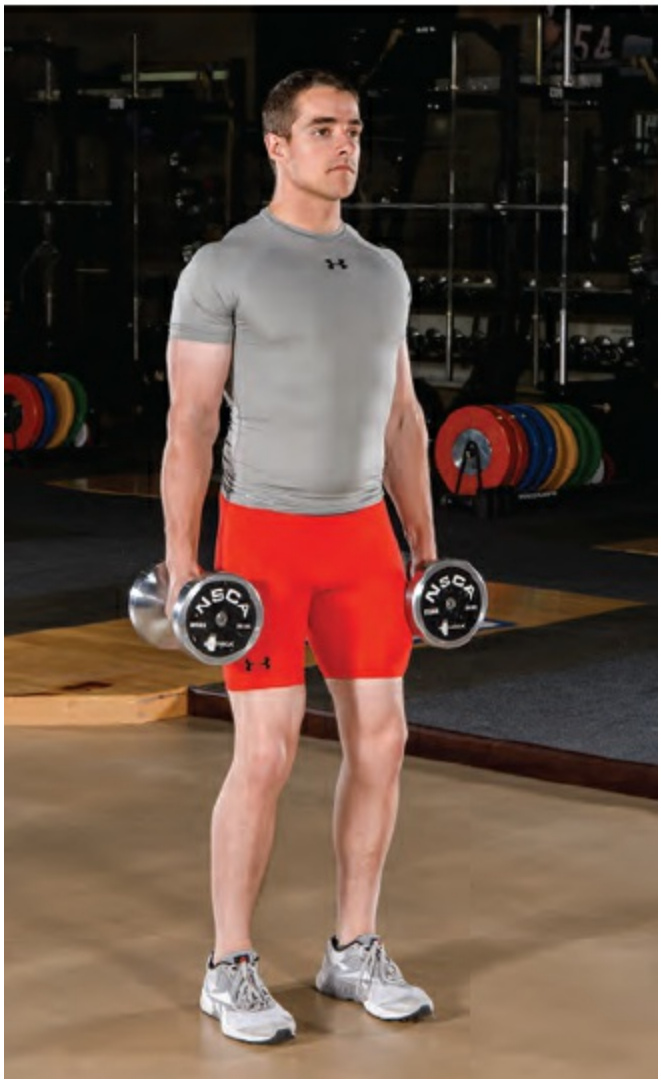
codo de una extremidad superior hasta que la mancuerna esté próxima a la cara anterior del deltoides. La otra extremidad superior se mantiene quieta junto al muslo.
- Mantenemos el torso erguido y el brazo estático.
- No damos tirones con el cuerpo ni balanceamos la mancuerna hacia arriba.

Fase de movimiento descendente

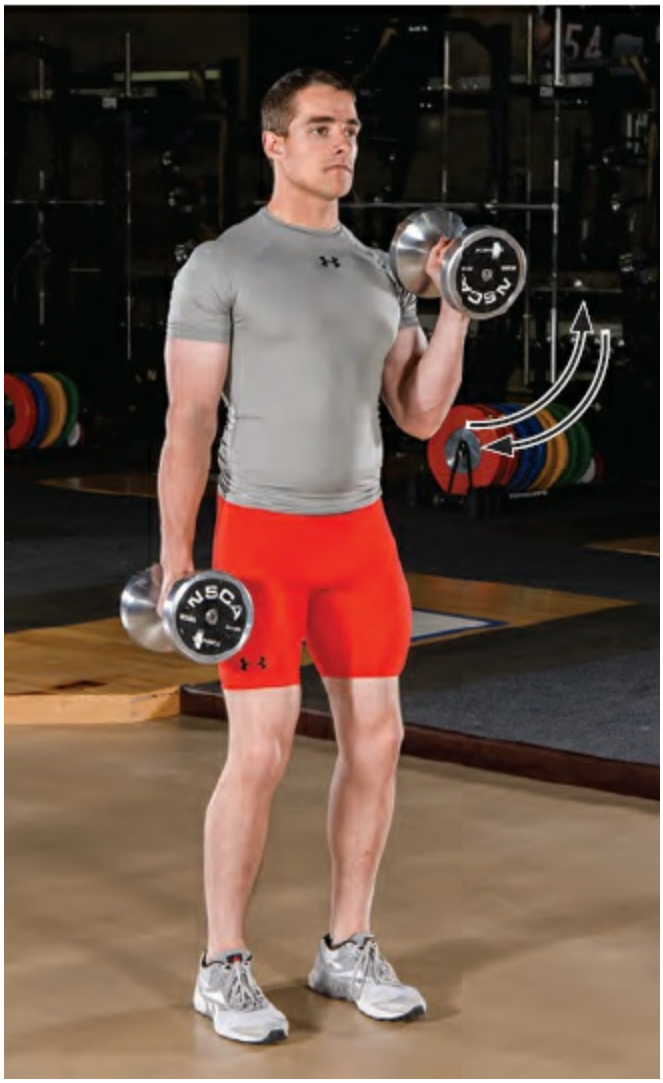
- Bajamos la mancuerna hasta que el codo esté completamente extendido.
- Mantenemos la mancuerna con una empuñadura neutra.
- Mantenemos el torso y las rodillas en la misma posición.
- Repetimos las fases ascendente y descendente del movimiento con la otra extremidad superior (en alternancia).

MÚSCULOS EJERCITADOS

Bíceps braquial, braquial, braquiorradial



Postura inicial.



Movimientos ascendente y descendente.

Pantorrillas

15.11 ELEVACIÓN DE GEMELOS DE PIE (EN MÁQUINA)

Postura inicial

- Colocamos el cuerpo equilibrado debajo de las hombreras.
- Agarramos las asas y apoyamos las puntas de los pies en el borde del escalón, con las piernas y los pies separados la anchura de las caderas y paralelos entre sí.

- Nos mantenemos bien erguidos con las rodillas totalmente extendidas, pero sin forzarlas en hiperextensión.
- Dejamos que los talones desciendan hasta una posición estirada pero cómoda.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Fase de movimiento ascendente

- Manteniendo el torso erguido y las piernas y pies paralelos, nos impulsamos hacia arriba cuanto podamos poniéndonos de puntillas.
- Nos impulsamos sobre el escalón; no movemos los pies en inversión ni eversión.
- Mantenemos las rodillas extendidas pero no hiperextendidas.

Fase de movimiento descendente

- Dejamos que los talones bajen lentamente hasta la posición inicial.
- Mantenemos la misma posición del cuerpo.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Gastrocnemio, sóleo



Postura inicial.



Movimientos ascendente y descendente.

15.12 ELEVACIÓN DE GASTROCNEMIOS SENTADO (EN MÁQUINA)

Postura inicial

- Nos sentamos erguidos en el asiento y apoyamos las puntas de los pies en el borde del escalón, con las piernas y los pies separados la anchura de las caderas y paralelos entre sí.
- Bajamos la almohadilla crural para que ejerza una presión firme contra las rodillas y la cara anterior de la porción inferior de los muslos.
- Procedemos a la flexión plantar de los tobillos para desplazar las sujeciones.
- Dejamos que los talones desciendan hasta una posición estirada pero cómoda.

- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Fase de movimiento ascendente

- Manteniendo el torso erguido y las piernas y pies paralelos, nos impulsamos hacia arriba sobre las puntas de los pies lo más alto posible.
- Nos impulsamos sobre el escalón; no movemos los pies en inversión ni eversión.

Fase de movimiento descendente

- Dejamos que los talones bajen lentamente hasta la posición inicial.
- Mantenemos la misma posición del cuerpo.
- Al final de la serie, volvemos los soportes a la posición inicial y sacamos los pies.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Sóleo, gastrocnemio



Postura inicial.



Movimientos ascendente y descendente.

Pecho

15.13 *PRESS* DE BANCA CON HALTERA (Y VARIACIÓN CON MANCUERNAS)

Este ejercicio también se practica con dos mancuernas, con una empuñadura cerrada y en pronación. Cuando se usan mancuernas, un ayudante asiste observando los antebrazos y las muñecas del atleta en vez de la barra.

Postura inicial: El atleta

- Nos tumbamos en decúbito supino en un banco en la postura de cinco apoyos.
- Apoyamos el cuerpo en el banco de modo que los ojos estén debajo de la haltera en su soporte.

- Asimos la haltera con una empuñadura cerrada en pronación, con las manos separadas un poco más que la anchura de los hombros.
- Pedimos la asistencia del ayudante para levantar la haltera del soporte.
- Situamos la barra encima del pecho con los codos totalmente extendidos.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Postura inicial: El ayudante

- De pie, erguido y muy próximo a la cabecera del banco (pero sin distraer al atleta).
- Los pies están separados la anchura de los hombros y las rodillas ligeramente flexionadas.
- Asimos la barra con una empuñadura cerrada y alterna, por dentro de las manos del atleta.
- A petición del atleta, le ayudamos a levantar la barra del soporte.
- Dirigimos la barra hasta situarla por encima del pecho del atleta.
- Soltamos la barra muy poco a poco.

Fase de movimiento descendente: El atleta

- La barra desciende hasta tocar el pecho aproximadamente a nivel de los pezones.
- Mantenemos las muñecas rígidas y los antebrazos perpendiculares al suelo y paralelos entre sí.
- Se mantiene la posición del cuerpo con cinco puntos de contacto.

Fase de movimiento descendente: El ayudante

- Mantenemos las manos en una posición de empuñadura cerrada cerca de la barra, pero sin llegar a tocarla durante el descenso.
- Flexionamos un poco las rodillas, las caderas y el toso y mantenemos la espalda neutra en el seguimiento de la barra.

Fase de movimiento ascendente: El atleta

- Se empuja y eleva la barra hacia arriba y ligeramente hacia atrás hasta que los codos estén extendidos completamente.
- Se mantienen las muñecas rígidas y los antebrazos perpendiculares al suelo y paralelos entre sí.
- Se mantiene la posición del cuerpo con cinco puntos de contacto.
- No se debe arquear la espalda ni elevar el pecho al encuentro con la barra.

- Al final de la serie, se pide al ayudante que ayude a devolver la barra al soporte.
- Se mantiene la empuñadura sobre la barra hasta que esté segura en el soporte.

Fase de movimiento ascendente: El ayudante

- Mantenemos las manos en una empuñadura alterna, cerca, pero no en contacto, con la barra en su ascenso.
- Se extienden ligeramente las rodillas, las caderas y el torso, y la espalda se mantiene neutra al seguir la barra.
- A una señal del atleta, se ase la barra con una empuñadura alterna por dentro de las manos del atleta.
- Se dirige la haltera de vuelta a su soporte.
- Se mantiene la empuñadura sobre la barra hasta que esté en el soporte.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Pectoral mayor, cara anterior del deltoides, tríceps braquial



Ayuda para sacar el peso.



Posiciones iniciales



Movimientos descendentes.



Movimientos ascendentes.



Retorno de la barra al soporte.

15.14 *PRESS* DE BANCA INCLINADA CON HALTERA (Y VARIACIÓN CON MANCUERNAS) (*continuación*)

Este ejercicio también se practica con una haltera, con una empuñadura cerrada y en pronación, con las manos un poco más separadas que la anchura de los hombros. Cuando se usa una haltera, el ayudante asiste observando la barra en lugar de los antebrazos cerca de las muñecas del atleta.

Postura inicial: El atleta

- Se agarran dos mancuernas con la empuñadura cerrada y en pronación.
- Nos tumbamos en decúbito supino en un banco inclinado en la postura de cinco apoyos.
- Pedimos la asistencia del ayudante para colocar las mancuernas en la posición inicial.

- Practicamos al unísono el *press* con las mancuernas hasta una posición con los brazos paralelos y los codos extendidos por encima de la cabeza y la cara.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Postura inicial: El ayudante

- De pie, erguido y muy próximo a la cabecera del banco (pero sin distraer al atleta).
- Los pies están separados la anchura de los hombros y las rodillas ligeramente flexionadas.
- Asimos los antebrazos del atleta cerca de las muñecas.
- A petición del atleta, le ayudamos a levantar las mancuernas hasta una posición por encima de la cara y la cabeza del atleta.
- Soltamos suavemente los antebrazos del atleta.

Fase de movimiento descendente: El atleta

- Las mancuernas descienden un poco hacia fuera hasta quedar cerca de las axilas y en línea con el tercio superior del pecho (entre las clavículas y los pezones).
- Mantenemos las muñecas rígidas y directamente encima de los codos, con las asas de las mancuernas alineadas entre sí.
- Se mantiene la posición de cuerpo con cinco puntos de contacto.
- No se debe arquear la espalda ni elevar el pecho al encuentro con las mancuernas.

Fase de movimiento descendente: El ayudante

- Se mantienen las manos cerca, pero no en contacto, con los antebrazos del atleta, próximas a las muñecas mientras descienden las mancuernas.
- Se flexionan ligeramente las rodillas, las caderas y el torso, y la espalda se mantiene neutra al seguir las mancuernas.

Fase de movimiento ascendente: El atleta

- Se empujan y elevan las mancuernas hacia arriba al mismo tiempo y ligeramente una hacia la otra hasta que los codos estén completamente extendidos.
- Se mantienen las muñecas rígidas y directamente por encima de los codos, con las asas de las mancuernas alineadas entre sí.
- Se mantiene la posición del cuerpo con cinco puntos de contacto.

Fase de movimiento ascendente: El ayudante

- Se mantienen las manos cerca, pero no en contacto, con los antebrazos del atleta, próximas a las muñecas mientras ascienden las mancuernas.
- Se flexionan ligeramente las rodillas, las caderas y el torso, y la espalda se mantiene neutra al seguir las mancuernas.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Pectoral mayor, cara anterior del deltoides, tríceps braquial



Posiciones iniciales.



Movimientos descendente y ascendente.

15.15 ABERTURAS CON MANCUERNAS EN DECÚBITO SUPINO (Y VARIACIÓN EN BANCA INCLINADA)

Este ejercicio también se practica en un banco inclinado. Si se utiliza esta variación, comenzaremos colocando las mancuernas por encima de la cabeza y de la cara en lugar de por encima del pecho.

Postura inicial: El atleta

- Se agarran dos mancuernas con una empuñadura cerrada y neutra.
- Nos tumbamos en decúbito supino en un banco inclinado en la postura de cinco apoyos.
- Pedimos la asistencia del ayudante para colocar las mancuernas en la posición inicial.
- Practicamos el *press* con las mancuernas al unísono hasta una posición con los codos extendidos por encima del pecho.

- Flexionamos ligeramente los codos para que apunten hacia los lados.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Postura inicial: El ayudante

- Apoyamos una rodilla en el suelo con el pie de la otra pierna totalmente apoyado en el suelo (o nos arrodillamos con las dos piernas).
- Asimos los antebrazos del atleta cerca de las muñecas.
- A petición del atleta, le ayudamos a levantar las mancuernas hasta una posición por encima del pecho.
- Soltamos suavemente los antebrazos del atleta.

Fase de movimiento descendente: El atleta

- Las mancuernas descienden abriendo un arco amplio hasta que estén a nivel de los hombros o el pecho.
- Mantenemos las asas de las mancuernas paralelas entre sí mientras los codos descienden.
- Se mantienen las rodillas rígidas y los codos en una posición ligeramente flexionada.
- Se mantienen las manos, muñecas, antebrazos, codos, brazos y hombros en el mismo plano vertical.
- Se mantiene la posición del cuerpo con cinco puntos de contacto.

Fase de movimiento descendente: El ayudante

- Se mantienen las manos cerca, pero no en contacto, con los antebrazos del atleta, próximas a las muñecas, mientras descienden las mancuernas.

Fase de movimiento ascendente: El atleta

- Se elevan las mancuernas acercándose una a la otra en un amplio arco de vuelta a la posición inicial.
- Se mantienen las muñecas rígidas y los codos en una posición ligeramente flexionada.
- Se mantienen las manos, muñecas, antebrazos, codos, brazos y hombros en el mismo plano vertical.
- Se mantiene la posición del cuerpo con cinco puntos de contacto.

Fase de movimiento ascendente: El ayudante

- Se mantienen las manos cerca, pero no en contacto, con los antebrazos del atleta, próximas a las muñecas, mientras ascienden las mancuernas.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Pectoral mayor, cara anterior del deltoides



Posiciones iniciales.



Movimientos descendente y ascendente.

15.16 *PRESS* DE PECHO VERTICAL (EN MÁQUINA)

Postura inicial

- Nos sentamos en la máquina y apoyamos la espalda con firmeza contra el respaldo en la posición de cinco puntos de apoyo.
- Asimos las asas con una empuñadura cerrada en pronación.
- Alineamos las asas con los pezones. Si es necesario, ajustaremos la altura del asiento para que las asas estén en la posición correcta.
- Todas las repeticiones empiezan en esta posición.

Fase de movimiento hacia delante

- Empujamos las asas alejándolas del pecho hasta acabar con los codos completamente extendidos.
- No se debe arquear la región lumbar de la espalda ni hiperextender los codos forzadamente.
- Mantenemos el cuerpo en la posición de cinco puntos de apoyo.

Fase de movimiento hacia atrás

- Dejamos que las asas vuelvan lentamente a la posición inicial.
- Mantenemos el cuerpo en la posición de cinco puntos de apoyo.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Pectoral mayor, cara anterior del deltoides, tríceps



Postura inicial.



Movimientos hacia delante y hacia atrás.

15.17 PEC DECK (EN MÁQUINA)

Postura inicial

- Nos sentamos en la máquina y apoyamos la espalda contra el respaldo en la posición con cinco puntos de apoyo. (*Nota*: Algunos respaldos no son lo bastante largos como para apoyar la cabeza contra el banco).
- Asimos las asas con una empuñadura cerrada y neutra.
- Alineamos las asas con la porción media del pecho de modo que los brazos queden paralelos al suelo. Si es necesario, ajustaremos la altura del asiento para que las asas estén en la posición correcta.
- Todas las repeticiones empiezan en esta posición.

Fase de movimiento hacia delante

- Empujamos las asas aproximándolas entre sí mientras se mantienen los codos ligeramente flexionados, hasta que los dedos se toquen delante del cuerpo.
- No se debe arquear la región lumbar de la espalda ni hiperextender los codos.
- Mantenemos el cuerpo en la posición con cinco contactos.

Fase de movimiento hacia atrás

- Dejamos que las asas vuelvan lentamente a la posición inicial.
- Mantenemos el cuerpo en la posición de cinco puntos de apoyo.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Pectoral mayor, cara anterior del deltoides, tríceps braquial



Postura inicial.



Movimientos hacia delante y hacia atrás.

Antebrazos

15.18 FLEXIONES DE MUÑECA

Postura inicial

- Nos sentamos en el extremo del banco.
- Asimos la barra con empuñadura cerrada y en supinación, con las manos separadas aproximadamente la anchura de los hombros.
- Situamos las piernas y los pies paralelos entre sí con las puntas de los pies apuntando hacia delante.
- Inclinamos el torso hacia delante y apoyamos los codos y antebrazos sobre los muslos.

- Movemos las muñecas hacia delante hasta que se extiendan ligeramente más allá de los omoplatos.
- Dejamos que las muñecas se extiendan y que las manos se abran para que las puntas de los dedos sostengan la barra.

Fase de movimiento ascendente

- Elevamos la barra flexionando los dedos y luego las muñecas.
- Flexionamos las muñecas todo lo posible sin mover codos ni antebrazos.
- No damos tirones hacia atrás con los hombros ni balanceamos la barra para elevarla.

Fase de movimiento descendente

- Dejamos que las muñecas y los dedos se extiendan lentamente de vuelta a la posición inicial.
- Mantenemos el torso y las extremidades superiores en la misma posición.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Flexor cubital del carpo, flexor radial del carpo, palmar largo



Postura inicial.



Movimientos ascendente y descendente.

15.19 EXTENSIONES DE MUÑECA

Postura inicial

- Nos sentamos en el extremo del banco.
- Asimos la barra con una empuñadura cerrada y en pronación, con las manos separadas aproximadamente la anchura de los hombros.
- Situamos las piernas y los pies paralelos entre sí con las puntas de los pies apuntando hacia delante.
- Inclinamos el torso hacia delante y apoyamos los codos y antebrazos sobre los muslos.
- Movemos las muñecas hacia delante hasta que se extiendan ligeramente más allá de los omoplatos.
- Mantenemos una empuñadura cerrada sobre la barra pero dejamos que las muñecas se flexionen hacia el suelo.

Fase de movimiento ascendente

- Elevamos la barra extendiendo las muñecas.
- Extendemos las muñecas todo lo posible sin mover codos ni antebrazos.

- No damos tirones hacia atrás con los hombros ni balanceamos la barra para elevarla.

Fase de movimiento descendente

- Dejamos que las muñecas y los dedos se flexionen lentamente de vuelta a la posición inicial.
- Mantenemos el torso y las extremidades superiores en la misma posición.
- Mantenemos una empuñadura cerrada.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Extensor cubital del carpo, extensor radial corto (y largo) del carpo



Postura inicial.



Movimientos ascendente y descendente.

Cadera y muslos

15.20 PRENSA OBLICUA (EN MÁQUINA)

Postura inicial

- Nos sentamos en la máquina con la región lumbar, las caderas y las nalgas en contacto contra las almohadillas.
- Plantamos los pies en la plataforma, separados aproximadamente la anchura de las caderas, con las puntas de los pies mirando un poco hacia fuera.
- Situamos las piernas paralelas entre sí.
- Agarramos las asas o los costados del asiento y extendemos por completo las caderas y rodillas, pero sin forzar las rodillas en hiperextensión.
- Mantenemos las caderas pegadas al asiento y la espalda ejerciendo presión con firmeza y en toda su extensión contra el respaldo.
- Quitamos el mecanismo de soporte de la plataforma de los pies y asimos

de nuevo las asas o el asiento.
- Todas las repeticiones empiezan en esta posición.

Fase de movimiento descendente

- Dejamos que las caderas y las rodillas se flexionen lentamente para que baje la plataforma.
- No dejamos que la plataforma baje rápidamente.
- Mantenemos las caderas y las nalgas pegadas al asiento, y la espalda ejerciendo presión con firmeza y en toda su extensión contra el respaldo.
- Mantenemos las rodillas alineadas sobre los pies mientras se flexionan.
- Dejamos que las caderas y las rodillas se flexionen hasta que los muslos queden paralelos a la plataforma de los pies.
- No dejamos que las nalgas pierdan contacto con el asiento, las caderas se desplacen o pierdan contacto con el respaldo, ni que los talones se levanten de la plataforma para los pies.

Fase de movimiento ascendente

- Subimos la plataforma extendiendo las caderas y las rodillas.
- Empujamos hasta extender totalmente las piernas, pero sin llegar a hiperextender las rodillas.
- Caderas y espalda mantienen la misma posición, y no se permite que se eleven las nalgas.
- Se mantienen las rodillas alineadas justo encima de los pies al extenderse.
- Al final de la serie, devolvemos los soportes a la posición inicial, sacamos los pies y salimos de la máquina.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Glúteo mayor, semimembranoso, semitendinoso, bíceps femoral, vasto lateral, vasto intermedio, vasto medial, recto femoral



Posición de los pies.



Postura inicial.



Movimientos descendente y ascendente.

15.21 SENTADILLA TRASNUCA

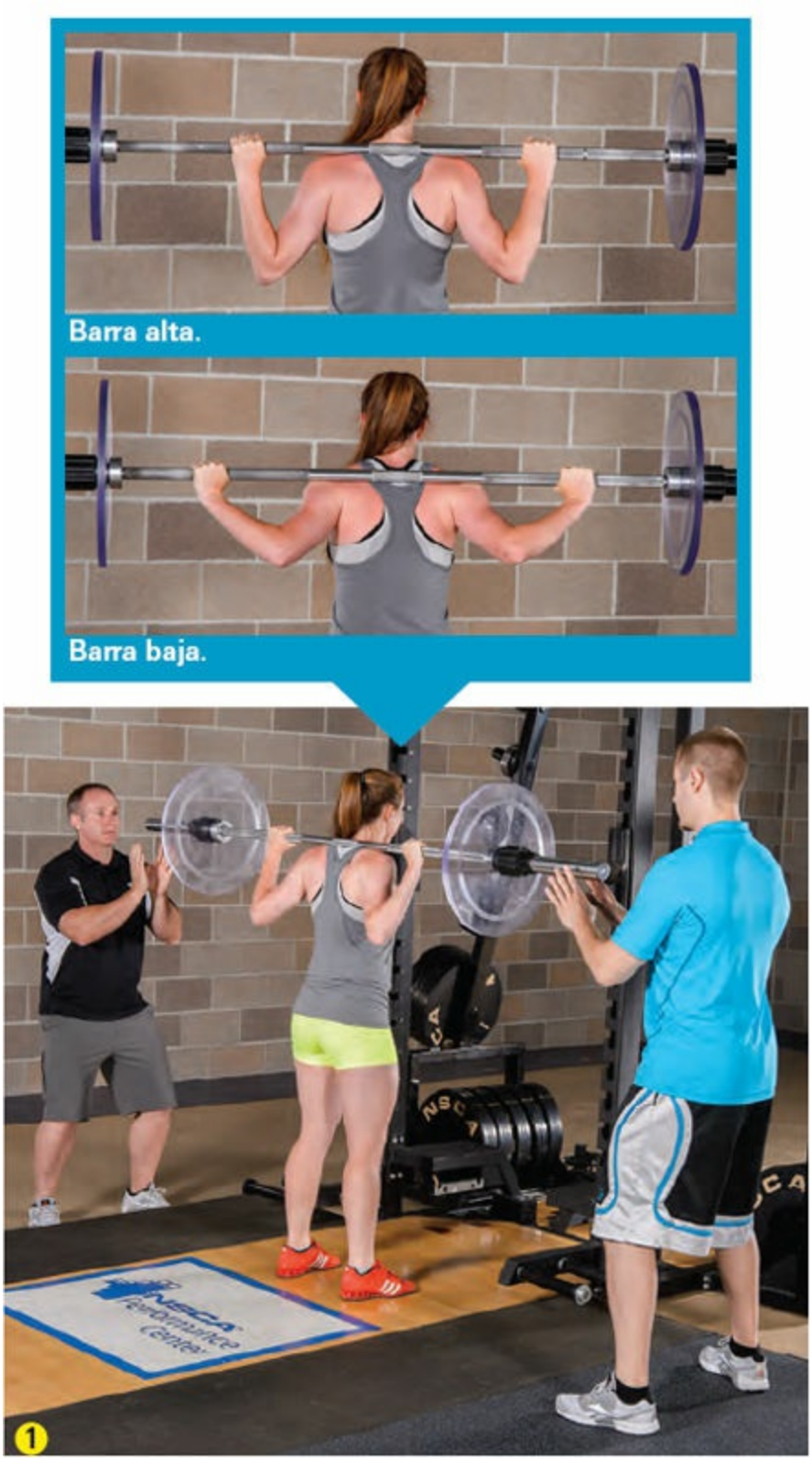
Postura inicial: El atleta

- Agarramos la barra con empuñadura cerrada en pronación (la anchura depende de la posición de la barra).
- Damos un paso situándonos debajo de la barra y colocamos los pies paralelos entre sí.
- Asumimos una posición equilibrada con la haltera apoyada en la porción superior de la espalda y sobre los hombros, en una de dos posibles ubicaciones:
  1. *Barra baja*: Sobre la cara posterior del deltoides, en medio del trapecio (usando una empuñadura más amplia que la anchura de los hombros).
  2. *Barra alta:* Por encima de la cara posterior del deltoides, en la base del cuello (usando una empuñadura solo un poco más amplia que la anchura de los hombros).
- Elevamos los codos para crear una «repisa» para la barra, usando los músculos de la porción superior de la espalda y los hombros.

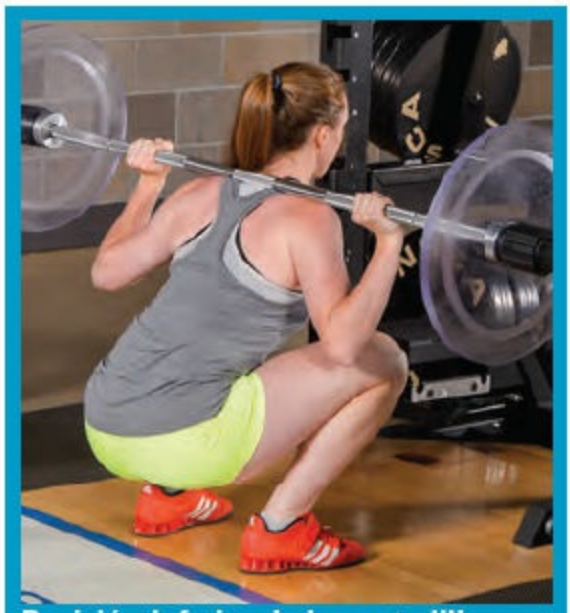
- Sacamos el pecho hacia arriba.
- Inclinamos la cabeza ligeramente hacia arriba.
- Una vez en posición, pedimos a los asistentes que ayuden a descolgar la barra de los soportes.
- Extendemos las caderas y las rodillas para levantar la haltera.
- Damos uno o dos pasos hacia atrás.
- Separamos los pies la anchura de los hombros (o más), alineados entre sí, con las puntas de los pies apuntando ligeramente hacia los lados.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Postura inicial: Dos ayudantes

- Permanecemos de pie junto a los extremos de la haltera con los pies separados la anchura de los hombros y con las rodillas ligeramente flexionadas.



Posiciones iniciales con la barra alta.



Posición inferior de la sentadilla.



Posiciones del movimiento descendente.

- Asimos el extremo de la barra rodeándola con las manos, con los pulgares cruzados y las palmas mirando la haltera.
- A una señal del atleta, ayudamos a levantar y equilibrar la barra al

levantarla de los soportes.
- Soltamos la barra suavemente.
- Mantenemos las manos 5-8 cm por debajo de los extremos de la barra.
- Nos movemos lateralmente al unísono con el atleta mientras retrocede.
- Una vez que el atleta está en posición, adoptamos una postura con los pies separados la anchura de los hombros, con las rodillas ligeramente flexionadas y el torso erguido.

Fase de movimiento descendente: El atleta

- Mantenemos una posición con la espalda neutra, los codos en alto y sacando pecho hacia arriba.
- Dejamos que las caderas y las rodillas se flexionen lentamente mientras mantienen relativamente constante el ángulo formado por el suelo y el torso.
- Mantenemos los talones en el suelo y las rodillas alineadas sobre los pies.
- Seguimos flexionando las caderas y las rodillas hasta que la porción superior de los muslos quede paralela al suelo, el tronco comience a encorvarse o flexionarse hacia delante, o los talones se levanten del suelo.

Fase de movimiento descendente: Dos ayudantes

- Mantenemos los pulgares cruzados y las manos cerca de —pero sin tocar — la barra mientras desciende.
- Flexionamos ligeramente las rodillas, las caderas y el torso para mantener la columna neutra durante el seguimiento de la barra.

Fase de movimiento ascendente: El atleta

- Mantenemos una postura con la espalda neutra, los codos en alto y sacando pecho.
- Extendemos las caderas y las rodillas al mismo ritmo (para mantener constante el ángulo formado por el suelo y el torso).
- Mantenemos los talones en el suelo y las rodillas alineadas sobre los pies.
- No flexionamos el torso hacia delante ni encorvamos la espalda.
- Seguimos extendiendo las caderas y las rodillas hasta alcanzar la posición inicial.

- Al final de la serie, damos un paso adelante hacia el soporte.
- Iniciamos una sentadilla hasta que la haltera descanse en los soportes.

Fase de movimiento ascendente: Dos ayudantes

- Mantenemos los pulgares cruzados y las manos cerca de —pero sin tocar — la barra mientras asciende.
- Extendemos ligeramente las rodillas, las caderas y el torso para mantener la columna neutra durante el seguimiento de la barra.
- Al final de la serie, nos movemos lateralmente al unísono con el atleta mientras avanza hacia el soporte.
- Simultáneamente asimos la barra y ayudamos a mantenerla equilibrada mientras se deposita en los soportes.
- Soltamos la barra suavemente.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Glúteo mayor, semimembranoso, semitendinoso, bíceps femoral, vasto lateral, vasto intermedio, vasto medial, recto femoral



Posiciones durante el movimiento ascendente.



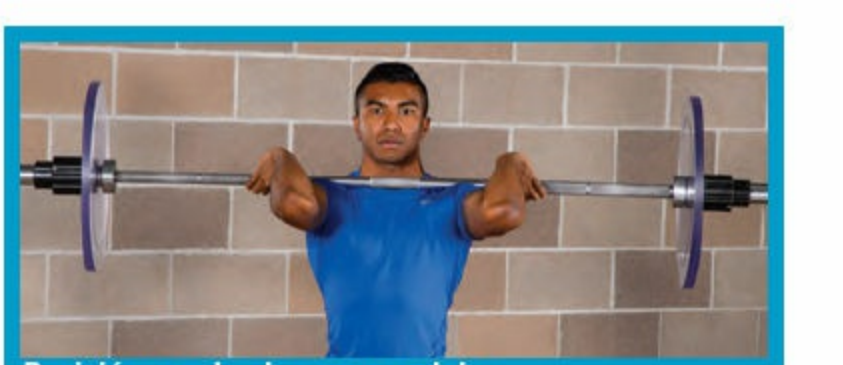
Apoyo de la barra en el soporte.

15.22 SENTADILLA FRONTAL

Postura inicial: El atleta

- Damos un paso situándonos debajo de la barra y colocamos los pies paralelos entre sí.
- Agarramos la barra adoptando una de dos posibles posiciones de los brazos:
  1. Posición paralela de las extremidades superiores: - Asimos la barra con una empuñadura cerrada y en pronación.
     – La empuñadura debe ser ligeramente más amplia que la anchura de los hombros.
     – Se eleva la haltera hasta apoyarla en la cara anterior del deltoides y sobre las clavículas.
     – Extendemos por completo los codos para situar los brazos paralelos al suelo.
  2. Posición con las extremidades superiores cruzadas:
     – Flexionamos los codos y cruzamos los brazos sobre el pecho.

  - Levantamos la barra hasta depositarla sobre la cara anterior del deltoides.
  - Usamos una empuñadura abierta con las manos encima de la barra y los dedos manteniéndola en su sitio.
  - Elevamos los codos para situar las extremidades superiores paralelas al suelo.
- Sacamos pecho hacia arriba.
- Inclinamos la cabeza ligeramente hacia arriba.
- Una vez en posición, pedimos a los ayudantes que ayuden a descolgar la barra de los soportes.
- Extendemos las caderas y las rodillas para levantar la haltera.
- Damos uno o dos pasos hacia atrás.
- Separamos los pies la anchura de los hombros (o más), alineados entre sí, con las puntas de los pies apuntando ligeramente hacia los lados.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.



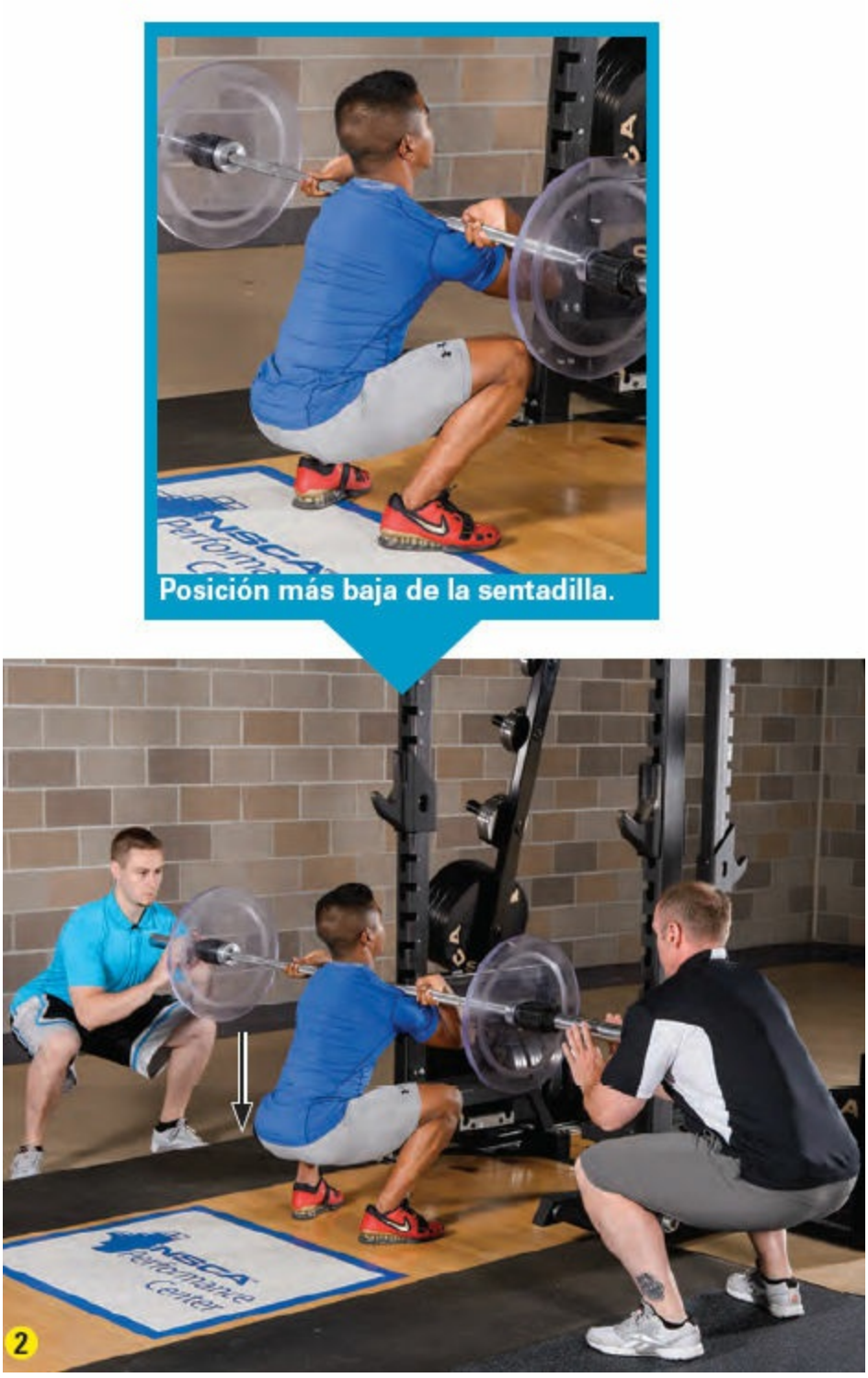
Posición con los brazos paralelos.



Posición con los brazos cruzados.



Posiciones iniciales con los brazos paralelos.



Posiciones del movimiento descendente.

Postura inicial: Dos ayudantes

- Permanecemos de pie junto a los extremos de la haltera con los pies separados la anchura de los hombros y las rodillas ligeramente

flexionadas.
- Asimos el extremo de la barra rodeándola con las manos, con los pulgares cruzados y las palmas mirando la haltera.
- A una señal del atleta, ayudamos a levantar y equilibrar la barra al alzarla de los soportes.
- Soltamos la barra suavemente.
- Mantenemos las manos 5-8 cm por debajo de los extremos de la barra.
- Nos movemos lateralmente, al unísono con el atleta, mientras este retrocede.
- Una vez que el atleta está en posición, adoptamos una postura con los pies separados la anchura de los hombros, con las rodillas ligeramente flexionadas y el torso erguido.

Fase de movimiento descendente: El atleta

- Mantenemos una posición con la espalda neutra, los codos en alto y sacando pecho.
- Dejamos que las caderas y las rodillas se flexionen lentamente mientras mantienen relativamente constante el ángulo formado por el suelo y el torso.
- Mantenemos los talones en el suelo y las rodillas alineadas sobre los pies.
- No flexionamos el torso adelante ni encorvamos la espalda.
- Seguimos flexionando las caderas y las rodillas hasta que las porciones superiores de los muslos queden paralelas al suelo, el tronco comience a encorvarse o flexionarse hacia delante, o los talones se levanten del suelo.

Fase de movimiento descendente: Dos ayudantes

- Mantenemos los pulgares cruzados y las manos cerca de —pero sin tocar — la barra mientras desciende.
- Flexionamos ligeramente las rodillas, las caderas y el torso para mantener la columna neutra durante el seguimiento de la barra.

Fase de movimiento ascendente: El atleta

- Mantenemos una posición con la espalda neutra, los codos en alto y sacando pecho.
- Extendemos las caderas y las rodillas al mismo ritmo (para mantener

constante el ángulo formado por el suelo y el torso).

- Mantenemos los talones en el suelo y las rodillas alineadas sobre los pies.
- No flexionamos el torso hacia delante ni encorvamos la espalda.
- Seguimos extendiendo las caderas y las rodillas hasta alcanzar la posición inicial.
- Al final de la serie, damos un paso adelante hacia el soporte.
- Iniciamos una sentadilla hasta que la haltera descanse en los soportes.

Fase de movimiento ascendente: Dos ayudantes

- Mantenemos los pulgares cruzados y las manos cerca de —pero sin tocar — la barra mientras asciende.
- Extendemos ligeramente las rodillas, las caderas y el torso para mantener la columna neutra durante el seguimiento de la barra.
- Al final de la serie, nos movemos lateralmente al unísono con el atleta mientras avanza hacia el soporte.
- Simultáneamente asimos la barra y ayudamos a mantenerla equilibrada mientras se deposita en los soportes.
- Soltamos la barra suavemente.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Glúteo mayor, semimembranoso, semitendinoso, bíceps femoral, vasto lateral, vasto intermedio, vasto medial, recto femoral



Posiciones durante el movimiento ascendente.



Apoyo de la barra en el soporte.

15.23 TIJERA HACIA DELANTE

Este ejercicio también se practica con dos mancuernas, con empuñadura cerrada y neutra. El atleta permite que las mancuernas pendan de los brazos junto al cuerpo durante el ejercicio. Al usar mancuernas, el ayudante ayuda al atleta de la misma manera que en la versión con haltera, aunque la tarea de ayudar al atleta a depositar la barra en los soportes no sea aplicable. (*Nota:* Este ejercicio no se puede practicar dentro de una típica jaula de potencia. Se recomienda el empleo de una jaula de sentadillas estilo escalonado o una jaula de potencia con soportes externos. Para tener una visión perfecta de la técnica del ejercicio, la jaula no aparece en las fotografías).

Postura inicial: El atleta

- Damos un paso situándonos debajo de la barra y colocamos los pies paralelos entre sí.
- Agarramos la barra con una empuñadura cerrada y en pronación.
- Adoptamos una posición equilibrada con la haltera apoyada en la porción superior de la espalda y sobre los hombros, sobre la cara posterior de los deltoides en la base del cuello (usando una empuñadura solo un poco más amplia que la anchura de los hombros).
- Elevamos los codos para crear una «repisa» para la barra usando la porción superior de la espalda y los músculos de los hombros.
- Sacamos pecho hacia arriba.
- Inclinamos la cabeza ligeramente hacia arriba.
- Una vez en posición, pedimos a los asistentes que ayudan a descolgar la barra de los soportes.
- Extendemos las caderas y las rodillas para levantar la haltera.
- Damos uno o dos pasos hacia atrás.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Postura inicial: El ayudante

- Permanecemos de pie muy cerca del atleta (pero sin distraerle).
- Separamos los pies la anchura de los hombros, con las rodillas ligeramente flexionadas.
- A una señal del atleta, ayudamos a levantar y equilibrar la barra al alzarla de los soportes.
- Nos movemos lateralmente al unísono con el atleta mientras retrocede

hasta la posición inicial.

- Una vez que el atleta está en posición, asumimos una postura con los pies separados la anchura de los hombros con las rodillas ligeramente flexionadas y el torso erguido.
- Mantenemos las manos cerca de las caderas, la cintura y el torso del atleta.

Fase de movimiento hacia delante: El atleta

- Damos un paso exagerado hacia delante.
- Mantenemos el torso erguido mientras el pie da un paso adelante y entra en contacto con el suelo.
- Mantenemos el pie retrasado en la posición inicial, pero dejamos que la rodilla retrasada se flexione ligeramente.
- Plantamos completamente el pie adelantado apuntando hacia delante o un poco hacia dentro.



Posiciones iniciales.



Posiciones al inicio del movimiento hacia delante.

- Dejamos que la cadera y la rodilla adelantadas se flexionen lentamente.
- Mantenemos la rodilla adelantada directamente sobre el pie adelantado.
- Seguimos flexionando la rodilla retrasada hasta quedar 3 a 5 cm por encima del suelo.
- Equilibramos el peso de forma uniforme entre la punta del pie retrasado y todo el pie adelantado.
- Mantenemos el torso perpendicular al suelo «echándonos hacia atrás» sobre la pierna retrasada.

Fase de movimiento hacia delante: El ayudante

- Damos un paso adelante con la misma pierna que el atleta.
- Mantenemos la rodilla y el pie adelantados alineados con el pie adelantado del atleta.
- Plantamos el pie adelantado 30-46 cm por detrás del pie adelantado del

atleta.
- Flexionamos la rodilla adelantada mientras se flexiona la rodilla adelantada del atleta.
- Mantenemos el torso erguido.
- Mantenemos las manos cerca de las caderas, cintura y torso del atleta.
- Ayudamos solo cuando sea necesario para que el atleta no pierda el equilibrio.

Fase de movimiento hacia atrás: El atleta

- Despegamos forzadamente del suelo extendiendo la cadera y la rodilla adelantadas.
- Mantenemos el torso en la misma posición erguida; no damos tirones hacia atrás con la porción superior del cuerpo.
- Retrasamos el pie adelantado hasta una posición próxima al pie retrasado; no daremos pasos entrecortados hacia atrás.
- Nos mantenemos erguidos en la posición inicial, hacemos una pausa y luego alternamos la pierna adelantada en las siguientes repeticiones.
- Al final de la serie, damos un paso adelante hacia el soporte y depositamos la haltera.

Fase de movimiento hacia atrás: El ayudante

- Nos impulsamos hacia atrás con la pierna adelantada al unísono con el atleta.
- Retrasamos el pie adelantado hasta una posición próxima al pie retrasado; no daremos pasos entrecortados hacia atrás.
- Mantenemos las manos cerca de las caderas, la cintura o el torso del atleta.
- Nos mantenemos erguidos en la posición inicial, hacemos una pausa y luego alternamos la pierna adelantada en las siguientes repeticiones.
- Ayudamos solo cuando sea necesario para que el atleta no pierda el equilibrio.
- Al final de la serie, ayudamos al atleta a depositar la haltera en el soporte.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Glúteo mayor, semimembranoso, semitendinoso, bíceps femoral, vasto lateral, vasto intermedio, vasto medial, recto femoral, iliopsoas



Posiciones al término del movimiento hacia delante.



Posiciones a mitad del movimiento hacia atrás.

15.24 SUBIDA DE ESCALÓN

Nota: El cajón usado debe tener de 30 a 46 centímetros de altura, o una altura suficiente para crear un ángulo de 90° en la articulación de la rodilla cuando se apoya el pie en él. Para tener una visión óptima de la técnica del ejercicio, no aparece ningún soporte para la haltera en las fotografías.

Postura inicial: El atleta

- Agarramos la barra con una empuñadura cerrada y en pronación.
- Damos un paso situándonos debajo de la barra y colocamos los pies paralelos entre sí.
- Asumimos una posición equilibrada con la haltera apoyada en la porción superior de la espalda y sobre los hombros, por encima de la cara

posterior de los deltoides, en la base del cuello (usando una empuñadura solo un poco más amplia que la anchura de los hombros).
- Elevamos los codos para crear una «repisa» para la barra usando la porción superior de la espalda y los músculos de los hombros.
- Sacamos pecho hacia arriba.
- Inclinamos la cabeza ligeramente hacia arriba.
- Una vez en posición, pedimos al ayudante que ayude a descolgar la barra de los soportes.
- Extendemos las caderas y las rodillas para levantar la haltera.
- Nos desplazamos hasta un punto próximo y delante del cajón.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Postura inicial: El ayudante

- Permanecemos erguidos muy cerca del atleta (pero sin distraerle).
- Separamos los pies la anchura de los hombros, con las rodillas ligeramente flexionadas.
- A una señal del atleta, ayudamos a levantar y equilibrar la barra al alzarla de los soportes.
- Nos movemos al unísono con el atleta mientras se desplaza hasta la posición inicial.
- Una vez que el atleta está en posición, adoptamos una postura con los pies separados la anchura de las caderas, con las rodillas ligeramente flexionadas y el torso erguido.
- Mantenemos las manos cerca de las caderas, la cintura o el torso del atleta.

Fase de movimiento ascendente: El atleta

- Damos un paso hacia delante y plantamos todo el pie sobre el cajón.
- Mantenemos el torso erguido, sin inclinarnos hacia delante.
- Mantenemos el pie retrasado en la posición inicial, pero desplazamos el peso del cuerpo sobre la pierna adelantada.
- Extendemos de manera forzada la cadera y rodilla adelantadas para asumir una postura en bipedestación encima del cajón.



Posturas iniciales.



Contacto inicial del pie adelantado con el cajón.

- No nos damos impulso ni saltamos con la pierna o pie retrasados.
- En la posición más elevada, nos mantenemos erguidos y hacemos una pausa antes de iniciar la fase de movimiento descendente.

Fase de movimiento ascendente: El ayudante

- Damos un pasito adelante con la pierna adelantada mientras el atleta se sube al cajón.
- Mientras el atleta se alza hasta la posición más elevada, adelantamos la pierna retrasada hasta quedar junto a la pierna adelantada.
- Mantenemos las manos lo más cerca posible de las caderas, la cintura o el torso del atleta.
- Ayudamos solo cuando sea necesario para que el atleta no pierda el

equilibrio.

Fase de movimiento descendente: El atleta

- Desplazamos el peso del cuerpo sobre la pierna adelantada.
- Bajamos del cajón con la pierna retrasada.
- Mantenemos la postura erguida del torso.
- Plantamos el pie retrasado en el suelo a la misma distancia del cajón que en la posición inicial.
- Cuando el pie retrasado esté totalmente en contacto con el suelo, desplazamos el peso del cuerpo sobre la pierna retrasada.
- Bajamos del cajón con la pierna adelantada.
- Situamos el pie adelantado junto al pie retrasado.
- Nos mantenemos erguidos en la posición inicial, hacemos una pausa y luego alternamos la pierna adelantada en las siguientes repeticiones.
- Al final de la serie, nos dirigimos hacia el soporte y depositamos la haltera.

Fase de movimiento descendente: El ayudante

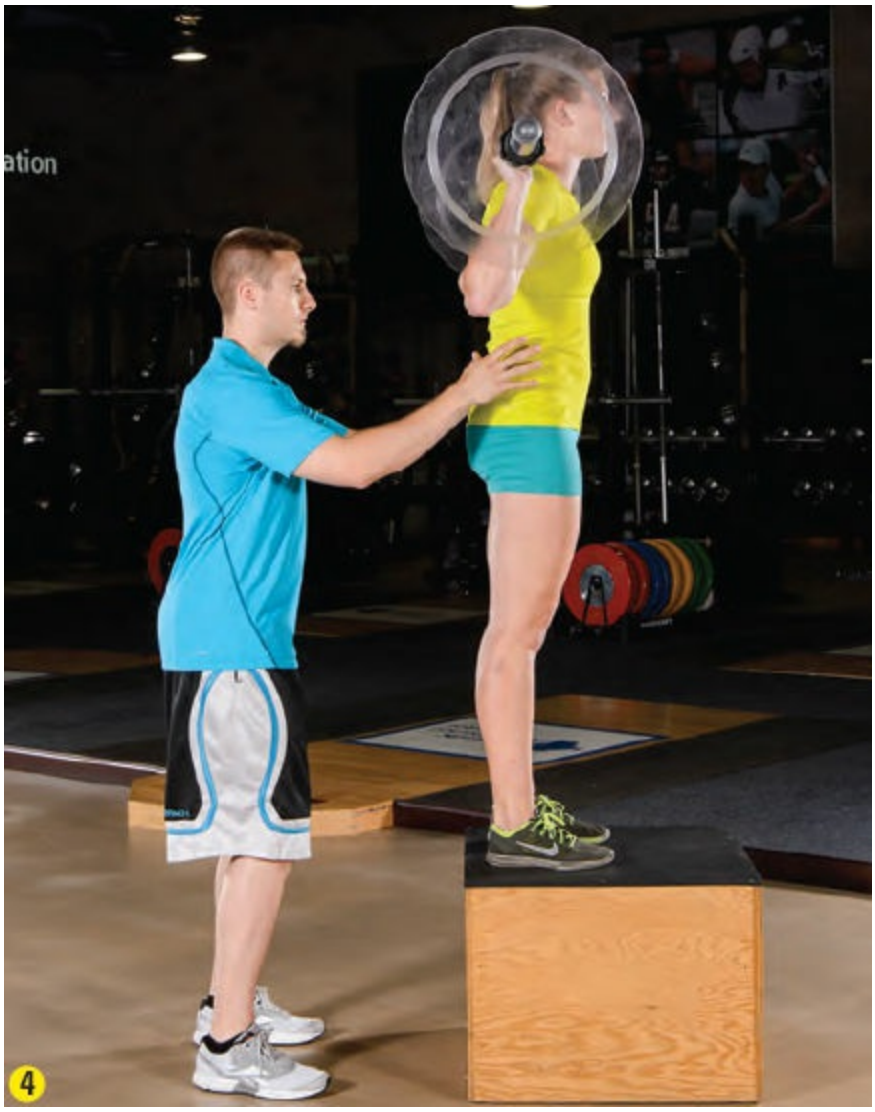
- Damos un pasito atrás con la pierna retrasada mientras el atleta baja del cajón.
- Mientras el atleta baja del cajón con la pierna adelantada, damos un paso atrás con la pierna adelantada.
- Mantenemos las manos lo más cerca posible de las caderas, la cintura o el torso del atleta.
- Nos mantenemos erguidos en la posición inicial y hacemos una pausa para esperar al atleta.
- Ayudamos solo cuando sea necesario para que el atleta no pierda el equilibrio.
- Al final de la serie, ayudamos al atleta a depositar la haltera en el soporte.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Glúteo mayor, semimembranoso, semitendinoso, bíceps femoral, vasto lateral, vasto intermedio, vasto medial, recto femoral, iliopsoas



Posturas a mitad del movimiento ascendente.



Posturas al final del movimiento ascendente.

15.25 BUENOS DÍAS

Nota: Para tener una visión óptima de la técnica del ejercicio, no aparece ningún soporte para la haltera en las fotografías.

Postura inicial

- Agarramos la barra con empuñadura cerrada en pronación.
- Damos un paso situándonos debajo de la barra y colocamos los pies paralelos entre sí.
- Adoptamos una posición equilibrada con la haltera apoyada en la porción superior de la espalda y sobre los hombros, por encima de la

cara posterior de los deltoides, en la base del cuello (usando una empuñadura solo un poco más amplia que la anchura de los hombros).
- Elevamos los codos para crear una «repisa» para la barra usando la porción superior de la espalda y los músculos de los hombros.
- Sacamos pecho hacia arriba.
- Inclinamos la cabeza ligeramente hacia arriba.
- Separamos los pies la anchura de los hombros (o más), alineados entre sí, con las puntas de los pies apuntando ligeramente hacia los lados.
- Extendemos las caderas y las rodillas para levantar la haltera.
- Damos dos o tres pasos hacia atrás.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Fase de movimiento descendente

- Iniciamos el ejercicio flexionando lentamente las caderas. Las nalgas deben echarse atrás durante el descenso.
- Mantenemos la columna neutra y los codos en alto; no encorvamos la porción superior de la espalda durante el descenso.
- Mantenemos las rodillas ligeramente flexionadas y los pies apoyados en el suelo durante el descenso.
- Seguimos el movimiento descendente hasta que el torso esté casi paralelo al suelo.

Fase de movimiento ascendente

- Elevamos la barra extendiendo las caderas.
- Mantenemos la columna vertebral neutra y las rodillas ligeramente flexionadas durante el ascenso.
- Seguimos extendiendo las caderas hasta alcanzar la posición inicial.
- Al final de la serie, damos un paso adelante hacia el soporte y depositamos la haltera en el soporte.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Glúteo mayor, semimembranoso, semitendinoso, bíceps femoral, erector de la columna



Postura inicial.



Movimientos descendente y ascendente.

15.26 PESO MUERTO

Postura inicial

- Nos ponemos en bipedestación y separamos los pies entre la anchura de las caderas y la de los hombros, con las puntas de los pies un poco hacia fuera.
- Iniciamos una sentadilla con las caderas por debajo de los hombros (más abajo de lo que se muestra en la foto), y se ase la barra con empuñadura cerrada y en pronación. Si la carga es demasiado elevada para soportar la barra con una empuñadura en pronación, cambiaremos a una empuñadura cerrada y alterna.
- Las manos se apoyan en la barra, un poco más separadas que la anchura

de los hombros, por fuera de las rodillas, con los codos totalmente flexionados.

- Apoyamos los pies en el suelo y la barra se sitúa aproximadamente 3 cm delante de los tobillos y encima de las puntas de los pies.
- Colocamos el cuerpo con:
  - La espalda neutra o ligeramente arqueada.
  - Las escápulas en depresión o retracción.
  - Sacando pecho hacia arriba.
  - La cabeza en línea con la columna vertebral o en ligera hiperextensión.
  - Los talones están en contacto con el suelo.
  - Los hombros están encima o ligeramente delante de la barra.
  - Los ojos miran hacia delante o un poco hacia arriba.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Fase de movimiento ascendente

- Se levanta la barra del suelo extendiendo las caderas y las rodillas.
- Mantenemos constante el ángulo entre el torso y el suelo, pero no dejamos que las caderas se eleven antes que los hombros.
- Mantenemos la columna vertebral neutra.
- Mantenemos los codos totalmente extendidos y los hombros sobre o ligeramente por delante de la barra.
- Mientras se eleva la barra, se mantiene lo más próxima posible a las espinillas.
- Mientras la barra se eleva justo por encima de las rodillas, mantenemos los hombros sobre la barra y extendemos las caderas para mantener la haltera cerca del cuerpo.
- Seguimos extendiendo las caderas y las rodillas hasta que el cuerpo alcance una posición con el torso completamente erguido.

Fase de movimiento descendente

- Dejamos que caderas y rodillas se flexionen lentamente para dejar la barra en el suelo.
- Mantenemos la columna vertebral neutra; no flexionamos el torso hacia delante.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Glúteo mayor, semimembranoso, semitendinoso, bíceps femoral, vasto lateral, vasto

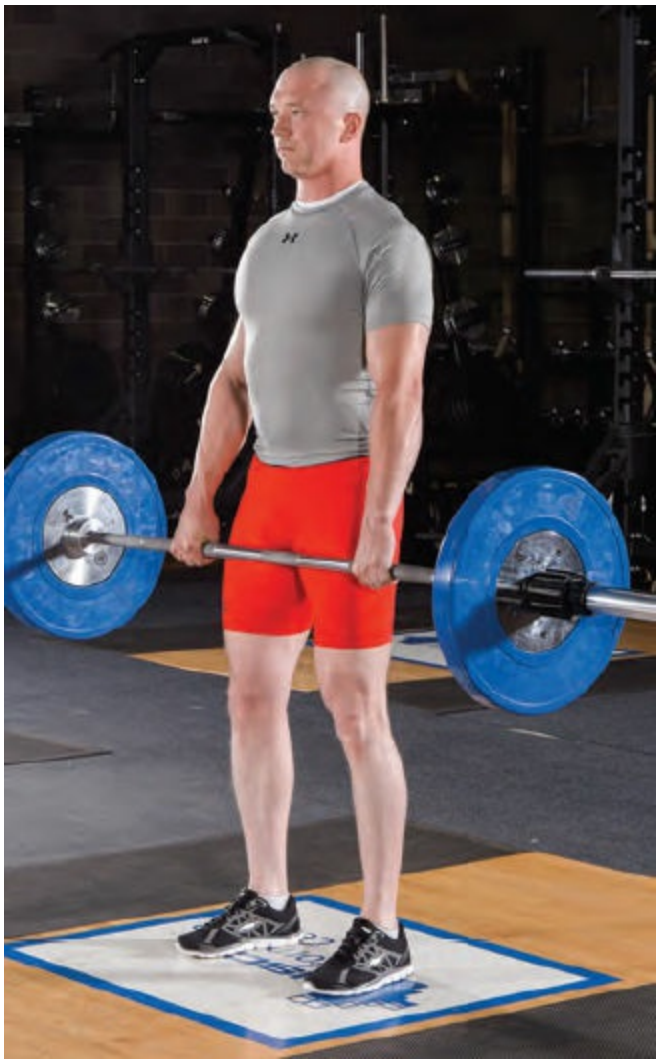
intermedio, vasto medial, recto femoral



Postura inicial.



Posición media.



Postura final.

15.27 PESO MUERTO CON LAS PIERNAS RÍGIDAS

Postura inicial

- Después de practicar el ejercicio del peso muerto para levantar la barra del suelo, flexionamos las rodillas ligera o moderadamente y las mantenemos en esta posición durante el ejercicio.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Fase de movimiento descendente

- Empezamos el ejercicio con la columna vertebral neutra; luego flexionamos las caderas para bajar la barra lentamente y, bajo control total, hacia el suelo.

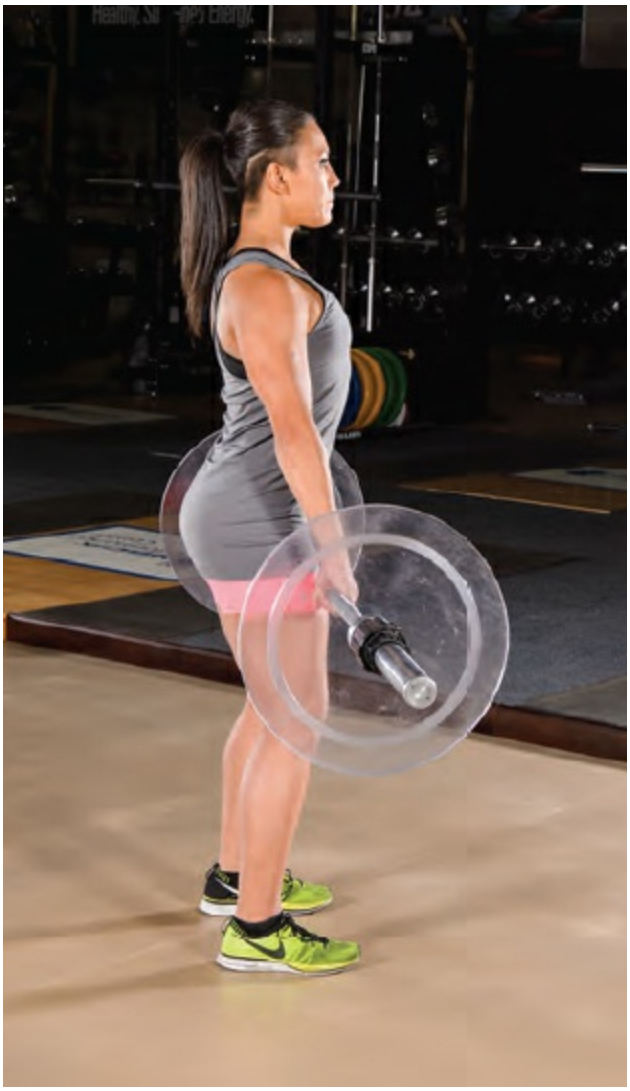
- Mantenemos las rodillas en la misma posición ligera o moderadamente flexionada con la espalda neutra o un poco arqueada, y con los codos totalmente extendidos durante el descenso.
- Bajamos la barra hasta que los discos toquen el suelo; la espalda no puede mantener una postura neutra, las rodillas no pueden estar totalmente extendidas, ni los talones levantarse del suelo.

Fase de movimiento ascendente

- Extendemos las caderas para volver a la posición inicial en bipedestación.
- Mantenemos las rodillas ligeramente flexionadas y el torso en una postura con la columna neutra.
- No damos tirones con el torso hacia atrás ni flexionamos los codos.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Glúteo mayor, semimembranoso, semitendinoso, bíceps femoral, erector de la columna



Postura inicial.



Movimientos descendente y ascendente.

15.28 PESO MUERTO RUMANO

Postura inicial

- Ponemos las manos en la barra en una posición cerrada y en pronación, usando una empuñadura de cargada o arrancada.
- Después de practicar el ejercicio del peso muerto para levantar la barra del suelo, flexionamos las rodillas ligera o moderadamente y las mantenemos en esta posición durante el ejercicio.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Fase de movimiento descendente

- Empezamos el ejercicio flexionando las caderas y echándolas hacia

atrás, permitiendo que el torso se desplace hacia delante y manteniendo la barra en contacto con los muslos.
- Mantenemos las rodillas ligeramente flexionadas mientras flexionamos las caderas.
- Mantenemos el torso rígido, la columna neutra y los hombros retraídos hasta que la haltera se alinee con el tendón rotuliano y el torso esté paralelo al suelo. (*Nota:* Si usamos una empuñadura de arrancada en este ejercicio, el torso estará ligeramente por debajo de una posición paralela, dependiendo de la antropometría del atleta).
- Mantenemos una postura lordótica normal durante todo el movimiento.

Fase de movimiento ascendente

- Extendemos las caderas alzando el torso de vuelta a la posición inicial erguida.
- Mantenemos las rodillas ligeramente flexionadas y el torso en una postura con la columna neutra.
- Nos aseguramos de que la haltera se mantenga en contacto con los muslos durante todo el movimiento.
- No hiperextendemos la espalda ni flexionamos los codos.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Glúteo mayor, semimembranoso, semitendinoso, bíceps femoral, erector de la columna



Empuñadura de cargada.

Empuñadura de arrancada.



Postura inicial.



Movimientos descendente y ascendente.

15.29 EXTENSIÓN DE PIERNAS (RODILLAS) (EN MÁQUINA)

Postura inicial

- Nos sentamos en la máquina y presionamos la espalda contra el respaldo almohadillado.
- Colocamos los pies detrás y en contacto con el rodillo almohadillado.
- Situamos las piernas paralelas entre sí.
- Alineamos las rodillas con el eje de la máquina. Si fuera necesario, ajustaremos el respaldo o el rodillo para colocar las piernas correctamente.
- Asimos las asas o los costados del asiento.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Fase de movimiento ascendente

- Se eleva el rodillo hasta extender las rodillas por completo.
- Mantenemos el torso erguido y la espalda firmemente presionada contra el respaldo.
- Situamos los muslos, las piernas y los pies paralelos entre sí.
- Mantenemos una empuñadura firme en las asas o los costados del asiento.
- No hay que hiperextender las rodillas.

Fase de movimiento descendente

- Dejamos que las rodillas se flexionen lentamente de vuelta a la posición inicial.
- Mantenemos el torso erguido y la espalda firmemente presionada contra el respaldo.
- Situamos los muslos, las piernas y los pies paralelos entre sí.
- No dejamos que las nalgas se levanten del asiento.
- Mantenemos una empuñadura firme en las asas o los costados del asiento.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Vasto lateral, vasto intermedio, vasto medial, recto femoral



Postura inicial.



Movimientos ascendente y descendente.

15.30 FLEXIÓN DE PIERNAS (RODILLAS) (EN MÁQUINA)

Postura inicial

- Nos sentamos en la máquina y presionamos la espalda contra el respaldo almohadillado.
- Colocamos los tobillos encima y en contacto con el rodillo almohadillado.
- Situamos las piernas paralelas entre sí.
- Alineamos las rodillas con el eje de la máquina. Si fuera necesario, ajustaremos el respaldo para colocar las piernas correctamente.
- Asimos las asas o los costados del asiento.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Fase de movimiento descendente

- Flexionamos el rodillo por debajo del asiento mediante la extensión

completa de las rodillas.

- Mantenemos el torso quieto y las caderas y la espalda firmemente presionadas contra el respaldo.
- No dejamos que las caderas ni las nalgas se levanten.
- Mantenemos una empuñadura firme en las asas o los costados del asiento.

Fase de movimiento ascendente

- Dejamos que las rodillas se extiendan lentamente hasta la posición inicial.
- Mantenemos el torso quieto y las caderas y la espalda firmemente presionadas contra el respaldo.
- Mantenemos una empuñadura firme en las asas o los costados del asiento.
- No hay que hiperextender las rodillas.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Semimembranoso, semitendinoso, bíceps femoral



Postura inicial.



Movimientos descendente y ascendente.

Hombros

15.31 *PRESS* DE HOMBROS (EN MÁQUINA)

Postura inicial

- Nos sentamos y apoyamos la espalda contra el respaldo para asumir con el cuerpo la posición de cinco puntos de apoyo.
- Asimos las asas con una empuñadura cerrada y en pronación.
- Alineamos las asas con la porción superior de los hombros. Si fuera necesario, ajustaremos la altura del asiento para situar las asas correctamente.

Fase de movimiento ascendente

- Tiramos de las asas hacia arriba hasta que los codos estén totalmente extendidos.

- Mantenemos el cuerpo en la posición de cinco puntos de apoyo.
- No se arquea la región lumbar ni se hiperextienden los codos.

Fase de movimiento descendente

- Dejamos que los codos se flexionen lentamente para bajar las asas hasta la posición inicial.
- Mantenemos el cuerpo en la posición de cinco puntos de apoyo.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Caras anterior y medial del deltoides, tríceps braquial



Postura inicial.



Movimientos ascendente y descendente.

15.32 *PRESS* DE HOMBROS SENTADO CON ALTERA (Y VARIACIÓN CON MANCUERNAS)

Postura inicial: El atleta

- Nos sentamos en un banco vertical para el *press* de hombros y nos inclinamos para adoptar con el cuerpo la posición de cinco puntos de apoyo.
- Asimos la barra con una empuñadura cerrada y en pronación.
- La empuñadura es un poco más amplia que la anchura de los hombros.

- Pedimos ayuda para levantar la barra de los soportes.
- Practicamos el *press* por encima de la cabeza hasta que los codos estén completamente extendidos.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Postura inicial: El ayudante

- De pie, erguido y detrás del banco con los pies separados la anchura de los hombres y las rodillas ligeramente flexionadas.
- Asimos la barra con una empuñadura cerrada y alterna, por dentro de las manos del atleta.
- A petición del atleta, le ayudamos a levantar la barra del soporte.
- Dirigimos la barra hasta situarla por encima del pecho del atleta.
- Soltamos la barra muy poco a poco.

Fase de movimiento descendente: El atleta

- Dejamos que los codos se flexionen lentamente para bajar la barra.
- Mantenemos las muñecas rígidas y los antebrazos paralelos entre sí.
- Extendemos el cuello ligeramente para permitir que la barra pase junto al rostro mientras desciende hasta tocar las clavículas y la cara anterior del deltoides.
- Mantenemos el cuerpo en la posición de cinco puntos de apoyo.

Fase de movimiento ascendente: El ayudante

- Mantenemos las manos con una empuñadura alterna, próximas —pero no en contacto— a la barra durante su descenso.
- Mantenemos las rodillas ligeramente flexionadas y la espalda neutra durante el seguimiento de la haltera.

Fase de movimiento ascendente: El atleta

- Empujamos la barra hacia arriba hasta que los codos estén totalmente extendidos.
- Extendemos el cuello ligeramente para permitir que la barra pase junto al rostro mientras asciende.
- Mantenemos las muñecas rígidas y los antebrazos paralelos entre sí.
- Mantenemos el cuerpo en la posición de cinco puntos de apoyo.
- No se arquea la espalda ni se levanta del asiento.
- Al final de la serie, pedimos ayuda para depositar la barra en el soporte.
- Mantenemos las manos en la barra hasta que descanse en el soporte.



Posturas iniciales.



Movimientos descendente y ascendente.

Fase de movimiento ascendente: El ayudante

- Se mantiene la empuñadura sobre la barra hasta que esté segura en el soporte.
- Mantenemos las manos con una empuñadura alterna, próximas —pero no en contacto— a la barra durante su ascenso.
- Extendemos ligeramente las rodillas, las caderas y el torso, y mantenemos la espalda neutra durante el seguimiento de la haltera.
- A una señal del atleta y una vez completada la serie, asimos la barra con una empuñadura alterna por dentro de la manos del atleta.
- Guiamos la haltera de vuelta al soporte.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Caras anterior y medial del deltoides, tríceps braquial

15.33 REMO VERTICAL

Postura inicial

- Asimos la barra con una empuñadura cerrada y en pronación, con las manos separadas aproximadamente la anchura de los hombros o un poco más.
- En bipedestación con los pies separados aproximadamente la anchura de los hombros, con las rodillas ligeramente flexionadas.
- Apoyamos la barra en los muslos con los codos totalmente extendidos y apuntando hacia los lados.

Fase de movimiento ascendente

- Levantamos la barra por el abdomen y el pecho hasta la barbilla.
- Mantenemos los codos apuntando hacia los lados mientras la haltera pasa rozando el cuerpo.
- Mantenemos el torso y las rodillas en la misma posición.
- No nos ponemos de puntillas ni elevamos la barra con un movimiento oscilante.
- En la posición más alta de la barra, los codos deben estar al nivel o un poco por encima de los hombros y las muñecas.

Fase de movimiento descendente

- Dejamos que la barra descienda lentamente de vuelta a la posición inicial.
- Mantenemos el torso y las rodillas en la misma posición.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Deltoides, fibras superiores del trapecio



Postura inicial.



Movimientos ascendente y descendente.

15.34 ELEVACIONES LATERALES DE HOMBROS

Postura inicial

- Asimos dos mancuernas con empuñadura cerrada y neutra.
- Nos mantenemos de pie, bien erguidos, con los pies separados la anchura de las caderas o los hombros, con las rodillas ligeramente flexionadas, el torso erguido, los hombros atrás y los ojos mirando adelante.
- Se sitúan las mancuernas delante de los muslos de modo que las palmas de las manos se miren entre sí.
- Flexionamos ligeramente los codos y mantenemos esa posición flexionada durante el ejercicio. (*Nota*: Los codos deben estar ligeramente más flexionados de lo que se muestra en las fotografías).

Fase de movimiento ascendente

- Elevamos las mancuernas hacia los lados; los codos y los brazos se elevan juntos por delante de los antebrazos, las manos y las mancuernas.
- Mantenemos el torso erguido con las rodillas ligeramente flexionadas y los pies totalmente apoyados en el suelo.
- No damos tirones con el cuerpo ni balanceamos las mancuernas hacia arriba.
- Seguimos elevando las mancuernas hasta que los brazos estén aproximadamente paralelos al suelo o casi al nivel de los hombros.

Fase de movimiento descendente

- Bajamos las mancuernas lentamente hasta la posición inicial.
- Mantenemos el torso y las rodillas en la misma posición.

PRINCIPAL MÚSCULO EJERCITADO

Deltoides



Postura inicial.



Movimientos ascendente y descendente.

TRÍCEPS

15.35 EXTENSIONES DE TRÍCEPS CON HALTERA EN DECÚBITO SUPINO

Postura inicial: El atleta

- Nos tumbamos en decúbito supino en un banco en la postura de cinco apoyos.
- Se agarra la haltera que sujeta el ayudante con empuñadura cerrada y en pronación, separadas las manos unos 30 centímetros.
- Situamos la haltera encima del pecho con los codos totalmente extendidos y los brazos paralelos.
- Los codos apuntan hacia las rodillas (no hacia los lados).

- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Postura inicial: El ayudante

- Nos mantenemos erguidos y muy cerca de la cabecera del banco (pero sin distraer al atleta).
- Separamos los pies la anchura de los hombros con un pie más adelantado que el otro, con las rodillas ligeramente flexionadas.
- Asimos la barra con una empuñadura cerrada y alterna.
- Pasamos la barra al atleta.
- Guiamos la haltera hasta una posición sobre el pecho del atleta.
- Soltamos la barra suavemente.

Fase de movimiento descendente: El atleta

- Manteniendo los brazos quietos, dejamos que los codos se flexionen lentamente para bajar la haltera hacia la cara.
- Mantenemos las muñecas rígidas y los brazos perpendiculares al suelo y paralelos entre sí.
- Bajamos la barra hasta que casi toque la cabeza o la cara.
- Mantenemos la posición del cuerpo con cinco puntos de contacto.

Fase de movimiento descendente: El ayudante

- Ponemos las manos en una posición de supinación, próximas —pero sin tocar— la barra durante su ascenso.
- Flexionamos ligeramente las rodillas, las caderas y el torso, y mantenemos la espalda neutra durante el seguimiento de la barra.

Fase de movimiento ascendente: El atleta

- Se eleva la haltera hacia arriba extendiendo lo codos de vuelta a la posición inicial.
- Se mantienen las muñecas rígidas y los codos apuntando hacia las rodillas.
- Se mantienen los brazos paralelos entre sí y perpendiculares al suelo.
- Se mantiene la posición de cuerpo con cinco puntos de contacto.
- Al final de la serie, se pide al ayudante que tome la barra.
- Se mantienen las manos sobre la barra hasta que el ayudante la sujete.

Fase de movimiento ascendente: El ayudante

- Mantenemos las manos con una empuñadura en supinación, próxima,

pero no en contacto, a la barra en su ascenso.

- Flexionamos ligeramente las rodillas, las caderas y el torso, y mantenemos la espalda neutra durante el seguimiento de la barra.
- A una señal del atleta, después de completar la serie, asimos la barra con una empuñadura alterna, se la quitamos al atleta y la depositamos en el suelo.

PRINCIPAL MÚSCULO EJERCITADO

Tríceps braquial



Posiciones iniciales.



Movimientos descendente y ascendente.

15.36 TRÍCEPS (EN MÁQUINA)

Postura inicial

- Asimos la barra con una empuñadura cerrada y en pronación y una amplitud de 15-30 cm.
- En bipedestación, con los pies separados la anchura de los hombros y las rodillas ligeramente flexionadas. Se sitúa el cuerpo lo bastante próximo a la máquina como para que la polea penda recta hasta abajo en la posición inicial.
- Tiramos de la barra hacia abajo hasta dejar los brazos junto a los costados del torso.
- Flexionamos los codos para situar los antebrazos paralelos al suelo o ligeramente por encima.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Fase de movimiento descendente

- Tiramos de la barra hacia abajo hasta que los codos estén completamente extendidos.
- Mantenemos el torso erguido y los brazos quietos.
- No hiperextendemos los codos.

Fase de movimiento ascendente

- Dejaremos que los codos se extiendan lentamente de vuelta a la posición inicial.
- Mantenemos el torso, los brazos y rodillas en la misma posición.
- Al final de la serie, devolvemos la barra a su posición en reposo.

PRINCIPAL MÚSCULO EJERCITADO

Tríceps braquial



Postura inicial.



Movimientos descendente y ascendente.

Ejercicios de potencia

15.37 EXTENSIONES DE HOMBROS

Este ejercicio consiste en levantar con rapidez y de manera forzada la haltera de los hombros y por encima de la cabeza. Aunque la subida de la barra se compone de dos fases, el movimiento ascendente de la haltera es un movimiento continuo sin interrupción. Tanto las extensiones de hombros como el empuje sobre la cabeza implican una rápida extensión de las caderas y las rodillas, lo cual acelera el levantamiento de la barra de los hombros, seguida inmediatamente por movimientos que sitúan la barra por encima de la cabeza. La técnica usada para alcanzar esta posición final de la haltera varía. En las extensiones de hombros, la sacudida de extensión de las caderas

y las rodillas es solo lo bastante forzada como para impulsar la haltera la mitad o dos tercios de la distancia por encima de la cabeza. Desde esa altura, la barra se empuja hasta quedar por encima de la cabeza, permaneciendo las caderas y rodillas totalmente extendidas después de la sacudida.

En cualquier ejercicio, el atleta puede empezar con una barra situada sobre unos soportes a la altura de los hombros por fuera de una jaula de potencia o levantando una haltera del suelo hasta los hombros (mediante una repetición del ejercicio de cargada de fuerza). Ambos ejercicios se pueden practicar trasnuca con una empuñadura de cargada o de arrancada. La siguiente lista de verificación describe los ejercicios usando una jaula de potencia (aunque no aparezca en las fotografías).

Postura inicial

- Asimos la barra con una empuñadura cerrada y en pronación.
- Las manos de la empuñadura están ligeramente más separadas que la anchura de los hombros (empuñadura de cargada).
- Damos un paso debajo de la haltera y separamos los pies la anchura de las caderas, paralelos entre sí.
- Nos elevamos hacia la barra para colocarla sobre la cara anterior del deltoides y las clavículas.
- Extendemos las caderas y las rodillas para levantar la barra de los soportes.
- Damos un paso atrás de los soportes y nos situamos en medio de la plataforma de levantamientos.
- Situamos los pies separados la anchura de las caderas o los hombros y equilibrados entre sí, con las puntas apuntando ligeramente hacia fuera.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Fase de preparación: Flexión parcial de las piernas

- Flexionamos las caderas y las rodillas a una velocidad controlada para desplazar la barra en trayectoria recta hacia abajo.
- Seguimos la flexión parcial de las piernas hasta una profundidad que no supere un cuarto de sentadilla, la posición de recepción de la cargada de fuerza, o un 10% de la altura del atleta.
- Mantenemos los pies totalmente apoyados en el suelo, el torso erguido y los codos debajo o ligeramente por delante de la haltera.

Fase de movimiento ascendente: Impulsión

- Nada más alcanzar la posición más baja de la flexión parcial de las piernas, se invierte el movimiento con rapidez y de forma forzada, extendiendo las caderas, las rodillas y los tobillos, y luego los codos para impulsar la barra por encima de la cabeza.

Recepción (para las extensiones de hombros)

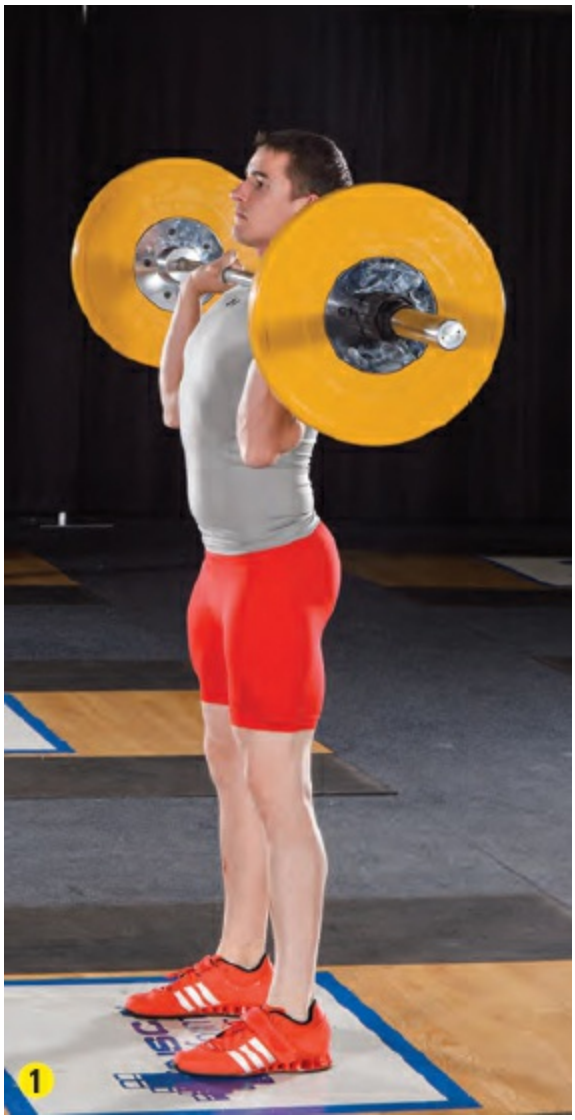
- Después de extender por completo las caderas y las rodillas, y de que la barra esté por encima de la cabeza tras la fase de impulsión, se levanta todavía más hasta que los codos estén totalmente extendidos.
- En esta posición, el torso está erguido, la cabeza asume una postura neutra, los pies están totalmente apoyados en el suelo y la haltera se sitúa ligeramente por encima o detrás de las orejas.

Fase de movimiento descendente

- Bajamos la haltera reduciendo gradualmente la tensión muscular de los brazos para lograr un descenso controlado de la barra hasta los hombros.
- Simultáneamente flexionamos las caderas y las rodillas para amortiguar el impacto de la barra sobre los hombros.
- Al final de la serie, damos un paso hacia la jaula y depositamos la haltera sobre los soportes.

MÚSCULOS EJERCITADOS

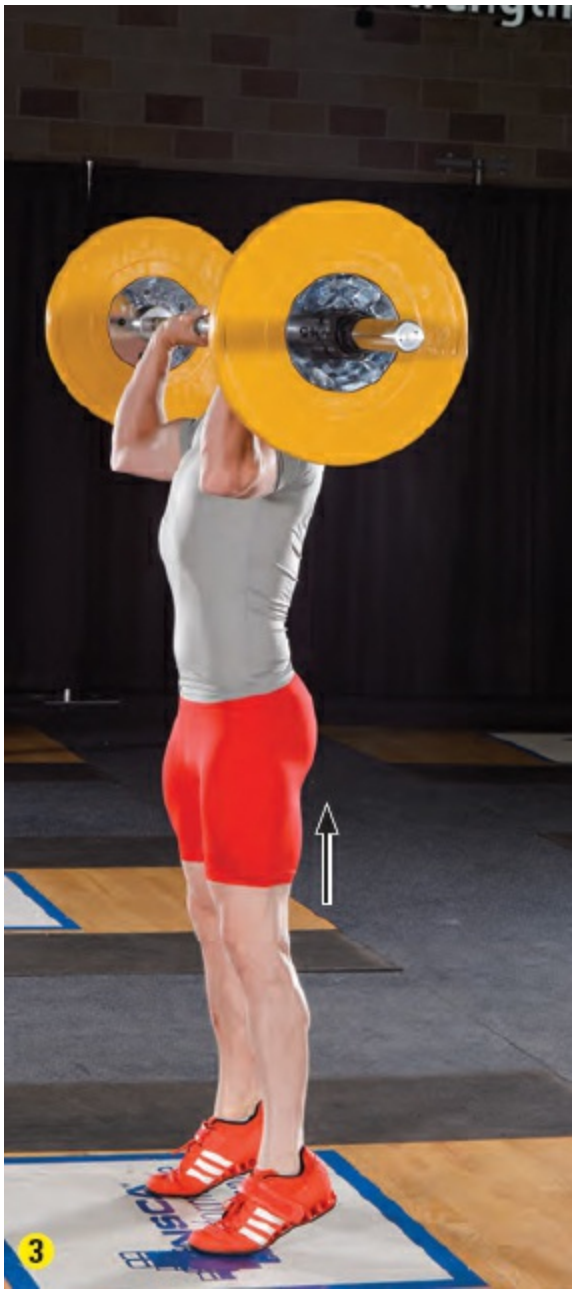
Glúteo mayor, semimembranoso, semitendinoso, bíceps femoral, vasto lateral, vasto intermedio, vasto medial, recto femoral, sóleo, gastrocnemio, deltoides, trapecio



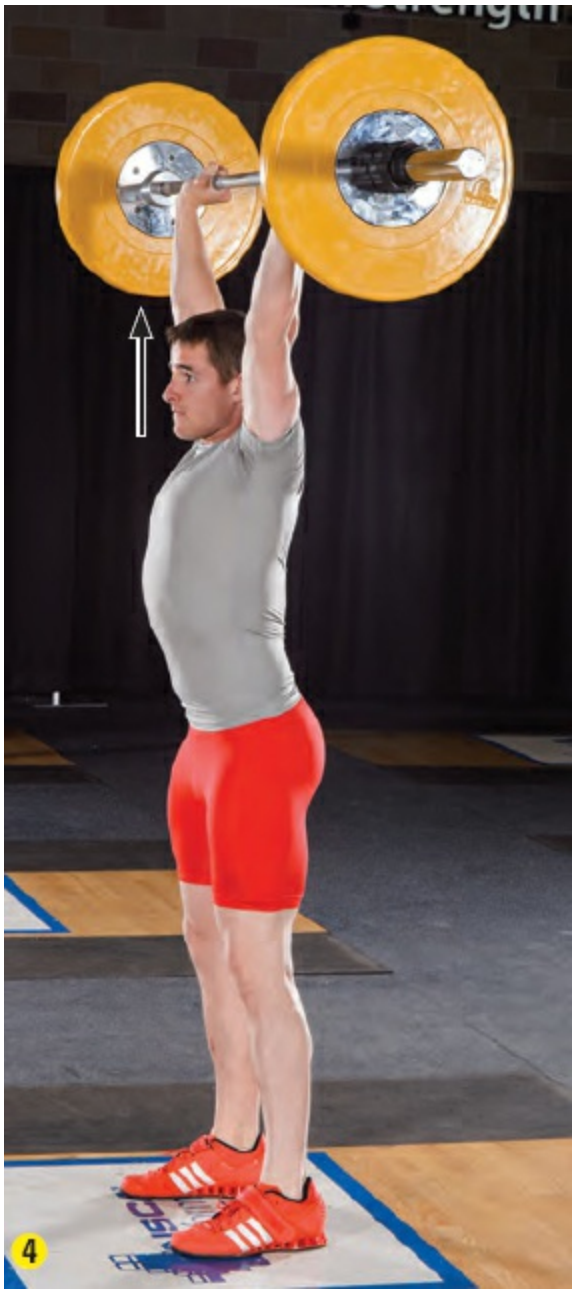
Postura inicial.



Flexión parcial de las piernas.



Impulsión.



Recepción (para las extensiones de hombros).

15.38 EMPUJE SOBRE LA CABEZA

El empuje sobre la cabeza o envión implica una sacudida más forzada de las caderas y las rodillas de modo que la barra se impulse hacia arriba y se bloquee con los codos extendidos en la posición por encima de la cabeza, con las caderas y las rodillas ligeramente flexionadas.

Postura inicial

- Asimos la barra con una empuñadura cerrada y en pronación.
- Las manos de la empuñadura están ligeramente más separadas que la anchura de los hombros (empuñadura de cargada).
- Damos un paso debajo de la haltera y colocamos los pies separados la anchura de las caderas y paralelos entre sí.
- Nos aproximamos a la barra para que se apoye sobre la cara anterior del deltoides y las clavículas.
- Extendemos las caderas y las rodillas para levantar la barra de los soportes.
- Damos un paso atrás de los soportes y nos situamos en medio de la plataforma de levantamientos.
- Situamos los pies separados la anchura de las caderas o un poco más, con las puntas de los pies apuntando hacia delante o ligeramente hacia fuera.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Fase de preparación: Flexión parcial de las piernas

- Flexionamos las caderas y las rodillas a una velocidad controlada para desplazar la barra en trayectoria recta hacia abajo.
- Seguimos la flexión parcial de las piernas hasta una profundidad que no supere un cuarto de sentadilla.
- Mantenemos los pies totalmente apoyados en el suelo, el torso erguido y los codos debajo o ligeramente por delante de la haltera.

Fase de movimiento ascendente: Impulsión

- Nada más alcanzar la posición más baja de la flexión parcial de las piernas, se invierte el movimiento con rapidez y de forma forzada extendiendo las caderas, las rodillas y los tobillos, y luego los codos para impulsar la barra por encima de la cabeza.

Recepción (para el empuje sobre la cabeza)

- Después de extender por completo las caderas y las rodillas, y de que la barra esté por encima de la cabeza, se flexionan rápidamente las caderas y las rodillas hasta una postura de flexión parcial a la vez que se extienden por completo los codos, de modo que la haltera se sitúe por encima de la cabeza al mismo tiempo que la barra alcanza su posición

más elevada.
- La recepción se produce con el torso erguido, la cabeza en una postura neutra, los pies totalmente apoyados en el suelo y la haltera ligeramente detrás de las orejas formando una línea recta con el cuerpo.

Fase de recuperación

- Después de conseguir el control y el equilibrio, nos erguimos extendiendo las caderas y las rodillas hasta una postura erguida con los pies totalmente apoyados en el suelo.
- Mantenemos los codos bloqueados mientras la haltera se mantiene estabilizada por encima de la cabeza.

Fase de movimiento descendente

- Bajamos la haltera reduciendo gradualmente la tensión muscular de los brazos para lograr un descenso controlado de la barra hasta los hombros.
- Simultáneamente flexionamos las caderas y las rodillas para amortiguar el impacto de la barra sobre los hombros.
- Al final de la serie, damos un paso hacia la jaula y depositamos la haltera sobre los soportes.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Glúteo mayor, semimembranoso, semitendinoso, bíceps femoral, vasto lateral, vasto intermedio, vasto medial, recto femoral, sóleo, gastrocnemio, deltoides, trapecio



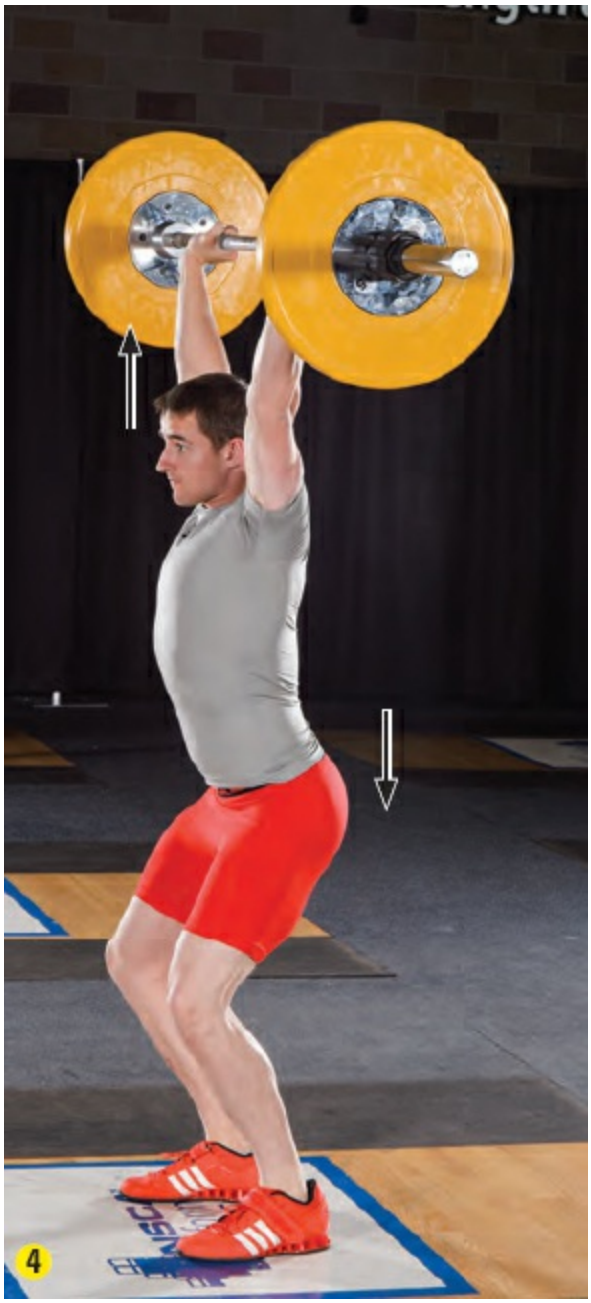
Postura inicial.



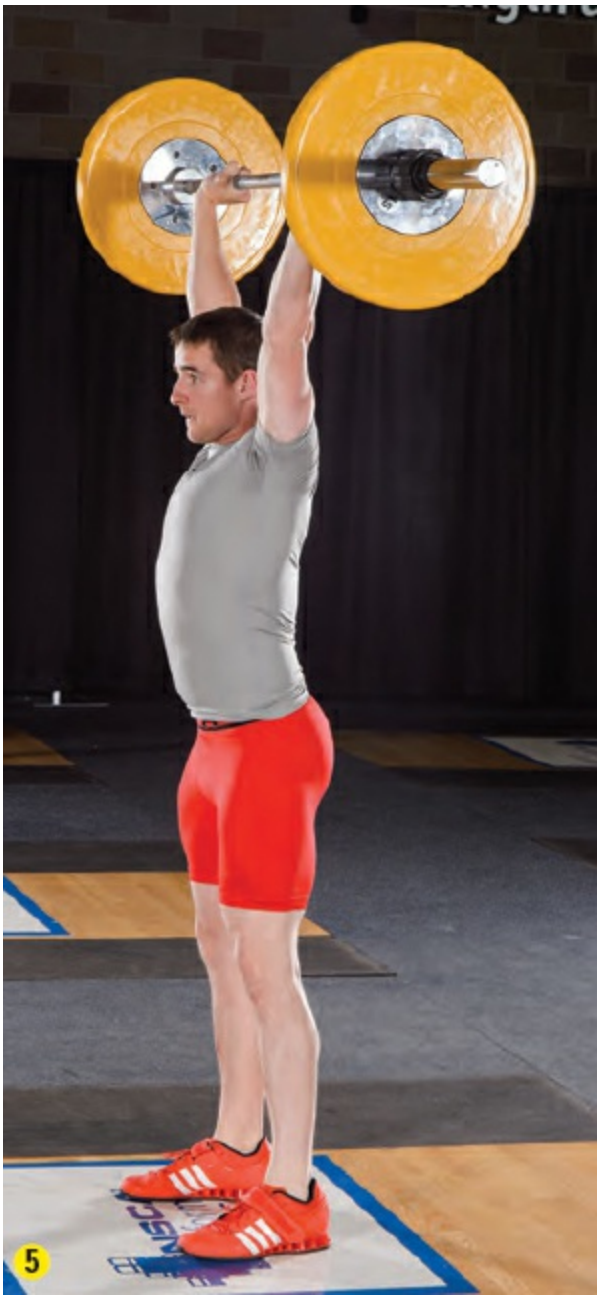
Flexión parcial de las piernas.



Impulsión.



Recepción (para el empuje sobre la cabeza).



Postura de recuperación.

15.39 CARGADA DE FUERZA (Y LA VARIACIÓN CARGADA DE FUERZA COLGANTE)

Este ejercicio consiste en levantar con rapidez y de manera forzada la haltera desde el suelo hasta la cara anterior de los hombros, todo en un movimiento. Aunque la subida de la barra se compone de cuatro fases, el movimiento ascendente de la haltera es un movimiento continuado, sin interrupción. La

cargada de fuerza colgante es parecida a la anterior, excepto porque la barra empieza a media altura de los muslos o ligeramente por debajo o encima de las rodillas. En esta variante de la cargada de fuerza, la haltera no comienza en el suelo ni vuelve al suelo entre repeticiones.

Postura inicial

- En bipedestación, con los pies separados entre la anchura de las caderas y la de los hombros, con las puntas de los pies apuntando ligeramente hacia fuera.
- Adoptamos una sentadilla con las caderas por debajo de la altura de los hombros y asimos la barra de manera equilibrada con una empuñadura en pronación. Si se necesita una empuñadura más fuerte, usaremos una prensión en garfio.
- Colocamos las manos sobre la barra, ligeramente más separadas que la anchura de los hombros, por fuera de las rodillas, con los codos totalmente extendidos y apuntando hacia los lados.
- Apoyamos los pies totalmente en el suelo y situamos la barra aproximadamente 3 cm delante de las pantorrillas y sobre las puntas de los pies.
- Situamos el cuerpo con:
  - La espalda neutra o ligeramente arqueada.
  - Las escápulas deprimidas y en retracción.
  - Sacando el pecho hacia arriba.
  - La cabeza en línea con la columna vertebral o en ligera hiperextensión.
  - Los hombros encima o ligeramente delante de la barra.
  - Los ojos mirando hacia delante o ligeramente hacia arriba.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

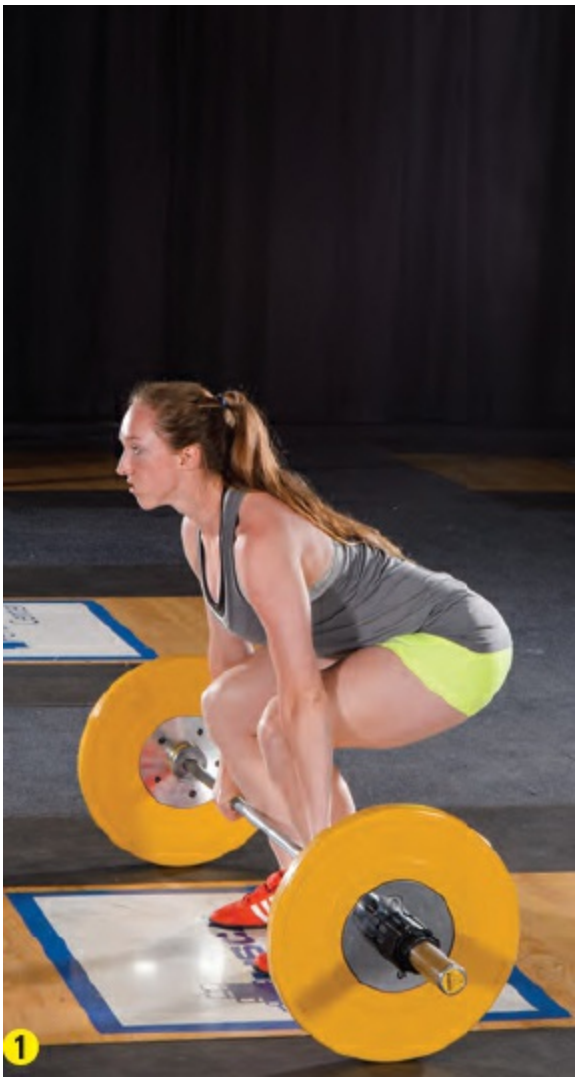
Fase de movimiento ascendente: Primer tirón

- Levantamos la barra del suelo de manera forzada extendiendo las caderas y las rodillas.
- Mantenemos el ángulo constante formado por el suelo y el torso; no dejamos que las caderas se eleven antes que los hombros.
- Mantenemos la columna en una postura neutra.
- Mantenemos los codos totalmente extendidos apuntando hacia los lados, y los hombros por encima o ligeramente por delante de la haltera.

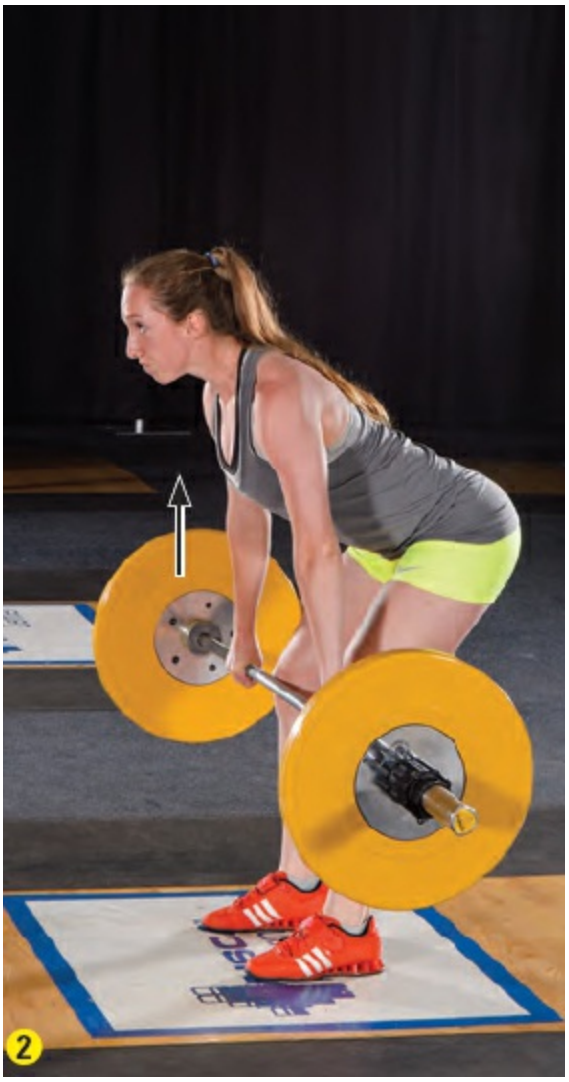
- A medida que se levanta la barra, se mantiene lo más próxima posible a las espinillas.

Fase de movimiento ascendente: Transición

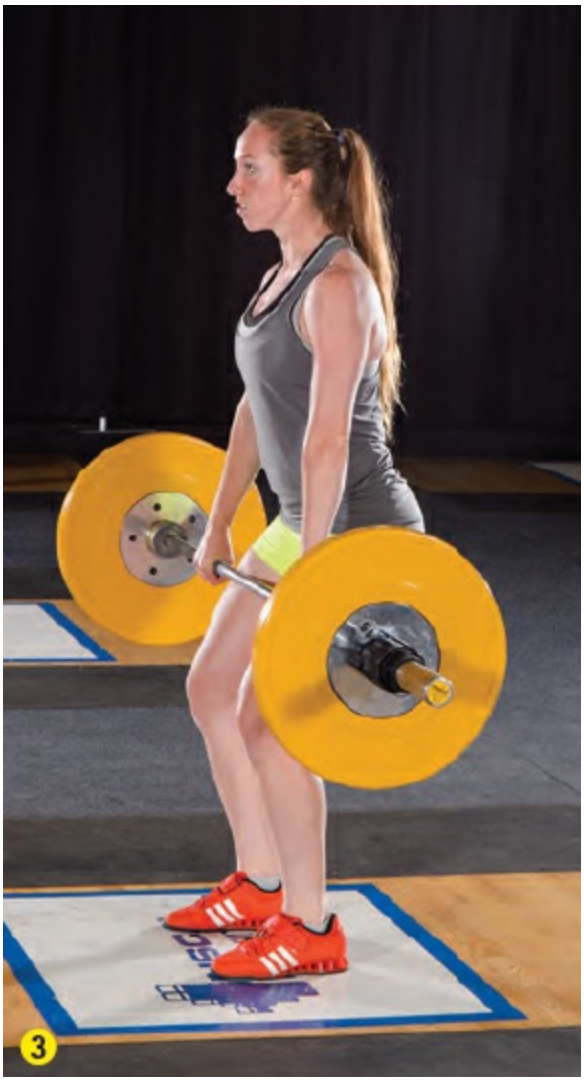
- Mientras la barra se levanta justo por encima de las rodillas, se da una sacudida hacia delante con las caderas y se flexionan ligeramente las rodillas para mover los muslos contra las rodillas bajo la barra.
- Mantenemos la espalda neutra o ligeramente arqueada, y los codos totalmente extendidos y apuntando hacia los lados.



Postura inicial/inicio del primer tirón.



Fin del primer tirón/inicio de la transición.



Fin de la transición/inicio del segundo tirón.

Nota: La fase de transición es parecida al peso muerto rumano; de hecho, los halterófilos usan el peso muerto rumano para reforzar el patrón de movimiento.

Fase de movimiento ascendente: Segundo tirón

- Extendemos rápidamente las caderas, las rodillas y los tobillos. (*Nota:* Es importante que los talones no dejen de tocar el suelo el mayor tiempo posible para potenciar al máximo la transferencia de fuerza a la haltera).
- Mantenemos la barra lo más próxima posible al cuerpo.
- Mantenemos la espalda neutra y los codos apuntando hacia los lados.
- Mantenemos los hombros por encima de la barra y los codos extendidos el mayor tiempo posible.
- Cuando las articulaciones del hemicuerpo inferior alcanzan la extensión

completa, elevamos rápidamente los hombros con los codos todavía en extensión completa y apuntando hacia los lados.
- Mientras los hombros alcanzan su máxima elevación, flexionamos los codos para empezar a tirar del cuerpo y situarlo debajo de la haltera.
- Debido a la naturaleza explosiva de esta fase, el torso está erguido o en ligera hiperextensión, la cabeza se inclina un poco hacia atrás y los pies tal vez pierdan contacto con el suelo.

Fase de movimiento ascendente: Recepción

- Después de que el hemicuerpo inferior esté totalmente extendido, desplazamos el cuerpo debajo de la barra y giramos los brazos alrededor de ella con una empuñadura por debajo.
- Simultáneamente flexionamos las caderas y las rodillas hasta un cuarto de sentadilla.
- Una vez que las extremidades superiores están bajo la barra, elevamos los codos para que los brazos queden paralelos al suelo.
- Apoyamos la haltera sobre las clavículas y la cara anterior de los deltoides.
- La recepción de la barra se produce con:
  - El torso casi totalmente erguido.
  - Los hombros ligeramente por delante de las caderas.
  - La cabeza neutra.
  - Los pies planos en el suelo.
- Después de alcanzar el equilibrio y el control, hay que erguirse extendiendo las caderas y las rodillas hasta una posición completamente erguida.

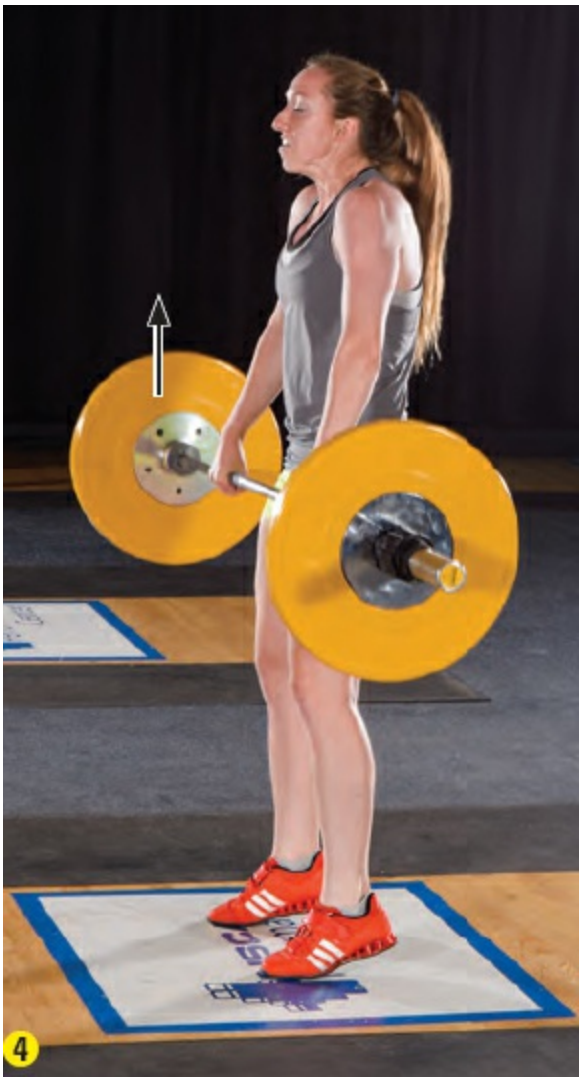
Fase de movimiento descendente

- Bajamos los codos para alzar la barra de los deltoides y las clavículas; luego bajamos lentamente la haltera por los muslos.
- Simultáneamente flexionamos las caderas y las rodillas para amortiguar el impacto de la barra contra los muslos.
- Iniciamos una sentadilla con los codos totalmente extendidos hasta que la barra toque el suelo o dejemos la barra sobre la plataforma si estamos usando discos de pesas con cubierta de goma.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Glúteo mayor, semimembranoso, semitendinoso, bíceps femoral, vasto lateral, vasto

intermedio, vasto medial, recto femoral, sóleo, gastrocnemio, deltoides, trapecio



Fin del segundo tirón.



Recepción.



Postura final.

15.40 ARRANCADA DE POTENCIA (Y LA VARIACIÓN ARRANCADA DE POTENCIA COLGANTE)

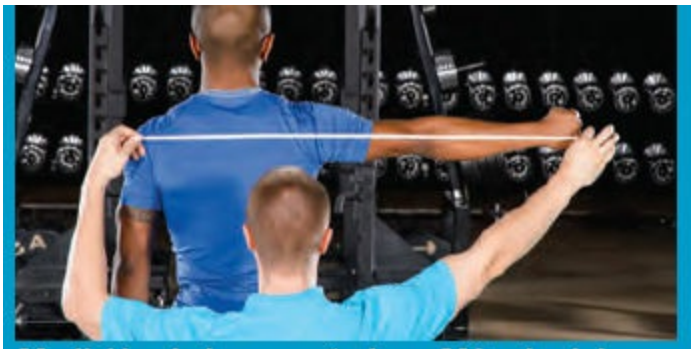
Este ejercicio consiste en levantar con rapidez y de manera forzada la haltera desde el suelo por encima de la cabeza con los codos totalmente extendidos, todo en un solo movimiento. Aunque la subida de la barra se compone de múltiples fases, el movimiento ascendente de la haltera es un movimiento continuo sin interrupción. La arrancada de potencia colgante es parecida a la arrancada de potencia, excepto porque la posición inicial de la haltera no es en el suelo y *no* vuelve al suelo entre repeticiones.

Postura inicial

- En bipedestación, con los pies separados entre la anchura de las caderas y de los hombros, con las puntas de los pies apuntando ligeramente hacia fuera.
- Realizamos una sentadilla con las caderas por debajo de la altura de los hombros y asimos la barra de manera equilibrada con una empuñadura en pronación. Si se necesita una empuñadura más fuerte, usaremos una prensión en garfio.
- La anchura de la empuñadura es mayor que en los otros ejercicios; una forma de calcularla es medir y usar una de estas distancias para separar la manos: (1) la distancia desde el borde del puño cerrado de una mano hasta el hombro contralateral cuando el brazo está extendido lateralmente, o (2) la distancia de uno a otro codo cuando las extremidades superiores están extendidas lateralmente.
- Extendemos los codos por completo y apuntando hacia los lados.
- Apoyamos los pies totalmente en el suelo y situamos la barra 3 cm delante de las pantorrillas y sobre las puntas de los pies.
- Situamos el cuerpo con:
  - La espalda neutra o ligeramente arqueada.
  - Las escápulas deprimidas y en retracción.
  - Sacando pecho hacia arriba.
  - La cabeza en línea con la columna vertebral o en ligera hiperextensión.
  - Los pies planos en el suelo.
  - Los hombros encima o ligeramente delante de la barra.
  - Los ojos mirando justo delante o un poco hacia arriba.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Fase de movimiento ascendente: Primer tirón

- Levantamos la barra del suelo de manera forzada extendiendo las caderas y las rodillas.
- Mantenemos el ángulo constante formado por el suelo y el torso; no dejaremos que las caderas se eleven antes que los hombros.
- Mantenemos la columna en una postura neutra.
- Mantenemos los codos totalmente extendidos apuntando hacia los lados, y los hombros por encima o ligeramente por delante de la haltera.
- A medida que se levanta la barra, se mantiene lo más próxima posible a las espinillas.



Medición de la empuñadura: Método del puño hasta el hombro opuesto.



Medición de la empuñadura: Método de uno a otro codo.



Postura inicial/inicio del primer tirón.



Fin del primer tirón/inicio de la transición.



Fin de la transición/inicio del segundo tirón.

Fase de movimiento ascendente: Transición

- Mientras la barra se levanta justo por encima de las rodillas, se da una sacudida hacia delante con las caderas y se flexionan ligeramente las rodillas para mover los muslos contra y las rodillas bajo la barra.
- Mantenemos la espalda neutra o ligeramente arqueada y los codos totalmente extendidos y apuntando hacia los lados.

Nota: La fase de transición es parecida a la del peso muerto rumano; de hecho, los halterófilos usan el peso muerto rumano para reforzar el patrón de movimiento.

Fase de movimiento ascendente: Segundo tirón

- Extendemos rápidamente las caderas, las rodillas y los tobillos. (*Nota:* Es importante que los talones no dejen de tocar el suelo el mayor tiempo posible para potenciar al máximo la transferencia de fuerza a la haltera).
- Mantenemos la barra lo más próxima posible al cuerpo.
- Mantenemos la espalda neutra y los codos apuntando hacia los lados.
- Mantenemos los hombros por encima de la barra y los codos extendidos el mayor tiempo posible.
- Cuando las articulaciones del hemicuerpo inferior alcanzan la extensión completa, elevamos rápidamente los hombros con los codos todavía en extensión completa y apuntando hacia los lados.
- Mientras los hombros alcanzan su máxima elevación, flexionamos los codos para empezar a tirar del cuerpo y situarlo debajo de la haltera.
- Debido a la naturaleza explosiva de esta fase, el torso está erguido o en ligera hiperextensión, la cabeza se inclina un poco hacia atrás y los pies tal vez pierdan contacto con el suelo.

Fase de movimiento ascendente: Recepción

- Después de que el hemicuerpo inferior esté totalmente extendido, desplazamos el cuerpo debajo de la barra y giramos los brazos alrededor de ella con una empuñadura por debajo.
- Simultáneamente flexionamos las caderas y las rodillas hasta un cuarto de sentadilla.
- Una vez que el cuerpo está debajo de la barra, la elevamos por encima o ligeramente detrás de las orejas con:
  - Los codos totalmente extendidos.
  - El torso erguido y estable.

  - La cabeza en una posición neutra.
  - Los pies planos en el suelo.
  - El peso del cuerpo encima de la porción media de los pies.
- Después de alcanzar el equilibrio y el control, hay que erguirse extendiendo las caderas y las rodillas hasta una posición completamente erguida.
- Estabilizamos la barra por encima de la cabeza.

Fase de movimiento descendente

- Bajamos la barra de la posición por encima de la cabeza, reduciendo gradualmente la tensión muscular de los hombros para permitir un descenso controlado de la barra hasta los muslos.
- Simultáneamente flexionamos las caderas y las rodillas para amortiguar el impacto de la barra contra los muslos.
- Iniciamos una sentadilla con los codos totalmente extendidos hasta que la barra toque el suelo o se suelte sobre la plataforma si estamos usando discos de pesas con cubierta de goma.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Glúteo mayor, semimembranoso, semitendinoso, bíceps femoral, vasto lateral, vasto intermedio, vasto medial, recto femoral, sóleo, gastrocnemio, deltoides, trapecio



Fin del segundo tirón.



Recepción.



Postura final.

TÉRMINOS CLAVE

anchura de la empuñadura
ayuda para sacar la haltera
ayudante
columna neutra
decúbito supino
ejercicios
    con haltera por encima de la cara
    con pesas libres
    de potencia
    estructurales
    fuera de la jaula
empuñadura
    alterna
    cerrada
    de arrancada
    de cargada

en pronación
en supinación
falsa
neutra
por abajo
por arriba

grado de movilidad (ROM)
maniobra de Valsalva
posición del cuerpo con cinco apoyos
prensión en garfio
punto de máxima dificultad
repeticiones
asistidas por un compañero
forzadas

PREGUNTAS DE REPASO

(respuestas en la página 657)

1. ¿Cuál de los siguientes ejercicios requiere un vigilante?
   a. Jalones.
   b. Flexiones de muñeca.
   c. Cargada de fuerza.
   d. Subida de escalones.

2. ¿Durante cuál de los siguientes ejercicios el ayudante debe tener las manos sobre los antebrazos del atleta cerca de las muñecas?
   a. *Press* de banca.
   b. *Press* de banca inclinada con mancuernas.
   c. Remo erguido.
   d. Extensiones de tríceps con haltera en decúbito supino.

3. ¿Cuál de las siguientes empuñaduras se debe usar durante el ejercicio de peso muerto?
   I. Por arriba.
   II. Cerrada.
   III. Abierta.
   IV. Alterna.
   a. Solo I y III.

b. Solo II y IV.
c. Solo I, II y IV.
d. Solo II, III y IV.

4. ¿Cuál de los siguientes es el patrón de pies correcto para el ejercicio de subida de escalones?
   a. Subir con pie *izquierdo*, subir con pie *derecho*, bajar con pie *izquierdo*, bajar con pie *derecho*.
   b. Subir con pie *derecho*, subir con pie *izquierdo*, bajar con pie *izquierdo*, bajar con pie *derecho*.
   c. Subir con pie *izquierdo*, bajar con pie *izquierdo*, subir con pie *derecho*, bajar con pie *derecho*.
   d. Subir con pie *derecho*, subir con pie *izquierdo*, bajar con pie *derecho*, bajar con pie *izquierdo*.

5. El principal movimiento durante la fase del segundo tirón del ejercicio de cargada de fuerza es:
   a. Flexión de caderas.
   b. Extensión de caderas.
   c. Flexión de rodillas.
   d. Flexión dorsal.

CAPÍTULO 16

Técnica de los modos alternativos de ejercicio y del entrenamiento con implementos no tradicionales

G. Gregory Haff, Douglas Berninger y Scott Caulfied

A la conclusión del capítulo, el lector:

- Entenderá las pautas básicas para practicar ejercicios resistidos con modos alternativos e implementos no tradicionales.
- Describirá los beneficios y limitaciones de las actividades de entrenamiento con el peso del cuerpo.
- Evaluará los beneficios y limitaciones asociados con el entrenamiento de la zona media del cuerpo (o *core*).
- Identificará la técnica apropiada y los fallos técnicos clave asociados con los modos alternativos de ejercicio.
- Aplicará correctamente bandas de resistencia y cadenas en los ejercicios tradicionales en el suelo con pesas libres.
- Determinará el uso apropiado de métodos alternativos y ejercicios con implementos no tradicionales.

El empleo de modos alternativos y ejercicios con implementos no tradicionales es cada vez más popular en el ámbito profesional de los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico. Siempre que se apliquen estos métodos en programas de entrenamiento, hay que tener en cuenta pautas básicas y específicas para garantizar la seguridad al usar estos métodos.

Pautas generales

Las pautas generales de los **modos alternativos** y de los ejercicios **con implementos no tradicionales** no difieren mucho de las que se usan con los métodos tradicionales de entrenamiento resistido. Se requiere una posición estable del cuerpo que permita al atleta asumir y mantener una alineación correcta y segura del cuerpo durante la práctica del ejercicio con el fin de someter el sistema musculoesquelético al esfuerzo apropiado. Muchos ejercicios se practican con los pies bien plantados en el suelo y separados un poco más que la anchura de los hombros. Al utilizar aparatos de inestabilidad, tal vez haya que modificar la posición del cuerpo para garantizar la estabilidad. La empuñadura usada en los ejercicios con modos alternativos e implementos no tradicionales suele ser una de las empuñaduras tradicionales que aparecen en el capítulo 15. La elección de la empuñadura se basa en las exigencias del ejercicio concreto. Además, con muchos implementos no tradicionales, la empuñadura puede ser un factor limitador en la ejecución del ejercicio.

Al igual que con los ejercicios más tradicionales, el patrón respiratorio recomendado a menudo con estos métodos alternativos es que el atleta espire durante el **punto de máxima dificultad** (porción concéntrica) e inspire durante la porción menos exigente (porción excéntrica) del movimiento. Por ejemplo, los atletas que practican el *press* de pecho con mancuernas sobre una pelota de equilibrio inspirarán mientras las mancuernas bajan hacia el pecho y espirarán mientras las impulsan hacia arriba. Con los ejercicios estructurales (los que cargan el **esqueleto axial**), se exige aguantar la respiración. Sin embargo, cuando se levantan cargas superiores al 80% de la contracción voluntaria máxima o se levantan cargas más ligeras hasta el fallo, tal vez sea inevitable la **maniobra de Valsalva** (espiración forzada con la hendidura glótica cerrada) (32). La maniobra de Valsalva permite un aumento de la presión intraabdominal y eso aumenta la estabilidad de la columna vertebral, lo cual tal vez sea beneficioso para la práctica de ejercicios no tradicionales. Por ejemplo, durante la cargada con tronco, el atleta tal vez practique la maniobra de Valsalva durante la porción de tirón y recepción del ejercicio, y espirará después de adoptar una postura erguida. El capítulo 15 presenta más información sobre la maniobra de Valsalva.

Métodos de entrenamiento con el peso del cuerpo

Los métodos de **entrenamiento con el peso del cuerpo** son algunos de los

más básicos para la práctica de un entrenamiento resistido. Específicamente con estos ejercicios, el peso corporal de la persona se usa para ofrecer resistencia (37). Actividades como flexiones de brazos, dominadas por arriba y por abajo, flexiones de abdominales y sentadillas con impulsión posterior de las piernas se suelen mencionar en el contexto del entrenamiento con el peso del cuerpo. Sin embargo, actividades como la calistenia, la gimnasia y el yoga se podrían clasificar como métodos de entrenamiento con el peso del cuerpo (38). Tal y como puso en evidencia Behm (10), la gimnasia se consideró clásicamente como parte de un sistema de educación física, y este tipo de entrenamiento favorece el desarrollo de la musculatura de la zona media (o *core*), la cual, cuando se fortalece, parece reducir el riesgo potencial de lesiones. El entrenamiento con el peso del cuerpo parece ofrecer un método de entrenamiento de bajo coste que permite desarrollar niveles relativos de fuerza.

Uno de los contratiempos relacionados con el entrenamiento resistido con el peso del cuerpo es el hecho de que la carga de resistencia se limita al peso corporal de la persona. Como tal, el entrenamiento con el peso del cuerpo tiende a no influir significativamente en los niveles de fuerza absoluta (37). Para aumentar la intensidad de los ejercicios con el peso corporal, se pueden hacer varias cosas, como incrementar el número de repeticiones o cambiar el patrón de movimiento. Si bien aumentar el número de repeticiones cambiará la carga de trabajo, orientará el resultado deseado de la fuerza hacia fuerza-resistencia, lo cual altera su función en el desarrollo de la fuerza. Sencillas modificaciones de los ejercicios con el peso corporal tal vez eviten alguna de estas limitaciones. Cambiar el patrón de movimiento, por ejemplo, mediante la elevación de las piernas durante una flexión de brazos, aumentará la resistencia. Sistemas de suspensión con ejercicios con el peso corporal también sirven para aumentar la intensidad del entrenamiento (71, 72), tal y como revelan los incrementos en los patrones de activación muscular (51). Snarr y Esco (72) refieren que la **activación muscular** es significativamente mayor en las flexiones de brazos practicadas con un aparato de suspensión cuando se compara con las flexiones de brazos tradicionales sobre el suelo estable.

Pautas generales para los modos alternativos y los ejercicios con implementos no tradicionales

- Garantizar la alineación correcta del cuerpo mediante la selección de una posición estable del cuerpo.
- Si el ejercicio se practica en bipedestación, se hará con los pies bien plantados en el suelo y separados un poco más que la anchura de los hombros.
- Usaremos la empuñadura apropiada para el ejercicio basándonos en el tipo de ejercicio (véase el capítulo 15 para más detalles).
- Se espira durante la porción concéntrica del ejercicio y se inspira durante la fase excéntrica.
- Con grandes cargas (el 80% o más de la contracción voluntaria máxima) o con cargas más ligeras hasta el fallo, la maniobra de Valsalva tal vez sea una técnica útil para mantener la estabilidad de la columna vertebral.

Beneficios del entrenamiento con el peso del cuerpo

Estos son algunos de los beneficios del entrenamiento con el peso del cuerpo (37):

- Es específico de la antropometría de cada persona.
- A menudo comprende ejercicios en cadena cinética cerrada.
- Fortalece a la vez varios grupos musculares.
- Desarrolla fuerza relativa.
- Mejora el control del cuerpo.
- Es una alternativa de entrenamiento barata.

Métodos de entrenamiento del equilibrio y la estabilidad de la zona media

Hay un interés creciente por entrenar la **zona media** (o *core*) en un intento por mejorar la salud general, rehabilitar lesiones y mejorar el rendimiento atlético (10). Para centrarse en la estabilidad y el equilibrio de la zona media, en la literatura aplicada se ha abogado por distintas intervenciones, desde los tradicionales **ejercicios con pesas libres** con los pies bien plantados en el suelo y separados un poco más que la anchura de los hombros hasta el entrenamiento con aparatos de inestabilidad.

Enfoque anatómico

El término *zona media* (o *core*) se suele usar en los medios de comunicación populares y en algunas revistas especializadas en entrenamiento (10) para referirse al tronco o, más específicamente, a la región lumbopélvica del cuerpo (81). No obstante, la interpretación de la literatura científica parece hacer una definición exacta y coherente, que es endeble en el mejor de los casos (10, 82). Por lo general, la **zona media anatómica** se define como el

esqueleto axial y todos los tejidos blandos con inserciones proximales que se originan en el esqueleto axial (9, 10). Es importante reparar en que el esqueleto axial comprende la cintura pélvica y la cintura escapulohumeral, mientras que los tejidos blandos incluyen los cartílagos y fibrocartílagos articulares, los ligamentos, tendones, músculos y fascias (10). Por último, los tejidos blandos actúan generando fuerzas (acciones musculares concéntricas) y movimiento resistido (acciones musculares excéntricas e isométricas).

Los músculos se suelen asociar con la zona media para la transferencia de torques e inercia angular durante la ejecución de actividades de cadena cinética integrada, como patear un balón o el lanzamiento de un implemento (81). De hecho, Willardson (81) sugiere que el aumento de la estabilidad de la zona media del atleta mejorará las bases para la producción de fuerza con las extremidades superiores e inferiores.

Ejercicios de músculos aislados

Los **ejercicios de músculos aislados** suelen consistir en acciones musculares dinámicas o isométricas, diseñadas para aislar la musculatura específica de la zona media (o *core*) sin la contribución de las extremidades superiores e inferiores (10). Por ejemplo, ejercicios habituales practicados para aislar la zona media son el tablón (68) y el tablón en decúbito lateral (78). Hay pruebas de que estos tipos de ejercicios aislados pueden aumentar la activación muscular, lo que se ha sugerido que se traduce en mejoras en la estabilidad vertebral y en una reducción de las lesiones (56). Mientras que las evidencias sugieren que estas actividades se traducen en mejoras del rendimiento de personas no entrenadas y en las que se recuperan de una lesión, hay muchas menos que respalden la idea de que estas actividades de entrenamiento se traduzcan en mejoras del rendimiento deportivo (65, 81). De hecho, en una reciente revisión sistemática, Reed (65) refirió que el entrenamiento aislado de la zona media anatómica no es muy eficaz para la mejora del rendimiento deportivo. Además, según Behm (10) y Willardson (81), hay pruebas sólidas de que los ejercicios con pesas libres y con los pies bien plantados en el suelo y separados un poco más que la anchura de los hombros (p. ej., sentadillas, peso muerto, extensiones de hombros, arrancada y ejercicios que impliquen la rotación del tronco) ofrecen un mayor beneficio para el rendimiento deportivo de verdad comparado con el entrenamiento aislado de la zona media anatómica. Las actividades con pesas libres y con

los pies bien plantados en el suelo y separados un poco más que la anchura de los hombros parecen ofrecer variación a la musculatura de la zona media que es similar o, en la mayoría de los casos, mayor que los ejercicios tradicionales de músculos aislados, diseñados para ejercitar la zona media anatómica (35, 60). Los ejercicios de músculos aislados tal vez aporten el mayor beneficio a los atletas lesionados que pasan por el proceso de rehabilitación y no son capaces de practicar adecuadamente ejercicios tradicionales con pesas libres y con los pies bien plantados en el suelo y separados un poco más que la anchura de los hombros (81).

Las actividades con pesas libres y con los pies bien plantados en el suelo y separados un poco más que la anchura de los hombros parecen ofrecer una activación similar o, en muchos casos, mayor a la musculatura de la zona media anatómica (o *core*) cuando se comparan con ejercicios tradicionales de músculos aislados pensados para ejercitar la zona media.

Ejercicios en máquinas de musculación frente a ejercicios con pesas libres

Cuando los métodos de entrenamiento con pesas libres se comparan con los métodos de entrenamiento en máquinas de musculación, ambos presentan ventajas y desventajas (10, 34, 75). Por lo que respecta al **entrenamiento en máquinas de musculación**, la estabilidad que aportan las máquinas tal vez mejore la capacidad para trabajar grupos musculares específicos; sin embargo, en el contexto del rendimiento deportivo, los músculos pocas veces, si es que alguna, trabajan de forma aislada (10). Por lo que se refiere a los músculos ortostáticos, se suele aceptar que la activación de estos músculos es mayor durante el entrenamiento con pesas libres que durante el entrenamiento en máquinas de musculación (33). Anderson y Behm (2), en parte respaldando esta creencia, afirman que la actividad de los músculos estabilizadores de la espalda fue un 30% inferior durante una sentadilla en máquina Smith en comparación con una sentadilla con pesas libres. Además, hay pruebas científicas de que las mejoras de la fuerza en máquinas de musculación ejercen un posible o mínimo efecto perjudicial sobre el patrón de activación muscular durante movimientos atléticos (2, 15, 57). No obstante, si la inestabilidad aumenta por la práctica de ejercicios con pesas libres sobre superficies o aparatos inestables, se han registrado mayores decrementos en la producción de fuerza, en el ritmo de desarrollo de la fuerza

y en la producción de potencia (23, 49). Por tanto, basándonos en estos datos, parece que los ejercicios con pesas libres ofrecen la combinación ideal de especificidad e inestabilidad, sobre todo cuando uno se centra en el desarrollo de la fuerza y la potencia. Por último, es posible estimular suficiente inestabilidad para desarrollar adaptaciones para el deporte específico mediante el entrenamiento tradicional de la fuerza con pesas libres y no parece haber necesidad de aumentar la inestabilidad en estos ejercicios (10).

Los ejercicios con pesas libres ofrecen la combinación ideal de especificidad e inestabilidad, sobre todo cuando nos centramos en el desarrollo de la fuerza y la potencia.

Aparatos de inestabilidad

Se suelen considerar ejercicios basados en la inestabilidad aquellos que se practican sobre superficies o aparatos inestables que suele haber en las instalaciones dedicadas a la fuerza y el acondicionamiento físico. El aumento de la popularidad del entrenamiento en aparatos de inestabilidad parece proceder de su uso por parte de fisioterapeutas para el proceso de rehabilitación. Estos aparatos favorecen un desequilibrio ortostático que exige una mayor participación estabilizadora por parte de la musculatura de la zona media anatómica (o *core*) (10, 81). Si se aplican alteraciones durante el empleo de estos aparatos, se produce un desafío para el equilibrio que requiere la activación de la musculatura de la zona media anatómica con el fin de inducir ajustes en la postura para mantenernos erguidos (19).

Existen numerosos aparatos de inestabilidad a disposición de los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico; los más habituales son la pelota suiza, el balón medicinal y la pelota de gimnasia rítmica (10). Otras opciones son el *bosu* (semiesfera inflada por un lado y el otro plano y de goma), los discos inflables, las tablas oscilantes, las tablas de equilibrio, los rodillos de gomaespuma y diversas plataformas de espuma. Superficies naturales como la arena también ofrecen situaciones que introducen inestabilidad en los patrones de movimiento de los atletas, creando un mayor desafío para el equilibrio que se traduce en un aumento de la activación de la musculatura de la zona media anatómica. Muchos especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico creen que la práctica de ejercicios de inestabilidad ejercita los músculos agonistas, al tiempo que aumenta la activación de la musculatura de la zona media anatómica (10). Aunque hay

pruebas que sugieren que tal vez se incremente la activación de la musculatura de la zona media, parece que este incremento se produce junto con la reducción de la generación de fuerza por los músculos agonistas (9, 23). Durante el entrenamiento con ejercicios de inestabilidad, la capacidad generadora de fuerza por los músculos agonistas (8) y la producción general de potencia (23) tal vez sean inferiores al 70% de las que se consiguen cuando el ejercicio se practica bajo condiciones de estabilidad. Adicionalmente puede haber una reducción significativa de la tasa de producción de fuerza durante el ejercicio (60). Entrenar con una reducida producción de fuerza, de potencia y ritmo de desarrollo de la fuerza tal vez no sea el método más ventajoso para preparar a los atletas, ya que estos factores tienen un gran impacto sobre muchos aspectos centrales para el éxito del rendimiento deportivo.

En general, hay pocos estudios de investigación que sugieran que la ejecución de ejercicios resistidos sobre aparatos inestables por atletas consiga mejoras significativas en el rendimiento (21, 73). La falta de ventajas para el rendimiento registradas en la literatura tal vez debería ser esperable si nos basamos en el principio del rendimiento decreciente, pues es muy probable que los atletas entrenados requieran un estímulo de adaptación mucho mayor en lo que se refiere a la producción de fuerza, la velocidad de los movimientos y la tasa de producción de fuerza para que se materialicen las mejoras en el rendimiento que se consiguen con aparatos para los ejercicios de inestabilidad (10, 47). Por tanto, la práctica de actividades de equilibrio estático sobre aparatos de inestabilidad se puede considerar un paso de introducción para mejorar el equilibrio y la estabilidad de la zona media anatómica antes de proceder con los ejercicios dinámicos o explosivos con pesas libres, como los levantamientos olímpicos, que se practican sobre superficies estables (10).

Los ejercicios con pesas libres (p. ej., sentadillas, peso muerto, levantamientos olímpicos) implican cierto grado de inestabilidad que permite el desarrollo simultáneo de todos los eslabones de la cadena cinética, con lo que ofrecen un estímulo de entrenamiento mucho mejor para el desarrollo de la estabilidad de la zona media anatómica (o *core*) y para la mejora del rendimiento atlético que los ejercicios basados en aparatos de inestabilidad.

Cuando se usan en el marco de la rehabilitación, los aparatos de inestabilidad han demostrado reducir los casos de lumbalgia y mejorar la eficacia de los tejidos blandos que estabilizan las articulaciones de la rodilla y

la tibioastragalina (9, 10). Como varios músculos relacionados con la articulación de la rodilla se originan en la región lumbopélvica, la zona media anatómica podría considerarse un colaborador importante en la prevención de las lesiones del **ligamento cruzado anterior (LCA)** (58). De hecho, varios estudios aportan pruebas de que el uso de aparatos de inestabilidad reduce la posibilidad de lesiones del LCA (58), sobre todo después de la rehabilitación de una lesión de este ligamento (59). Por ejemplo, Fitzgerald (28) refirió que las actividades que suponían un desafío para el atleta en rehabilitación mediante alteraciones simuladas por tablas basculantes, tablas de equilibrio sobre rodillo y otros aparatos hacen cinco veces más probable una vuelta con éxito a las actividades deportivas de competición. Adicionalmente, Caraffa (18) sugirió que la adición de un entrenamiento del equilibrio a los métodos tradicionales de entrenamiento permite una reducción de las lesiones del LCA en futbolistas amateur. Sin embargo, en una revisión sistemática, Grimm (31) negó esta conexión y sugiere que estos tipos de intervenciones no reducen el riesgo de lesiones del LCA. Al contrario, las actividades en bipedestación con pesas libres parecen tener un efecto más equilibrado y derivan en mejoras del rendimiento, al tiempo que aumentan la fuerza de la zona media y la capacidad para mantener el equilibrio. Por último, el uso de ejercicios con aparatos de inestabilidad para entrenar la zona media anatómica parece ser un método eficaz para devolver a los atletas lesionados al entrenamiento de competición.

Métodos de entrenamiento con resistencia variable

La práctica del entrenamiento resistido comprende tres métodos para aplicar sobrecargas al cuerpo: **resistencia externa constante, resistencia acomodante** y **resistencia variable** (30, 54). El método más corriente para aplicar resistencia durante el entrenamiento es el uso de carga externa constante, representada sobre todo por los métodos tradicionales de entrenamiento resistido (p. ej., pesas libres). En este caso, la carga externa se mantiene constante durante todo el arco de movilidad, representa mejor las actividades de la vida real y permite una coordinación musculoesquelética y unos patrones de movimiento más realistas (36, 54, 63). Por otra parte, la resistencia acomodante (a veces denominada *aplicaciones de resistencia semiisocinética*) suele permitir velocidad de movimiento o resistencia isocinética controlada durante el arco de movilidad (54, 75). Stone (75)

sugiere que estos aparatos tienen poca validez externa. Por lo demás, es improbable que aporten un estímulo de entrenamiento adecuado cuando se comparan con métodos más tradicionales, como los que implican movimientos de carga constante con pesas libres, sobre todo cuando estos movimientos se practican con patrones de movimiento poliarticulares.

Con los tradicionales ejercicios resistidos, la carga externa se mantiene constante, pero las fuerzas ejercidas por el músculo varían conforme a las ventajas mecánicas asociadas con las articulaciones implicadas en el movimiento (3, 13, 30). Para combatir las ventajas mecánicas cambiantes y las propiedades de inercia asociadas con la resistencia de carga constante, se ha hecho un esfuerzo concertado por desarrollar aparatos innovadores de entrenamiento que permitan que la resistencia aplicada varíe, junto con cambios en el ángulo articular (30). Estos métodos de resistencia variable intentan alterar la resistencia para que el músculo potencie la aplicación de fuerza durante todo el arco de movilidad (29). Por ejemplo, en la sentadilla trasnuca, la máxima producción de fuerza muscular ocurre en la porción superior del movimiento, mientras que las fuerzas son mínimas en la porción inferior. Por tanto, se usarían métodos de resistencia variable para reducir la resistencia en el punto más bajo de la sentadilla y la resistencia aumentaría a medida que el atleta se incorpora de la posición agachada. Otra consideración es que durante el esfuerzo concéntrico de un movimiento, una gran parte del tiempo se pasa desacelerando (30). En general se ha sugerido que los métodos de resistencia variable tal vez sean capaces de igualar los cambios en la acción de palanca de las articulaciones (85), superar las desventajas mecánicas asociadas con ángulos articulares específicos (24, 69,70, 79) y prever la aceleración compensatoria (69, 70).

Con el empleo de un modelo de resistencia de carga variable, la metodología más habitual en las instalaciones modernas de fuerza y acondicionamiento físico es la aplicación de cadenas o bandas de resistencia (30, 54). La combinación de estas con los métodos tradicionales de entrenamiento resistido con pesas libres ha demostrado alterar el perfil de carga típico durante estas actividades de carga constante (30, 41). Específicamente, las cadenas o bandas de resistencia permiten variar la resistencia a lo largo del arco de movilidad desarrollado durante la actividad.

Determinación de la carga cuando se usan cadenas

Para determinar la carga cuando se usan cadenas, la resistencia absoluta de la cadena en la porción superior y en la porción inferior del movimiento se suman y luego se obtiene el promedio. Por ejemplo, si los atletas quieren entrenar con una carga para 5 repeticiones máximas (5RM) en el *press* de banca, primero deben determinar la carga de 5RM sin las cadenas. A continuación, si las 5RM son 120 kg, se resta de esta carga la media de la resistencia de la cadena. Si en la posición inferior la carga es 0 kg y en la posición superior la carga de la cadena es 11,1 kg, la media es 5,55 kg. Por tanto, el atleta sumaría 114 o 115 kg a la haltera para obtener la carga apropiada.

Con la aplicación del modelo de entrenamiento con resistencia variable, la metodología más habitual en los centros modernos de entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico es la aplicación de cadenas y bandas elásticas (30, 54).

Ejercicios en que se usan cadenas como implementos

Un método cada vez más popular de aplicar resistencia variable es la adición de **cadenas** a las actividades tradicionales de entrenamiento resistido, como el *press* de banca y la sentadilla trasnuca (4, 13, 39, 54). Este método de aplicación de fuerza es muy popular entre los *powerlifters* (69, 70), pero ha crecido su popularidad entre los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico para diversos deportes (22). A pesar de la creciente popularidad y de la creencia de que estos métodos ofrecen una ventaja en el entrenamiento, estas creencias no han sido muy respaldadas por la literatura científica (13, 14, 39, 54). No obstante, algunos estudios demuestran que la aplicación de cadenas a los métodos tradicionales de entrenamiento resistido, como el *press* de banca, resulta ventajosa (6). Una cuidadosa inspección de estos estudios revela que el medio por el cual se aplican las cadenas al ejercicio con pesas libres tal vez influya en su eficacia. Específicamente, estos estudios usaron un método en que la cadena se suspendió de la barra sin tocar el suelo hasta que el atleta hubo alcanzado la posición inferior de la sentadilla o hasta que la barra alcanzó la altura del pecho en el *press* de banca (6). Aunque algunos estudios parecen respaldar esta metodología, se necesitan muchos más para explorar los diversos métodos de aplicar cadenas a los métodos tradicionales de entrenamiento resistido.

Determinación de la resistencia cuando se usan cadenas

La resistencia ofrecida por las cadenas depende en gran medida de la estructura, densidad, longitud y diámetro de la cadena, y estas características

se deben cuantificar antes de usar las cadenas en el entrenamiento. Además, el número de eslabones de una cadena influye en la resistencia que ofrece (13, 55). Para cuantificar la carga de una cadena, Berning (13) desarrolló una tabla para relacionar el diámetro y la longitud de los eslabones de las cadenas con su carga de resistencia. Esta tabla fue modificada más adelante por McMaster (54) para mostrar la relación entre masa, longitud y diámetro de las cadenas (tabla 16.1).

Como medio para decidir la resistencia de la haltera con cadenas, se determina la carga absoluta para las porciones superior e inferior del movimiento (4). Luego se calcula la media de esas dos cargas y se emplea para modificar la carga de la haltera con el fin de que el atleta entrene dentro del límite prescrito.

Por regla general, Baker (4) recomienda que el uso de cadenas se reserve a atletas de nivel intermedio con experiencia y a atletas de elite que hayan desarrollado una técnica estable, dado que la adición de cadenas aumenta el desafío de la carga y afecta a la técnica del atleta.

Aplicación de cadenas en ejercicios con pesas libres

Por lo general, la aplicación de cadenas en los métodos tradicionales de entrenamiento resistido permite un incremento lineal de la resistencia aplicada (54). Formas de aplicar cadenas son dejar que toquen el suelo en la posición totalmente extendida durante el movimiento (13), o que pendan de cadenas más ligeras (figura 16.1), lo cual permite que toquen el suelo solo cuando se llega a la porción inferior (figura 16.2) del patrón de movimiento (es decir, el fondo de la sentadilla o al nivel del pecho durante el *press* de banca) (4, 6). Baker (4) sugiere que el segundo método tal vez afecte la velocidad de movimiento de tres formas diferenciadas. En primer lugar, el complejo formado por la haltera y las cadenas interviene solo en lo más alto del movimiento (es decir, en la fase de extensión), cuando los eslabones de la cadena se han levantado del suelo. En lo más bajo del movimiento, los eslabones están en contacto total con el suelo, reduciéndose la carga y permitiendo al atleta acelerar la haltera a un ritmo más rápido. En segundo lugar, es posible que se produzca un efecto de potenciación posactivación durante las repeticiones como respuesta a una mayor activación neuronal. Específicamente, cuando las cadenas se amontonan en el suelo y disminuye la masa de la haltera, puede haber una mayor activación neuromuscular, lo que permite mejorar la velocidad del movimiento. Por último, es posible que

el aumento de la resistencia en la porción inferior del movimiento pueda causar un ciclo más rápido de estiramiento-acortamiento. Baker (4) sugiere que esto sucede como respuesta a la descarga excéntrica que ocurre cuando los eslabones de la cadena se amontonan en el suelo al final del movimiento descendente, y se produce una fase de amortización más rápida cuando el atleta pasa de una acción muscular excéntrica a otra concéntrica.

TABLA 16.1 Masa, longitud y diámetro de las cadenas

Diámetro de las cadenas (mm)	Masa (kg) y longitud de las cadenas				
	10 cm	50 cm	100 cm	150 cm	200 cm
6,4	0,3	1,3	2,5	3,8	5,0
9,5	0,4	1,9	3,7	5,6	7,4
12,7	0,7	3,7	7,4	11,1	14,8
19,1	1,4	7,0	14,0	21,0	28,0
22,2	2,2	10,8	21,6	32,4	43,2
25,4	2,8	14,0	28,0	42,0	56,0

Fuente: Adaptado, con autorización, de McMaster, Cronin y McGuigan, 2009 (54).



FIGURA 16.1 *Press* de banca con resistencia adicional usando cadenas. Los eslabones de las cadenas se pasan sobre las cadenas más ligeras, de modo que la cadena no entre en contacto con el suelo hasta que la haltera llegue a la altura del pecho. Cuando el atleta baje la haltera hasta el pecho, la resistencia disminuye progresivamente a medida que las cadenas se amontonan en el suelo. Por el contrario, a medida que el atleta mueve

concéntricamente la haltera alejándola del pecho, la resistencia aumenta de forma progresiva al mismo tiempo que las cadenas se alzan del suelo.



FIGURA 16.2 Cuando la barra está a la altura del pecho durante el *press* de banca, las cadenas se amontonan en el suelo, con el resultado de que su peso no actúa sobre la haltera.

Ejercicios con bandas de resistencia

El uso de **bandas de resistencia** para aumentar la resistencia de la haltera tradicional cada vez es más popular entre los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico (4, 27, 46, 77). Hay estudios que respaldan el uso de bandas de resistencia con los ejercicios tradicionales de entrenamiento resistido (1, 74, 79). Por ejemplo, Wallace (79) sugiere que el uso de bandas para remplazar el 35% de la carga total durante una sentadilla trasnuca aumenta brusca y aproximadamente un 13% el pico de potencia. Baker y Newton (5) también sugieren que el uso de bandas tal vez active el efecto de potenciación posactivación en cada repetición. Respalda esta opinión el trabajo de Stevenson (74), quien demostró que el uso de bandas que aportan un 20% de la carga de entrenamiento provoca una respuesta aguda en la tasa concéntrica de desarrollo de fuerza en comparación con un estado de carga constante. Aunque estos datos parecen sugerir que la adición de bandas a los métodos tradiciones de entrenamiento resistido tal vez ofrezca algún

beneficio, sobre todo para la potencia o el índice de producción de fuerza, hay estudios que contradicen estos hallazgos (24, 41). Por ejemplo, Ebben y Jensen (24) no registran diferencias en la electromiografía integrada y en las fuerzas medias de reacción contra el suelo cuando se usan bandas de resistencia que aportan el 10% del total de la carga durante sentadillas.

Actualmente existe un número mínimo de estudios sobre el uso de bandas de resistencia, sobre todo estudios longitudinales, para determinar si los efectos inmediatos apreciados por algunos autores se traducen al cabo de un tiempo en mejoras superiores de la fuerza y la potencia. También se necesitan más estudios de investigación para determinar las metodologías óptimas en la utilización de bandas para el desarrollo de los atletas.

Determinación de la resistencia con bandas elásticas

Al trabajar con bandas de resistencia, es importante entender que su composición varía dependiendo del tipo de termoplástico o elastómero usado para producirlas (54). La composición de las bandas de resistencia es importante porque influye en su rigidez, densidad, elasticidad y resistencia a la tracción (54, 55, 77). Finalmente, la tensión (resistencia) generada por una banda elástica se determina por su rigidez global y por la extensión que alcanza cuando se estira (deforma) la banda (55). Específicamente, basándonos en la ley de Hooke, la tensión generada por una banda es igual a su rigidez (k) multiplicada por la deformación (d):

$$\text{Tensión} = \text{Rigidez } (k) \times \text{Deformación } (d)$$

Mientras la banda se estira (es decir, mientras aumenta su deformación), se produce un incremento lineal del grado de tensión a que se somete la banda. Sin embargo, varios estudios sugieren que las bandas de resistencia presentan áreas de deformación lineal y curvilínea (1, 55, 62).

Cuando se usan bandas de resistencia con ejercicios tradicionales de entrenamiento con pesas libres, como el *press* de banca y la sentadilla trasnuca, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe ser consciente de que hay una diferencia de un 3,2% y un 5,2% entre la tensión media de dos bandas supuestamente iguales (55). En la tabla 16.2 se aprecia una relación básica de longitud-tensión, y la tensión se puede predecir basándose en la longitud de la banda aplicando una ecuación predictiva.

De forma parecida a como se aplica resistencia al utilizar cadenas, el uso

de bandas requiere que el entrenador determine cuánta carga aportan las pesas libres y cuánta las bandas a lo largo del arco de movilidad (4). Específicamente, el entrenador debe determinar la carga de la banda en las porciones superior e inferior del movimiento, y obtener una media de esas dos cargas. Basándonos en las recomendaciones de Baker (4), un atleta que quiera entrenar con una carga de 150 kg para 5RM con bandas tendrá que restar la medida de las dos posiciones de la banda (es decir, superior e inferior) y reducir esa misma carga en la haltera. Por tanto, si la banda ejerce una resistencia cero en la porción inferior del movimiento y una carga de 26,6 kg en la porción superior (es decir, con los codos extendidos y bloqueados en el *press* de banca), basándose en la longitud de la banda alcanzada durante el estiramiento, el atleta restará 13,3 kg del peso total de la barra sin las bandas para llegar a un peso de 136 a 137 kilogramos.

Aplicación de bandas de resistencia a los ejercicios con pesas libres

Para aplicar bandas en ejercicios resistidos con pesas libres, existen multitud de métodos. La banda se puede prender de la haltera y de un tope preparado para la ocasión o de un punto de la jaula de sentadillas, o de unas mancuernas muy pesadas (4). Cuando se aplican bandas, la máxima tensión y la carga total de resistencia se manifiestan en la posición superior. Por el contrario, en la posición inferior la carga aplicada se reduce, ya que las bandas dejan de estar estiradas y, por tanto, ya no aplican tensión sobre la haltera. Por ejemplo, en el punto más bajo de la sentadilla (figura 16.3), las bandas no tienen tanta tensión y no crean tensión activa sobre la haltera, con lo cual no añaden resistencia adicional al ejercicio. Mientras el atleta asciende de la posición inferior a la posición de bloqueo de los codos, las bandas generan más resistencia al estiramiento y el atleta experimenta la carga completa de la haltera y las bandas (figura 16.4). Es importante reparar en que mientras el atleta se eleva de la posición agachada, la carga del estiramiento aumenta gradualmente. Por el contrario, mientras el atleta desciende, la carga de estiramiento disminuye gradualmente.



FIGURA 16.3 Posición inferior de una sentadilla practicada con bandas.

TABLA 16.2 Ejemplo de relaciones entre la longitud y la tensión de las bandas de resistencia

Ancho (mm)	Color	Relaciones entre longitud y tensión (kg)					Ecuación predictiva de la tensión
		110 cm	120 cm	130 cm	140 cm	150 cm	
14	Amarillo	2,6	5,7	8,1	9,8	11,5	$Y = -0{,}003x^2 + 0{,}98x - 69{,}82$
22	Rojo	4,6	9,6	13,3	16,6	19,2	$Y = -0{,}004x^2 + 1{,}38x - 99{,}49$
32	Azul	8,5	14,8	19,5	23,9	27,3	$Y = -0{,}004x^2 + 1{,}60x - 114{,}86$
48	Verde	6,8	16,5	24,0	30,0	49,3	$Y = -0{,}007x^2 + 2{,}43x - 179{,}56$
67	Negro	15,4	29,1	40,0	49,3	57,2	$Y = -0{,}010x^2 + 3{,}73x - 269{,}21$

Fuente: Adaptado, con autorización, de McMaster, Cronin y McGuigan, 2009 (54).



FIGURA 16.4 Posición superior de una sentadilla con bandas de resistencia.

Métodos de entrenamiento con implementos no tradicionales

Tradicionalmente, las intervenciones con entrenamiento resistido usadas en las instalaciones más modernas dedicadas a la fuerza y el acondicionamiento físico se han centrado en el uso de halteras, mancuernas y diversas máquinas de entrenamiento resistido. Más recientemente, los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico han comenzado a incorporar implementos no tradicionales para multiplicar la variación en la preparación de los atletas. Los implementos no tradicionales comprenden objetos que se suelen asociar con el **entrenamiento Strongman**, como ruedas, troncos, pesas rusas, piedras,

trineos lastrados, etc. (39). Si bien el entrenamiento con implementos no tradicionales cada vez goza de más popularidad, en la actualidad hay pocos estudios que hayan determinado directamente la eficacia de estos métodos de entrenamiento.

Aunque está aumentando la popularidad del entrenamiento con implementos no tradicionales, actualmente hay pocas investigaciones que estudien directamente la eficacia de estos tipos de métodos de entrenamiento.

Entrenamiento Strongman

El entrenamiento Strongman ha visto aumentar recientemente su popularidad como herramienta para mejorar el rendimiento deportivo (11, 53, 66, 80, 84, 86). Algunos de los ejercicios más habituales son el volteo de ruedas, el levantamiento de troncos o barriles de cerveza y el paseo del granjero. Aunque la investigación sobre estos tipos de ejercicios es limitada, algunas pruebas sugieren que sirven para introducir estímulos de alta intensidad que generan como respuesta un nivel elevado de lactato en sangre (12, 44, 86). Por lo demás, se ha sugerido que estos ejercicios crean un mayor grado de inestabilidad que realmente desafía a los atletas de distintos modos en comparación con las actividades tradicionales del entrenamiento resistido (53).

Volteo de ruedas

El volteo se suele hacer con ruedas de camiones o de vehículos pesados que se modifican añadiendo peso extra en el centro para ajustarse a las necesidades individuales (39, 80). La selección del tamaño adecuado del neumático depende de numerosos factores que los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico deben tener en cuenta al diseñar un programa específico para un atleta. También se debe pensar en las dimensiones del neumático, su altura, anchura y peso (16). Por regla general, el neumático no debe ser más alto que la altura del atleta cuando está erguido: Cuanto más alto sea el neumático, más difícil le resultará al atleta voltearlo debido a la desventaja mecánica y a la mayor distancia general necesaria para levantarlo. Por ejemplo, los neumáticos estrechos se suelen considerar más difíciles de voltear si los atletas son más altos, por la longitud y anchura de las extremidades. Por el contrario, los neumáticos más anchos son más difíciles de voltear por parte de los atletas más bajos debido a la menor longitud de los

brazos (16). Otro aspecto que hay que tener en cuenta es la banda de rodadura del neumático; las bandas gastadas son más difíciles de agarrar, mientras que si son muy profundas existe el riesgo potencial de que presenten cortes, restos o metal expuesto que podría causar heridas al atleta (16, 80). Una vez que se elige el neumático correctamente y basándose en los niveles de fuerza del atleta, se opta por una técnica adecuada para el ejercicio con el fin de reducir al mínimo el riesgo de lesión.

Se usan tres técnicas básicas para voltear ruedas: la técnica de sumo, el estilo de levantamiento de espaldas y la técnica de hombros contra la rueda (16, 80). La técnica de volteo estilo sumo recurre a la postura tradicional con las piernas bien separadas —como para practicar el peso muerto—, con posicionamiento de los brazos y una empuñadura más estrecha. Esta técnica suelen usarla los *powerlifters* cuando practican el peso muerto. Con ella, una vez que la rueda se ha levantado hasta la altura de las caderas o del pecho, las manos giran para ejercer presión hacia delante con los brazos a fin de voltear la rueda (16, 80). El estilo de levantamiento de espaldas se ejecuta con una posición de las piernas más convencional y menos separadas, terminando con un movimiento presionante hacia delante. Esta técnica se inicia con los pies separados la anchura de las caderas, flexionando rodillas y caderas, permitiendo que el atleta agarre la base del neumático y tire de él de forma similar al peso muerto (80). Cuando se eleva la rueda, las manos se recolocan para ejercer presión hacia delante a fin de voltearla (16). En la actualidad ningún estudio ha investigado directamente la seguridad general de cualquiera de las técnicas de volteo de ruedas. No obstante, aunque algunos autores sugieren que el estilo de sumo es el más seguro, recientemente la técnica de hombros contra la rueda se ha convertido en la preferida en la literatura práctica (16). El neumático está tumbado de costado y el atleta procede arrodillándose detrás de él. Los pies se sitúan separados la anchura de las caderas con los tobillos en flexión dorsal. En esta posición, el atleta apoya el mentón y los hombros sobre el neumático. Esta disposición de la rueda sobre los hombros es parecida a la que se ve en las tradicionales sentadillas frontales con haltera (véase el capítulo 15). Se agarra el neumático con una prensión en supinación y una anchura que depende en gran medida del tamaño del neumático (es decir, cuanto más ancho sea este, más estrecha será la prensión). En esta posición, el atleta sigue con la flexión dorsal de los tobillos para ponerse de puntillas mientras levanta las rodillas del suelo. En este punto, el centro de gravedad del atleta debe hacer una transición hacia el

neumático, apoyando la mayor parte del peso sobre la rueda. A continuación, el atleta eleva el pecho y contrae la musculatura lumbar (16) (véase la fotografía de la posición inicial en la sección dedicada a la técnica de los ejercicios cerca del final de este capítulo).

Volteo de ruedas

Técnica

Puntos que hay que recordar:

- Seleccionar una superficie que sea aceptable para el volteo de ruedas.
- Al arrodillarse detrás de la rueda, se apoya sobre el neumático el mentón y la cara anterior del músculo deltoides.
- Se emplea una prensión en supinación con los brazos extendidos, pero sin bloquear los codos para agarrar la rueda.
- Se mueven los tobillos en flexión dorsal y se levantan las rodillas del suelo para ponerse de puntillas.
- Se eleva el pecho y se contrae la musculatura lumbar.

La técnica del movimiento:

- Se extienden las rodillas y las caderas y se mueven los tobillos en flexión plantar mientras se empuja el neumático hacia delante y hacia arriba.
- El atleta se mueve explosivamente hacia la rueda dando dos o tres pasos.
- Se flexiona una cadera y se golpea con fuerza la rueda con el cuádriceps de esa pierna.
- Inmediatamente después de dar el golpe a la rueda, se reorientan las manos con prensión en pronación.
- Se desplazan los pies hacia delante mientras se extienden los brazos con el fin de voltear la rueda.

Errores técnicos habituales y sus correcciones

- *Defecto: Situar los pies demasiado cerca de la rueda al iniciar el movimiento*. Cuando esto sucede, los atletas suelen tener que encorvar la espalda y situar las rodillas cerca del pecho para iniciar el movimiento. *Corrección:* Los atletas tienen que alejar los pies de la rueda y elevar el pecho mientras contraen la musculatura lumbar.
- *Defecto: Las caderas se levantan más rápido que los hombros durante el movimiento inicial de empuje*. Este defecto es muy parecido al que se ve durante la práctica del peso muerto con una técnica incorrecta. *Corrección:* Hay que pedir a los atletas que mantengan las caderas abajo y muevan la rueda hacia delante en vez de levantarla. Además, animaremos a los atletas a mantener las caderas un poco más bajas que los hombros durante este movimiento.
- *Defecto: Se usa un movimiento de elevación en vez de empuje*. Con ruedas más pesadas, este movimiento reduce la velocidad de levantamiento; el neumático perderá fuerza de inercia al elevarse a la altura de las caderas, forzando al atleta a voltear la rueda «a fuerza de músculo». Esta es una posición muy peligrosa porque es muy fácil

que el neumático se venza sobre el atleta, por lo que se tiene que corregir inmediatamente. *Corrección:* Hay que animar al atleta a impulsar y desplazar el neumático hacia delante mientras se eleva. La clave consiste en golpear la rueda con el músculo cuádriceps a la altura de la cadera y seguir con el patrón de movimiento hacia delante.

Ayudantes para el volteo de ruedas

En general, se requieren dos vigilantes, que se colocan a ambos lados del atleta. Los vigilantes deben hacer lo siguiente:

- Ayudar al atleta empujando la rueda cuando sea necesario.
- Prestar mucha atención para poder ayudar en caso de que el atleta pierda el agarre sobre el neumático.
- Estar atentos a lo que sucede alrededor del atleta; en concreto, el área de aterrizaje de la rueda tiene que vigilarse para asegurarse de que está libre de personas y otros aparatos.

Fuente: Adaptado, con autorización, de Bullock, J.B. y Aipa, D.M.M. (2010). Coaching considerations for the tire flip. *Strength & Conditioning Journal*, 32:75-78.

A continuación, el atleta inicia el movimiento de volteo extendiendo las rodillas y las caderas, seguido por la flexión plantar de los tobillos con el fin de empujar la rueda hacia adelante y arriba. Mientras tanto, los hombros y caderas se elevan al mismo ritmo, acabando en una triple extensión, tras la cual el atleta se mueve hacia delante dando dos o tres pasos cortos. Una vez que la rueda llega a la altura de las caderas, el atleta flexiona forzadamente una cadera y golpea la rueda con el cuádriceps. El golpeo de la rueda con la pierna imprime una inercia ascendente forzada (16). A continuación, el atleta adopta una posición de pronación con las manos. Después de reorientar las manos, el atleta desplaza los pies hacia la rueda mientras extiende forzadamente los brazos para voltear el neumático. Cerca del final de este capítulo encontraremos fotografías de todas estas posiciones en la sección dedicada a la técnica de los ejercicios.

Levantamiento de troncos

Uno de los ejercicios clásicos que forma parte del entrenamiento Strongman es el levantamiento de troncos. Otros movimientos tradicionales de levantamiento también se practican con troncos, como la cargada, el *press*, el dos tiempos, las distintas modalidades de remo, sentadilla, peso muerto y tijera (39, 64, 83). Los **troncos** suelen estar diseñados para poder añadir peso y ofrecer una empuñadura utilitaria que facilite una empuñadura en pronación

(64). El peso se suele añadir en forma de discos tradicionales, lo cual evita la necesidad de tener varios troncos (39). La información disponible sobre la carga eficaz de los ejercicios con troncos es limitada, si bien las cargas de entrenamiento se pueden basar en los ejercicios tradicionales. Por ejemplo, Winwood (83) empleó el 70% de 1RM para un dos tiempos tradicional en el entrenamiento con troncos. Aunque la conexión parece lógica, es probable que los atletas no sean capaces de levantar la misma carga que en ejercicios tradicionales comparables debido a las dificultades mecánicas asociadas con el levantamiento de un implemento como un tronco (39).

Con otro tipo de troncos se usa agua para ofrecer resistencia (39, 64). Ratamess (64) sugiere que con este tipo de troncos el líquido interior se mueve, lo cual aumenta la activación de los músculos estabilizadores. Aunque parezca lógico, ningún estudio científico parece haber abordado la verdad de esta afirmación.

Aunque el entrenamiento con troncos parece estar ganando popularidad, pocos estudios de investigación han abordado la eficacia de este tipo de entrenamiento ni cómo es mejor aplicarlo en la preparación de atletas de diversos deportes. Por tanto, se requieren más investigaciones científicas para tener un conocimiento real de la eficacia del entrenamiento con troncos.

Paseo del granjero

Otro ejercicio del método Strongman que se usa habitualmente es el **paseo del granjero**, en el cual el atleta sostiene una carga a los lados de las manos mientras camina hacia delante (53, 80). Winwood (83) sugiere que ejercicios como el paseo del granjero son herramientas útiles porque intervienen resistencias extrañas e inestables que presentan movimientos unilaterales y bilaterales. Además, se ha sugerido que el paseo del granjero desarrolla la resistencia anaeróbica total del cuerpo, así como la fuerza de prensión (80). McGill (53) indica que el paseo del granjero tal vez mejore los programas tradicionales de entrenamiento resistido, porque desafía los puntos de conexión y los sistemas de estabilización del cuerpo de distinta forma que el entrenamiento resistido tradicional. El paseo del granjero se practica con cargas estáticas (p. ej., una mancuerna pesada) o cargas variables (p. ej., objetos llenos de agua) (80). Con independencia del tipo de carga usada, parece que el paseo del granjero ofrece un patrón único de activación de la zona media del cuerpo (o *core*), aunque haya muy pocos estudios en la literatura científica que respalden el uso de este ejercicio como herramienta

para la fuerza y el acondicionamiento físico. Además, ningún estudio ha examinado la seguridad del paseo del granjero, lo cual dificulta el hacer recomendaciones de seguridad. Por ello, los atletas deben seguir las precauciones y los principios de seguridad generalmente aceptados: solo los atletas de nivel avanzando con mucha fuerza deberían intentar este ejercicio. Aunque esta modalidad de entrenamiento sea popular en el ámbito de la fuerza y el acondicionamiento físico, se precisan más estudios de investigación para determinar su eficacia.

Entrenamiento con pesas rusas

Recientemente, los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico se han mostrado interesados por el uso de ejercicios con **pesas rusas** (7, 17, 48). Aunque se trate de un fenómeno reciente en apariencia, el uso de pesas rusas se remonta a cientos de años, cuando era un método popular de entrenamiento en varios países de la Europa del Este (38). La palabra en ruso *girya* hace referencia a bolas de cañón de hierro colado con un asa (20). En la literatura occidental, el término *pesa rusa* o *kettlebell* se refiere a un implemento pesado formado por una bola y un asa, por lo que sería mejor denominarla *kettleball* (20).

Dimensiones de las pesas rusas de competición

Estas son las dimensiones de las pesas rusas de competición (20):

- Altura: 228 mm.
- Diámetro: 210 mm.
- Diámetro del asa: 35 mm.

Además de crecer el interés por el entrenamiento con pesas rusas, también lo ha hecho el número de estudios científicos sobre la eficacia de estos implementos en atletas y en la población en general. La mayoría de las pruebas científicas que respaldan el uso de pesas rusas ponen de relieve su potencial utilidad como herramienta para el desarrollo físico y la condición física en general (26, 40, 76). El ejercicio empleado con más frecuencia en estos estudios es el balanceo de pesas rusas, que se puede realizar con una o dos manos (40, 52, 76). Si bien el balanceo de las pesas rusas parece tener un efecto positivo sobre la capacidad cardiovascular, es importante reparar en que esta actividad no ofrece el mismo nivel de beneficios cardiovasculares

que correr en una cinta sin fin o el ejercicio aeróbico más tradicional (40).

En la actualidad, un número limitado de estudios exploran la eficacia del entrenamiento con pesas rusas como herramienta para desarrollar la fuerza. Cuando se emplea con poblaciones clínicas y entrenadas a nivel recreativo, se ha confirmado que el entrenamiento con pesas rusas aumenta los niveles de fuerza muscular en comparación con la ausencia de entrenamiento (43, 61). Además, cuando se practica una batería de ejercicios con pesas rusas (p. ej., balanceos, sentadillas *goblet*, balanceos acelerados) durante una intervención de seis semanas de entrenamiento, parece haber un incremento de la fuerza muscular y del salto vertical en hombres entrenados a nivel recreativo (61). No obstante, estas mejoras de la fuerza son significativamente menores que las habituales con los métodos tradicionales de entrenamiento basados en la halterofilia. Específicamente, Otto (61) registró que con un programa de seis semanas de entrenamiento de halterofilia se logró un incremento del 4% en el rendimiento del salto vertical, mientras que el programa de balanceos con pesas rusas aumentó el salto solo un 0,8%. Por lo demás, la fuerza en la sentadilla trasnuca aumentó un 13,6% después de seis semanas de entrenamiento tradicional con pesas, mientras que el entrenamiento con pesas rusas solo consiguió un incremento del 4,5% (61).

Basándonos en los conocimientos científicos contemporáneos, parece que el uso óptimo de las pesas rusas es como ejercicio de preparación general y que los métodos de entrenamiento más tradicionales, como el levantamiento de pesas, son más eficaces para desarrollar la fuerza máxima y la capacidad de salto. No obstante, se precisan más estudios científicos para conocer mejor el papel que pueden desempeñar las pesas rusas en el desarrollo de los atletas.

Tipos de pesas rusas

Cuando se trabaja con pesas rusas, hay que tener en cuenta el tipo, puesto que hay dos tipos principales: las de hierro fundido (figura 16.5) y las de competición (figura 16.6) (20). Las pesas de hierro fundido, o de *fitness*, se funden en moldes de gradación y tamaño que dependen del peso. Las pesas rusas de competición o deportivas se hacen de acero y tienen un diseño y medidas universales. Específicamente, el tamaño de la pesa no cambia con el peso, y los distintos pesos se indican con distintos colores (20). A pesar de las diferencias estructurales en el tamaño y las dimensiones de las pesas rusas de hierro fundido y las de acero, otra diferencia es que las de hierro son más baratas y probablemente más habituales en los centros dedicados a la fuerza y

el acondicionamiento físico.

Consideraciones para la selección de pesas rusas

La primera consideración importante en la selección de una pesa rusa es el tipo de carga que proporciona. Los dos tipos básicos de pesa rusas son las fijas y las ajustables (20). Con las pesas rusas fijas, como las pesas rusas de hierro fundido o las de competición, la carga se mantiene constante; por tanto, se requiere un juego de pesas de distinto calibre para aportar variedad al entrenamiento. Las pesas rusas ajustables se cargan con discos o con lastre. En realidad, una pesa rusa de discos consiste en un asa que se carga con discos, y pese a que no es realmente una pesa rusa, se clasifica como tal (20). En contraste, las pesas rusas rellenas con lastre son una versión hueca de las pesas rusas más tradicionales. Históricamente, estas pesas rusas se llenaban con arena, agua, plomo e incluso mercurio (20). Si este tipo de pesas rusas solo están rellenas parcialmente, el peso oscila dentro de la bola, aumentando el esfuerzo que se aplica en el entrenamiento. Aunque populares a comienzos del siglo XX, sobre todo por la presencia de forzudos de circo, como Arthur Saxon y Eugen Sandow, ya no lo son en el ámbito contemporáneo de la fuerza y el acondicionamiento físico.



FIGURA 16.5 Pesas rusas de hierro fundido de distinto calibre.

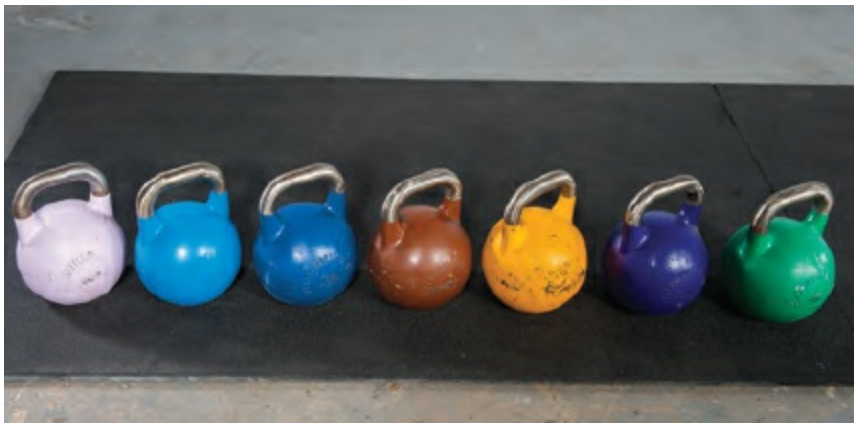


FIGURA 16.6 Pesas rusas de competición.

La segunda consideración tiene que ver con el asa, puesto que es la principal interfaz entre el atleta y la pesa rusa. En el caso de las pesas rusas de hierro colado, el diámetro del asa cambia ligeramente a medida que aumenta el peso. Por ejemplo, una pesa rusa de 20 kg o más tiene un asa de 33 a 35 mm; una pesa más pequeña es probable que tenga un diámetro de asa más pequeño. Con el fin de facilitar los ejercicios en que se emplean pesas rusas, el espacio que hay entre el fondo del asa y la porción superior de la pesa mide 55 mm, y la longitud del asa es de 186 mm (20). En lo referente a la superficie del asa, algunas pesas rusas tienen el asa lisa y pintada; otras cuentan con asas de acero pulido, sin pintura y básicamente metal sin más. El asa de acero pulido tiende a mejorar la empuñadura porque retiene mejor la creta y no es tan resbaladiza como las asas pintadas o pulidas cuando a los atletas les sudan las manos (20).

Entrenamiento unilateral

Al emplear métodos de entrenamiento, se puede optar por intervenciones de entrenamiento unilateral o bilateral. Estos métodos de entrenamiento se practican con el hemicuerpo superior o el inferior, dependiendo de los resultados fijados. Ejercicios habituales de entrenamiento unilateral del hemicuerpo inferior son las tijeras, la subida de escalones y la sentadilla con una sola pierna, que a veces recibe el nombre de sentadilla elongada búlgara. Este ejercicio aísla una pierna y se suele usar en la preparación de atletas para numerosos deportes. Estos ejercicios se suelen integrar en programas de entrenamiento con diversos grados de énfasis (50) en un intento por reducir **asimetrías bilaterales** (45) o como un medio de rehabilitación (25). A

menudo se emplean para reducir un **déficit bilateral** cuando existen asimetrías en la producción de fuerza entre movimientos unilaterales y bilaterales (42). También se ha demostrado que los movimientos bilaterales exhiben una **facilitación bilateral** en la que hay un incremento de la activación voluntaria del grupo de músculos agonistas (8, 67). Las personas entrenadas o más fuertes tienden a exhibir una facilitación bilateral, mientras que los atletas no entrenados, lesionados o más débiles muestran un déficit bilateral (10). Por tanto, basándonos en la respuesta de facilitación bilateral, las personas entrenadas no deben usar métodos unilaterales para el desarrollo de la fuerza. Por el contrario, estos métodos tal vez sean útiles para el desarrollo de la fuerza de personas no entrenadas, débiles y lesionadas (10).

Las personas entrenadas o más fuertes muestran facilitación bilateral durante los ejercicios bilaterales, mientras que las personas no entrenadas, lesionadas o más débiles manifiestan un déficit bilateral (10).

Conclusión

Al diseñar intervenciones para la fuerza y el acondicionamiento físico, existen diversos métodos para aplicar sobrecargas en el entrenamiento. El empleo de métodos alternativos e implementos no tradicionales está creciendo en popularidad. Al optar por estos métodos, los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico deben tener en cuenta los beneficios y las debilidades de estas intervenciones para el entrenamiento. Por lo demás, el nivel del atleta dicta si es aconsejable el uso de estos métodos. Por ejemplo, un atleta novato o una persona sin entrenar tal vez obtenga grandes beneficios de la práctica de ejercicios con el peso del cuerpo y de estabilidad de la zona media anatómica. Por el contrario, el atleta entrenado o de elite tal vez consiga mayores incrementos de rendimiento con ejercicios tradiciones con pesas libres. En el caso de atletas de nivel avanzado, el uso de resistencia variable tal vez también permita un mayor estímulo de entrenamiento en los métodos tradicionales de entrenamiento. Si se opta por emplear métodos alternativos o métodos de entrenamiento basados en elementos no tradicionales, los profesionales de la fuerza y el acondicionamiento físico deben asegurarse siempre de que enseñan las técnicas correctas y de que monitorizan constantemente a los atletas para garantizar el mantenimiento de un entorno seguro en los entrenamientos.

MODOS Y EJERCICIOS NO TRADICIONALES

EJERCICIOS CON EL PESO DEL CUERPO

16.1 El tablón
16.2 El tablón en decúbito lateral

EJERCICIOS PARA EL ENTRENAMIENTO DEL EQUILIBRIO Y LA ESTABILIDAD DE LA ZONA MEDIA ANATÓMICA (O *CORE*)

16.3 Rodar una pelota de equilibrio con apoyo de los antebrazos
16.4 La carpa con las piernas sobre una pelota de equilibrio
16.5 La navaja con las piernas sobre una pelota de equilibrio

EJERCICIOS STRONGMAN

16.6 Volteo de ruedas
16.7 Cargada y *press* de hombros con tronco

OTROS EJERCICIOS ALTERNATIVOS

16.8 Sentadilla trasnuca con bandas de resistencia
16.9 Balanceo de pesa rusa a dos manos
16.10 Sentadilla sobre una pierna
16.11 Peso muerto rumano sobre una pierna
16.12 Arrancada con mancuerna a una mano

Ejercicios con el peso del cuerpo

16.1 EL TABLÓN

Postura inicial

- Nos arrodillamos en decúbito prono, en cuadrupedia en el suelo. Los pies están separados la anchura de las caderas o un poco menos, con las palmas de las manos apoyadas en el suelo y separadas la anchura de los hombros y con los codos apuntando hacia atrás.
- Apoyamos los codos en el suelo directamente debajo de los hombros.
- Desplazamos los pies hacia atrás, uno cada vez, para extender las caderas y las rodillas, de modo que el abdomen y la cara anterior de las caderas y

las piernas descansen en el suelo.

Postura final

- Elevamos las caderas de modo que los tobillos, las rodillas, las caderas, los hombros y la cabeza formen una línea recta.
- Mantenemos isométricamente el torso en una postura rígida con los codos debajo de los hombros y la cabeza en una posición neutra.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Recto del abdomen, oblicuos internos del abdomen, oblicuos externos del abdomen, erector de la columna



Postura inicial.



Postura final.

16.2 EL TABLÓN EN DECÚBITO LATERAL

Postura inicial

- Nos tumbamos en el suelo de costado.

- En el lado izquierdo, situamos el codo debajo del hombro con el antebrazo perpendicular al cuerpo.
- Colocamos el pie derecho encima del izquierdo con la pierna derecha distribuida equilibradamente sobre la izquierda, o el pie derecho en el suelo justo delante del izquierdo. Además, apoyamos el brazo derecho sobre el costado derecho del torso.
- La cabeza asume una posición neutra con los ojos mirando hacia delante.

Postura final

- Elevamos las caderas del suelo de modo que el tobillo, la rodilla, la cadera y el hombro izquierdos formen una línea recta.
- Mantenemos isométricamente el torso en una postura rígida con el codo izquierdo debajo del hombro izquierdo y la cabeza en una posición neutra.
- Cambiamos de lado y repetimos el procedimiento por el lado derecho.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Oblicuos internos del abdomen, oblicuos externos del abdomen



Postura inicial.



Postura final.

EJERCICIOS PARA EL ENTRENAMIENTO DEL EQUILIBRIO Y LA ESTABILIDAD DE LA ZONA MEDIA ANATÓMICA (O *CORE*)

16.3 RODAR UNA PELOTA DE EQUILIBRIO CON APOYO DE LOS ANTEBRAZOS

Postura inicial

- Nos arrodillamos mirando la pelota de equilibrio con el hemicuerpo superior erguido, los brazos extendidos y las manos en contacto con la pelota.
- Manteniendo las manos sobre la pelota, formamos un ángulo de 90° entre las rodillas y los tobillos, mientras que las rodillas, caderas y hombros adoptan un plano casi vertical.

Postura final

- Mantenemos las rodillas y las puntas de los pies en el suelo, con los codos totalmente extendidos, con los brazos paralelos entre sí y las rodillas, caderas y hombros formando una línea recta. Extendemos las rodillas y flexionamos los hombros para hacer rodar la pelota hacia delante y apoyamos los hombros sobre la pelota para que quede muy próxima a la cara.
- Mantenemos isométricamente el torso en una postura rígida; no dejamos que las caderas se hundan hacia el suelo.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Recto del abdomen, iliopsoas



Postura inicial.



Postura final.

16.4 LA CARPA CON LAS PIERNAS SOBRE UNA PELOTA DE EQUILIBRIO

Postura inicial

- Nos arrodillamos delante de la pelota de equilibrio.
- Situamos el cuerpo de espaldas a la pelota.
- En cuadrupedia, con las manos debajo de los hombros y las rodillas debajo de las caderas, colocamos ambos pies sobre la pelota de equilibrio.
- Mantenemos isométricamente el torso en una postura rígida, con los codos totalmente extendidos y la cabeza en una postura neutra.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Fase de movimiento ascendente

- Manteniendo las rodillas y los codos totalmente extendidos y el torso en una posición rígida, el ejercicio se inicia flexionado las caderas para hacer rodar la pelota hacia el pecho.
- Seguimos levantando las caderas hasta que las puntas de los pies estén encima de la pelota y las caderas se sitúen directamente sobre los hombros.
- Mantenemos la cabeza en una posición neutra.

Fase de movimiento descendente

- Volvemos a la posición inicial dejando que se extiendan las caderas bajo control.
- Mantenemos las rodillas y los codos totalmente extendidos y el torso rígido.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Recto del abdomen, iliopsoas



Postura inicial.



Movimientos ascendente y descendente.

16.5 LA NAVAJA CON LAS PIERNAS SOBRE UNA PELOTA DE EQUILIBRIO

Postura inicial

- Nos arrodillamos delante de la pelota de equilibrio.
- Situamos el cuerpo de espaldas a la pelota.

- En cuadrupedia, con las manos debajo de los hombros y las rodillas debajo de las caderas, se colocan ambos pies sobre la pelota de equilibrio.
- Mantenemos isométricamente el torso en una postura rígida, con los codos totalmente extendidos y la cabeza en una postura neutra.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Fase de movimiento hacia delante

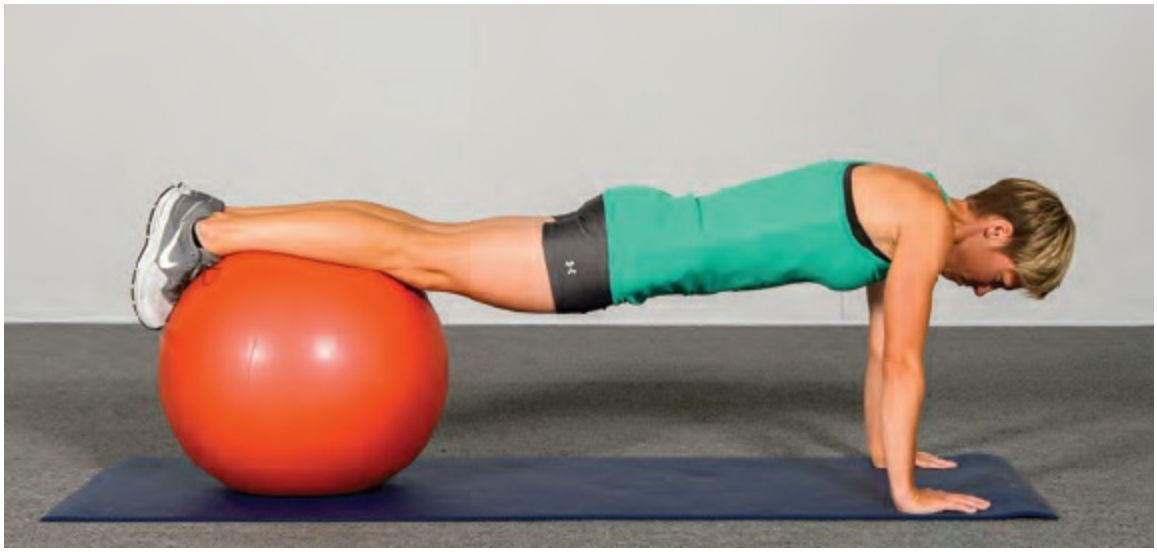
- Manteniendo las rodillas y los codos totalmente extendidos y el torso en una posición rígida, iniciamos el ejercicio elevando ligeramente las caderas y flexionado las caderas y las rodillas para hacer rodar la pelota hacia el pecho.
- Seguimos haciendo rodar la pelota hacia delante hasta que las caderas y las rodillas estén totalmente flexionadas.
- Mantenemos los hombros sobre las manos y la cabeza en una posición neutra.

Fase de movimiento hacia atrás

- Volvemos a la posición inicial dejando que se extiendan las caderas y las rodillas bajo control.
- Mantenemos los codos totalmente extendidos y el torso rígido.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Recto del abdomen, iliopsoas



Postura inicial.



Movimientos hacia delante y hacia atrás.

Ejercicios strongman

16.6 VOLTEO DE RUEDAS

Postura inicial

- Empezamos de cara a la rueda con los pies separados la anchura de los hombros.
- Adoptamos una sentadilla inclinándonos sobre la rueda, de modo que el mentón y la cara anterior de los deltoides descansen sobre la rueda y los pies estén lo bastante retrasados como para mantener la columna en una postura neutra.
- Manteniendo los brazos por fuera de las rodillas y los codos totalmente extendidos, agarramos la rueda con prensión en supinación.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Fase de movimiento ascendente

- Empezamos extendiendo las rodillas y las caderas, con flexión plantar de los tobillos mientras se empuja la rueda hacia delante.
- Desplazamos la rueda explosivamente hacia delante dando dos o tres pasos.
- Seguimos este movimiento hasta que el cuerpo esté alineado en un ángulo de 45º con la rueda.

- Flexionamos por completo la cadera y la rodilla de una pierna para impulsar la rodilla hacia arriba y hacia la rueda.
- Nada más golpear la rueda, reorientamos las manos en una empuñadura en pronación.
- Mientras desplazamos los pies hacia delante, extendemos forzadamente los brazos para empujar y voltear la rueda delante del cuerpo.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Glúteo mayor, semimembranoso, semitendinoso, bíceps femoral, vasto lateral, vasto intermedio, vasto medial, recto femoral, sóleo, gastrocnemio, deltoides, trapecio



Postura inicial.



Triple extensión.



Posición de golpeo.



Posición de empuje.



Avance.

16.7 CARGADA Y *PRESS* DE HOMBROS CON TRONCO

Este ejercicio pertenece al entrenamiento Strongman y consiste en levantar rápidamente y de forma forzada un tronco del suelo hasta la cara anterior de los hombros para luego levantarlo por encima de la cabeza. La cargada del tronco se compone de tres fases, aunque en dos movimientos, con una pausa cuando el tronco está sobre los hombros. El tronco se puede levantar con la cargada y hacer el *press* de hombros en cada repetición, o levantarlo con la cargada y luego realizar múltiples repeticiones del *press* de hombros.

Postura inicial

- Empezamos con los pies separados entre la anchura de las caderas y la de los hombros, con las puntas de los pies apuntando hacia delante o ligeramente hacia fuera.
- Adoptamos una sentadilla con las caderas por debajo de la altura de los

hombros y agarramos el tronco con una empuñadura cerrada y neutra.
- Ponemos las manos sobre las asas del tronco con los brazos ligeramente por fuera de las rodillas, con los codos totalmente extendidos.
- Apoyamos los pies por completo en el suelo y situamos el tronco delante de las espinillas y sobre las puntas de los pies.
- Situamos el cuerpo con:
  - La espalda y la columna neutra.
  - Las escápulas en depresión y retracción.
  - La cabeza alineada con la columna vertebral.
  - Los hombros sobre o ligeramente delante del tronco.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Fase de movimiento ascendente: Primer tirón

- Levantamos el tronco del suelo extendiendo las caderas y las rodillas.
- Mantenemos constante el ángulo entre el torso y el suelo; no dejamos que las caderas se levanten antes que los hombros.
- Mantenemos los codos extendidos y los hombros sobre o ligeramente por delante del tronco.

Fase de movimiento ascendente: Transición

- A medida que el tronco supera las rodillas, tiramos del tronco hacia el cuerpo flexionando las rodillas y los codos.
- Hacemos una breve pausa en esta posición con las piernas en un cuarto de sentadilla y el tronco a la altura de los muslos o contra ellos.

Fase de movimiento ascendente: Segundo tirón

- Damos forzadamente un salto vertical extendiendo las caderas y las rodillas, así como mediante la flexión plantar de los tobillos.
- Mantenemos el tronco cerca del cuerpo y los codos pegados al cuerpo.
- Cuando las articulaciones del hemicuerpo inferior alcanzan la extensión completa, se impulsan rápidamente los codos hacia delante para mantener rodando el tronco por el cuerpo.
- Debido a la explosividad de este movimiento, el torso está erguido o en ligera hiperextensión, la cabeza un poco inclinada hacia atrás y los pies tal vez pierdan contacto con el suelo.

Fase de movimiento ascendente: Recepción

- Después de que el hemicuerpo inferior se ha extendido por completo,

metemos el cuerpo debajo del tronco y giramos los brazos alrededor del tronco.
- Flexionamos simultáneamente las caderas y las rodillas hasta un cuarto o media sentadilla.
- Descansamos el tronco sobre las clavículas y la cara anterior de los deltoides.

Fase de preparación: Flexión parcial de las piernas

- Flexionamos las caderas y las rodillas a una velocidad lenta a moderada para desplazar el tronco en una trayectoria recta.
- Seguimos con la flexión de las piernas hasta una profundidad que no supere un cuarto de sentadilla.
- Mantenemos los pies completamente apoyados en el suelo, el torso erguido y los brazos directamente bajo el tronco.

Fase de movimiento ascendente: Impulsión

- Nada más alcanzar la posición inferior de la flexión parcial de las piernas, se invierte el movimiento extendiendo de manera forzada y rápidamente las caderas y las rodillas, y luego los codos, para elevar el tronco por encima de la cabeza.

Fase de movimiento descendente

- Bajamos el tronco reduciendo gradualmente la tensión muscular de los brazos para permitir un descenso controlado del tronco hasta los hombros.
- Simultáneamente flexionamos las caderas y las rodillas para amortiguar el impacto del tronco sobre los hombros, y luego devolvemos el tronco al suelo.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Glúteo mayor, semimembranoso, semitendinoso, bíceps femoral, vasto lateral, vasto intermedio, vasto medial, recto femoral, sóleo, gastrocnemio, deltoides, trapecio



Postura inicial.



Final del primer tirón/inicio de la transición.



Final de la transición/inicio del segundo tirón.



Final del segundo tirón/inicio de la recepción.



Recepción/inicio de la flexión parcial de las piernas.



Final de la flexión parcial de las piernas/inicio de la impulsión.



Final de la impulsión (posición final por encima de la cabeza).

Otros ejercicios alternativos

16.8 SENTADILLA TRASNUCA CON BANDAS DE RESISTENCIA

Colocación de la banda

- Se rodea con el cabo de las bandas elásticas los rodillos situados a ambos lados de la jaula de potencia. Si la jaula no cuenta con esos rodillos, se

pasan las bandas alrededor de las asas de unas mancuernas pesadas que no se muevan durante el ejercicio.
- Se toma el otro cabo de las bandas y se rodean los extremos de la haltera de modo que se apoyen por fuera a ambos lados de los discos de pesas.
- Las bandas deben estar lo bastante laxas como para que no haya tensión en la posición inferior de la sentadilla. Se debe aplicar tensión sobre la haltera cuando se practique el ejercicio, si bien al final del movimiento descendente las bandas deben estar laxas para que no apliquen ninguna carga sobre la haltera. (*Nota*: A pesar de su aspecto, las bandas de la segunda fotografía no están generando tensión alguna sobre la haltera).

Postura inicial

- Asimos la haltera con una empuñadura cerrada en pronación.
- Damos un paso para situarnos debajo de la haltera y ponemos los pies paralelos.
- Colocamos la barra equilibrada sobre la porción superior de la espalda y sobre los hombros; seguimos las pautas para la sentadilla trasnuca del capítulo 15 respecto a la colocación más arriba o debajo de la haltera.
- Extendemos las caderas y las rodillas para levantar la barra de sus soportes y damos uno o dos pasos atrás.
- Separamos los pies la anchura de los hombros o más, uno a la altura del otro, con las puntas apuntando un poco hacia fuera.
- De pie con el torso erguido, echamos los hombros atrás, inclinando un poco la cabeza hacia atrás, y sacamos pecho para que la espalda quede neutra o ligeramente arqueada.
- Todas las repeticiones empiezan en esta posición.

Fase de movimiento descendente

- Se inicia el ejercicio flexionando lentamente las caderas y rodillas bajo control, mientras se mantiene relativamente constante el ángulo formado por el torso y el suelo.
- Los pies continúan pegados al suelo con las rodillas alineadas encima de los pies mientras se flexionan.
- Se siguen flexionando las caderas y las rodillas hasta que los muslos queden paralelos al suelo, el torso comience a redondearse o flexionarse hacia delante, o los talones empiecen a levantarse del suelo.

Fase de movimiento ascendente

- Levantamos la barra extendiendo las caderas y rodillas mientras se mantiene relativamente constante el ángulo formado por el torso y el suelo.
- Mantenemos el torso erguido y los hombros atrás, sacando pecho hacia arriba.
- Mantenemos los talones en el suelo y las rodillas alineadas encima de los pies.
- Seguimos extendiendo las caderas y rodillas hasta que el cuerpo esté totalmente erguido.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Glúteo mayor, semimembranoso, semitendinoso, bíceps femoral, vasto lateral, vasto intermedio, vasto medial, recto femoral



Postura inicial.



Movimientos descendente y ascendente.

16.9 BALANCEO DE PESA RUSA A DOS MANOS

Postura inicial

- En bipedestación, con los pies planos separados entre la anchura de las caderas y la de los hombros, con las puntas de los pies apuntando adelante, a horcajadas sobre una pesa rusa.
- Asumimos la postura de una sentadilla con las caderas por debajo de la altura de los hombros y asimos la pesa rusa con una empuñadura cerrada y en pronación.
- Colocamos las manos sobre la pesa rusa con los dedos índices tocándose o muy próximos, entre las piernas, manteniendo los codos totalmente extendidos.
- Colocamos el cuerpo con:
  - La espalda en una posición neutra.
  - Los hombros retraídos y deprimidos.

  - Los pies totalmente apoyados en el suelo.
  - La mirada hacia delante o un poco levantada.
- Mantenemos la columna neutra o la posición lordótica normal mientras flexionamos caderas y rodillas hasta un cuarto de sentadilla, con la pesa rusa colgando entre los muslos.
- Todas las repeticiones empiezan en esta posición.

Fase de movimiento hacia atrás

- Se inicia el ejercicio flexionando las caderas para balancear la pesa rusa entre las piernas.
- Las rodillas se mantienen en una postura moderadamente flexionada con la espalda neutra y los codos extendidos.
- Mantenemos el balanceo de la pesa rusa hacia atrás hasta que el torso quede casi paralelo con el suelo y la pesa haya pasado la línea vertical del cuerpo.

Fase de movimiento hacia delante/ascendente

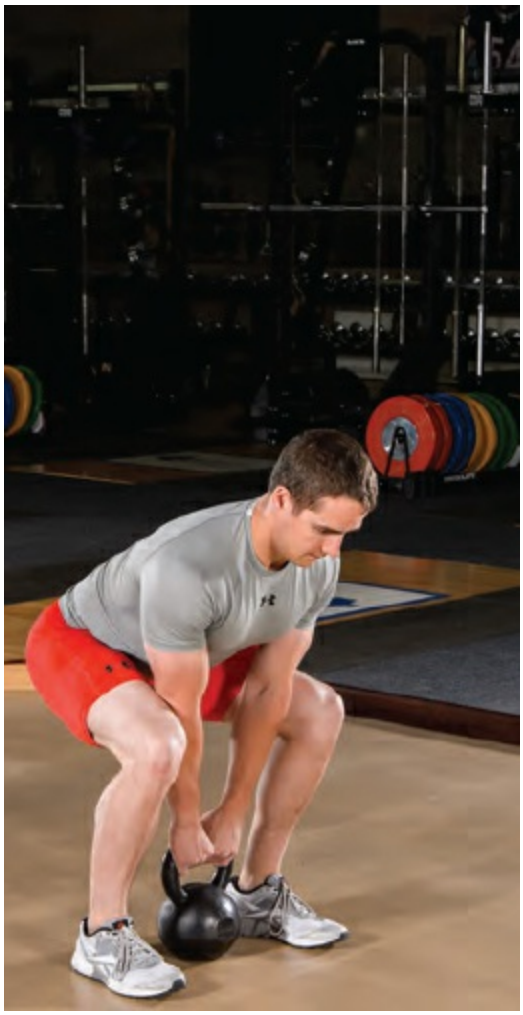
- Cuando el balanceo hacia atrás alcance su punto final, se invierte el movimiento extendiendo las caderas y rodillas para que la pesa rusa trace un arco ascendente.
- Dejamos que la inercia eleve la pesa rusa hasta el nivel de los ojos, manteniendo los codos extendidos y la espalda con la columna neutra.

Fase de movimiento descendente/hacia atrás

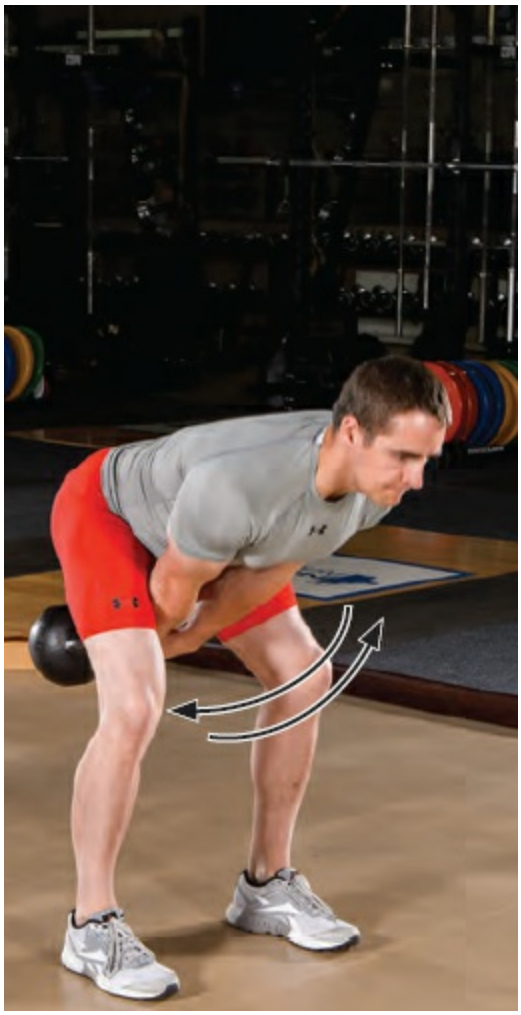
- Dejamos que la pesa rusa descienda con el mismo movimiento oscilante; flexionamos caderas y rodillas para absorber el peso. Mantenemos los codos totalmente extendidos y la espalda neutra.
- Seguimos con el movimiento descendente y luego hacia atrás hasta que la pesa rusa pase por debajo y detrás del cuerpo, y después iniciamos la fase ascendente del movimiento para la siguiente repetición.

MÚSCULOS EJERCITADOS

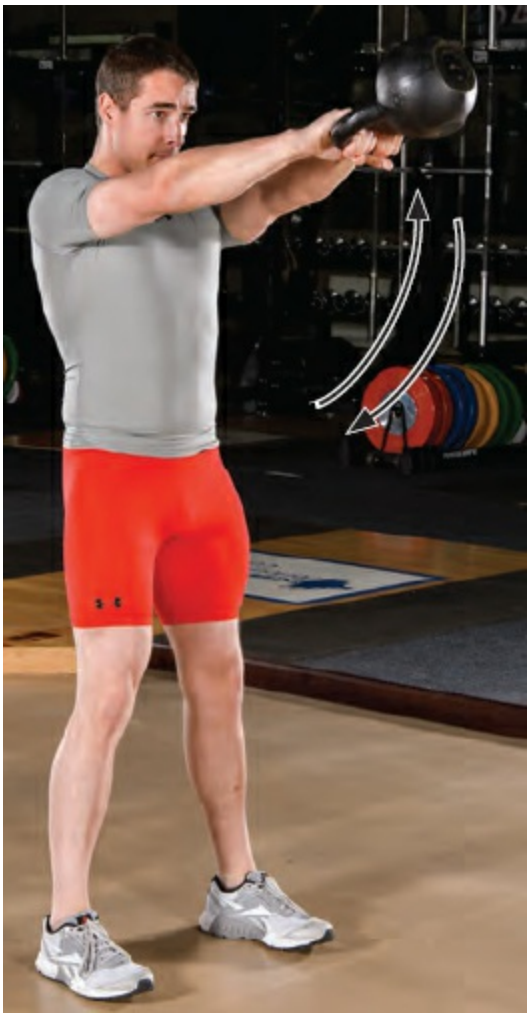
Glúteo mayor, semimembranoso, semitendinoso, bíceps femoral, vasto lateral, vasto intermedio, vasto medial, recto femoral



Postura inicial.



Movimiento hacia atrás inicial y comienzo del movimiento hacia delante/ascendente.



Final del movimiento hacia delante/ ascendente e inicio del movimiento descendente/hacia atrás.

16.10 SENTADILLA SOBRE UNA PIERNA

Nota: La sentadilla sobre una pierna no se suele practicar con vigilante. Si se necesitara ayuda, se emplearán dos asistentes, uno a cada lado de la barra. Las posturas de los ayudantes no aparecen aquí con el fin de mostrar con mayor claridad la postura del atleta en las diversas fases de la sentadilla sobre una pierna.

Postura inicial: El atleta

- Agarramos una haltera con empuñadura cerrada en pronación (para la variación con mancuernas, asimos las mancuernas con una empuñadura cerrada y neutra, una mancuerna en cada mano).
- Nos situamos delante de un banco o cajón cuya altura nos llegue

aproximadamente a las rodillas, con los pies separados entre la anchura de los hombros y la de las caderas.
- De espaldas al banco o al cajón, damos un paso moderado hacia delante y apoyamos el empeine del pie retrasado encima del banco o cajón.
- Dejamos que ambas rodillas se flexionen ligeramente, con el torso casi erguido, los hombros atrás y sacando pecho hacia arriba.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Postura inicial: Dos ayudantes

- Los ayudantes permanecen erguidos a ambos extremos de la haltera con los pies separados la anchura de las caderas y las rodillas ligeramente flexionadas.
- Mantienen las manos 5-8 centímetros por debajo de los extremos de la haltera.

Nota: Si se usan mancuernas, no se necesita ningún ayudante.

Fase de movimiento descendente: El atleta

- Flexionamos simultáneamente la cadera y la rodilla de la pierna adelantada para que descienda el cuerpo en un plano vertical mientras mantenemos constante el ángulo entre el torso y el suelo.
- Apoyamos el talón del pie adelantado totalmente en el suelo y el empeine del pie retrasado sobre el banco o cajón.
- Seguimos flexionando la cadera y la rodilla hasta que el muslo quede casi paralelo con el suelo.

Fase de movimiento descendente: Dos ayudantes

- Se mantienen las manos ahuecadas cerca pero sin llegar a tocar la haltera durante su descenso.
- Se flexionan ligeramente las rodillas, las caderas y el torso para mantener la columna neutra durante el seguimiento de la barra.

Fase de movimiento ascendente: El atleta

- Elevamos la barra bajo control mediante la extensión activa de la cadera y la rodilla de la pierna adelantada; extendemos la otra cadera y rodilla para mantener constante el ángulo formado por el suelo y el torso.
- Mantenemos la posición neutra de la columna y el torso erguido.
- Mantenemos la rodilla delantera alineada sobre el pie delantero.
- No flexionamos el torso hacia delante ni encorvamos la espalda.

- Seguimos extendiendo la cadera y la rodilla de la pierna adelantada hasta alcanzar la posición inicial.
- Completamos el número deseado de repeticiones e intercambiamos la posición de las piernas.

Fase de movimiento ascendente: Dos ayudantes

- Se mantienen las manos ahuecadas cerca pero sin llegar a tocar la haltera durante su ascenso.
- Se extienden ligeramente las rodillas, las caderas y el torso para mantener la columna neutra durante el seguimiento de la barra.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Glúteo mayor, semimembranoso, semitendinoso, bíceps femoral, vasto lateral, vasto intermedio, vasto medial, recto femoral



Postura inicial.



Movimientos descendente y ascendente.

16.11 PESO MUERTO RUMANO SOBRE UNA PIERNA

Nota: Este ejercicio se puede practicar con la pesa en la mano del mismo lado del cuerpo que la pierna de apoyo (ipsolateral) o en la mano del lado contralateral del cuerpo. La descripción y las fotos hacen referencia a un ejercicio practicado con la pesa en la mano contralateral.

Postura inicial

- Con la mano derecha asimos una mancuerna o pesa rusa usando una empuñadura cerrada y en pronación.
- Nos ponemos en monopedestación sobre la pierna izquierda (pierna de apoyo) con las caderas y los hombros alineados con el pie izquierdo.
- Mantenemos la mancuerna o la pesa rusa delante del muslo derecho con el codo derecho totalmente extendido y el pie derecho ligeramente inclinado hacia atrás.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Fase de movimiento descendente

- Dejamos que la rodilla izquierda de la pierna de apoyo se flexione hasta que alcance una flexión moderada, y luego se mantiene rígidamente esa

posición durante todo el movimiento.

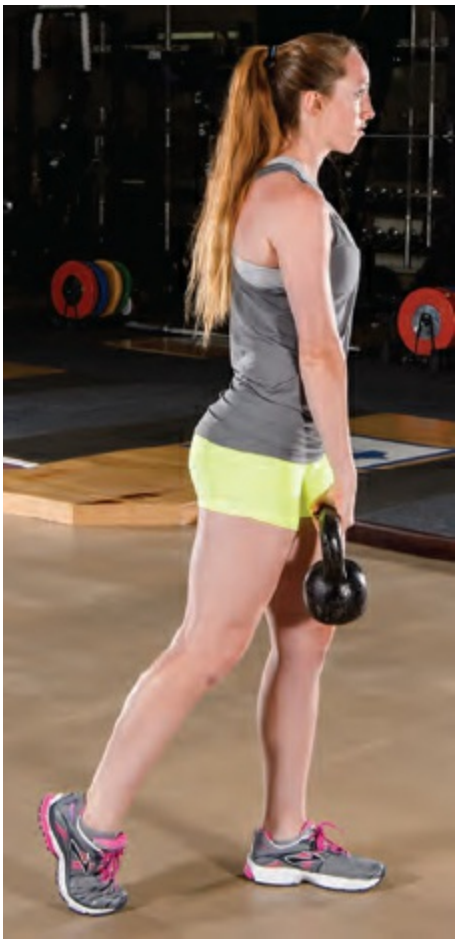
- Comenzamos el ejercicio dejando que el torso se flexione hacia delante por la cadera de la pierna de apoyo izquierda.
- Mantenemos el hombro, cadera, rodilla y tobillo derechos alineados mientras flexionamos el torso hacia delante.
- Mantenemos la espalda neutra y el codo derecho todavía completamente extendido.
- Bajamos la mancuerna o pesa rusa hasta que el torso y la pierna derecha estén aproximadamente paralelos con el suelo.

Fase de movimiento ascendente

- Extendemos la cadera de la pierna izquierda de apoyo para volver a la posición inicial.
- No debemos hiperextender el torso ni flexionar el codo del brazo que sostiene la mancuerna o la pesa rusa.
- Completamos el número deseado de repeticiones e intercambiamos la posición de las piernas.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Glúteo mayor, semimembranoso, semitendinoso, bíceps femoral



Postura inicial.



Movimientos descendente y ascendente.

16.12 ARRANCADA CON MANCUERNA A UNA MANO

Postura inicial

- Depositamos en el suelo una mancuerna entre los pies separados entre la anchura de las caderas y la de los hombros, con las puntas de los pies apuntando ligeramente hacia fuera.
- Adoptamos una sentadilla con las caderas por debajo de la altura de los hombros y asimos la mancuerna con una empuñadura cerrada en pronación y el codo totalmente extendido.
- Colocamos el cuerpo con:
  - La espalda neutra o ligeramente arqueada.
  - Las escápulas deprimidas y en retracción.
  - Sacando pecho hacia arriba.
  - La cabeza en línea con la columna vertebral o en ligera hiperextensión.

  - El peso del cuerpo equilibrado entre el mediopié y las puntas de los pies.
  - Los pies totalmente apoyados en el suelo.
  - El hombro de la mano que sostiene la mancuerna encima o ligeramente delante de la mancuerna.
  - Los ojos mirando justo hacia delante o ligeramente hacia arriba.
- Todas las repeticiones comienzan en esta posición.

Fase de movimiento ascendente

- Iniciamos el ejercicio extendiendo forzadamente las caderas, las rodillas y los tobillos para acelerar el movimiento de la mancuerna.
- La mancuerna se debe deslizar muslo arriba o mantenerse muy cerca durante su aceleración ascendente.
- Mantenemos el codo de la mano que sostiene la mancuerna totalmente extendido mientras extendemos las rodillas, las caderas y los tobillos.
- Una vez que las rodillas, las caderas y los tobillos alcanzan la extensión completa, encogemos rápidamente el hombro del brazo que sostiene la mancuerna.
- Mientras el hombro alcanza su máxima elevación, flexionamos el codo del brazo que sostiene la mancuerna y lo mantenemos próximo al torso.
- Mantenemos el brazo contralateral pegado a la cadera o al torso.
- Seguimos tirando hacia arriba de la mancuerna cuanto nos sea posible.

Fase de recepción

- Situamos el cuerpo debajo de la mancuerna girando el brazo y la mano que la sostiene alrededor y luego debajo de la mancuerna, y flexionando las caderas y rodillas hasta aproximadamente un cuarto de sentadilla.
- Una vez que el brazo está debajo de la mancuerna, extendemos el codo rápidamente para empujarla hacia arriba y el cuerpo hacia abajo debajo de la mancuerna.
- Se produce la recepción de la mancuerna en extensión completa al mismo tiempo que el cuerpo alcanza el cuarto de sentadilla.
- Mantenemos el brazo que no sostiene la mancuerna sobre la cadera o pegado al costado.
- Después de alcanzar el equilibrio y el control, hay que erguirse hasta una posición completamente erguida.

Fase de movimiento descendente

- Permitimos que la mancuerna baje lentamente hasta el hombro, luego hasta el muslo y, por último, hasta el suelo entre los pies, usando un movimiento de sentadilla.

MÚSCULOS EJERCITADOS

Recto femoral, vasto medial, vasto lateral, vasto intermedio, glúteo mayor, semimembranoso, semitendinoso, bíceps femoral, deltoides, trapecio



Postura inicial.



Movimiento ascendente.



Cargada.



Posición en bipedestación.

TÉRMINOS CLAVE

activación muscular
asimetría bilateral
banda de resistencia
cadenas
déficit bilateral
ejercicio de músculos aislados
entrenamiento
    con el peso del cuerpo

en máquinas de musculación
Strongman
esqueleto axial
facilitación bilateral
implemento no tradicional
ligamento cruzado anterior (LCA)
maniobra de Valsalva
modo alternativo
paseo del granjero
pesas rusas
punto de máxima dificultad
resistencia
acomodante
externa constante
variable
tronco
zona media del cuerpo

PREGUNTAS DE REPASO

(respuestas en la página 657)

1. Si durante el volteo de una rueda las caderas del atleta se elevan más rápido que los hombros durante el movimiento inicial de empuje, ¿cuál es una corrección eficaz para el atleta?
   a. Empezar en una posición con la cadera más elevada.
   b. Mantener las caderas ligeramente por debajo de los hombros en esta posición.
   c. Levantar la rueda en lugar de impulsarla hacia delante.
   d. Empujar primero con los brazos.

2. Si un atleta fornido incorpora solo un entrenamiento unilateral en su programa, ¿qué espera que ocurra el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico?
   a. Se producirá facilitación bilateral.
   b. Se producirá un déficit bilateral.
   c. Se producirá una reducción de las asimetrías bilaterales.
   d. Solo aumentará la fuerza unilateral.

3. Respecto al entrenamiento de la zona media del cuerpo, ¿cuándo se aplican mejor los ejercicios de inestabilidad?
   a. Con atletas no entrenados relativamente débiles.
   b. Con atletas entrenados en rehabilitación de una lesión.
   c. Con atletas entrenados que tratan de mejorar su fuerza y potencia.
   d. Con atletas no entrenados para quienes el ejercicio resulta nuevo.

4. ¿Cuál de las siguientes es la razón para usar los métodos de entrenamiento de resistencia variable?
   a. Para acomodar la ventaja mecánica cambiante asociada con los ejercicios con carga constante.
   b. Para minimizar la aplicación de fuerza durante el arco de movilidad completo.
   c. Para aumentar el tiempo invertido en desacelerar durante un movimiento de levantamiento.
   d. Para mantener constante la resistencia aplicada durante los cambios en el ángulo articular.

5. El entrenamiento sobre aparatos de inestabilidad puede reducir la capacidad general de producción de fuerza agonista y la producción de potencia a menos del . . . . . de lo que es posible conseguir en un estado estable.
   a. 20%.
   b. 50%.
   c. 70%.
   d. 90%.

CAPÍTULO 17

Diseño de programas para el entrenamiento con resistencia

Jeremy M. Sheppard, PhD, and N. Travis Triplett, PhD*

A la conclusión del capítulo, el lector:

- Evaluará los requisitos y características de un deporte y valorará a un atleta con el fin de diseñar un programa de entrenamiento con resistencia.
- Seleccionará ejercicios basándose en el tipo, la especificidad del deporte, la experiencia técnica y la disponibilidad de equipamiento y de tiempo.
- Determinará la frecuencia del entrenamiento según el estado de entrenamiento, la temporada deportiva, la carga, el tipo de ejercicio y cualquier otro ejercicio concurrente.
- Dispondrá los ejercicios en una sesión de entrenamiento de acuerdo con su tipo.
- Fijará la repetición máxima (1RM), la 1RM predicha a partir de múltiples RM y las cargas de las RM.
- Estipulará la carga y las repeticiones basándose en el objetivo del entrenamiento.
- Sabrá cuándo y cuánto incrementar la carga de ejercicio.
- Asignará volúmenes de entrenamiento según el estado de entrenamiento del atleta y dependiendo de cuál sea la meta del entrenamiento.
- Establecerá la duración de los períodos de descanso basándose en la meta del entrenamiento.

* Los autores agradecen la significativa aportación de Thomas R. Baechle, Roger W. Earle y Dan Wathen en la redacción de este capítulo.

Los programas de entrenamiento eficaces implican la coordinación sistemática de muchas variables para que el cuerpo pueda adaptarse y mejorar su nivel de rendimiento. Tener un conocimiento básico de las respuestas fisiológicas a los diversos estímulos del entrenamiento es esencial para que el

profesional del deporte coordine con éxito los diversos aspectos del entrenamiento. Al centrarse en el entrenamiento con resistencia como componente de un programa de entrenamiento general, es útil una aproximación a la tarea que aborde cada vez un elemento del programa, teniendo presentes los principios primarios de la prescripción de ejercicio anaeróbico.

Principios de la prescripción de ejercicio anaeróbico

Los programas de entrenamiento con resistencia para atletas exigen prestar atención a los principios de la especificidad, la sobrecarga y la progresión. Uno de los conceptos más básicos que se debe incorporar a todos los programas de entrenamiento es la **especificidad**. El término, que introdujo por vez primera DeLorme en 1945 (14), hace referencia al método mediante el cual un atleta se entrena de forma específica para lograr una adaptación específica o un resultado específico con el entrenamiento. En el caso del entrenamiento con resistencia, la *especificidad* se refiere a aspectos como los músculos implicados, el patrón de movimiento y la naturaleza de la acción de los músculos (p. ej., velocidad de movimiento, aplicación de fuerza), aunque no siempre refleja la combinación de todos estos aspectos. Lo importante es que no significa que todos estos aspectos del entrenamiento tengan que imitar los de una destreza deportiva concreta. Por ejemplo, el movimiento de una sentadilla es relevante para el salto vertical porque le concierne superar la resistencia en el mismo movimiento y con los músculos que intervienen en el salto vertical, si bien la velocidad de movimiento y la aplicación de fuerza no coinciden en la sentadilla y el salto vertical. En ocasiones se usa como sinónimo de *especificidad* el acrónimo **AEEI,** que significa *adaptación específica a las exigencias impuestas*. El principio fundamental es que el tipo de exigencia impuesta al cuerpo dicta el tipo de adaptación que ocurrirá. Por ejemplo, los atletas que se entrenan para desarrollar movimiento con potencia a velocidad elevada (p. ej., lanzamientos de béisbol, saques en el tenis), deben intentar activar o reclutar las mismas unidades motoras usadas en su deporte y a la máxima velocidad posible (8, 86). La especificidad también guarda relación con la temporada deportiva del atleta. A medida que este se adentra en la pretemporada, la temporada y la postemporada, todas las formas de entrenamiento deben progresar organizadamente de generales a específicas del deporte en sí (1). Aunque la participación en el deporte en sí ofrezca la

mayor oportunidad de mejorar el rendimiento específico, la correcta aplicación del principio de la especificidad ciertamente aumenta la posibilidad de que otros modos de entrenamiento también contribuyan positivamente al rendimiento.

El término **sobrecarga** se refiere a la asignación de un régimen de sesiones o de entrenamiento de mayor intensidad que aquel al que está acostumbrado el atleta. Sin el estímulo de la sobrecarga, incluso un programa bien diseñado en lo demás limita enormemente la capacidad del atleta para experimentar mejoras. La aplicación evidente de este principio en el diseño de programas de entrenamiento con resistencia comprende el aumento de las cargas asignadas a los ejercicios. Otros cambios más sutiles consisten en el aumento del número de sesiones por semana (o por día en algunos casos), añadiendo ejercicios o series, haciendo más hincapié en ejercicios complejos que en otros más sencillos, o cualquier combinación de estos u otros cambios. La intención es someter el cuerpo a un esfuerzo de un nivel superior al que está acostumbrado. Cuando se aplica correctamente el principio de la sobrecarga, se evita el sobreentrenamiento y se obtiene la adaptación deseada al entrenamiento.

Si un programa de entrenamiento tiene por finalidad seguir obteniendo niveles superiores de rendimiento, la intensidad del entrenamiento debe ir aumentando progresivamente. La **progresión**, cuando se aplica correctamente, favorece la obtención de beneficios a largo plazo del entrenamiento. Aunque sea obligatorio centrarse solo en la resistencia aplicada, se puede incrementar progresivamente la intensidad del entrenamiento elevando el número de sesiones semanales de ejercicio, añadiendo más ejercicios o tablas de ejercicios en cada sesión, cambiando el tipo o los requisitos técnicos de las tablas o de los ejercicios, o aumentando el estímulo del entrenamiento. Por ejemplo, un atleta puede avanzar y pasar de la sentadilla frontal al aprendizaje de la cargada de fuerza colgante y, al final, de la cargada de fuerza siguiendo una progresión técnica. El aspecto importante es que la progresión se basa en el estado de entrenamiento del atleta y se introduce de manera sistemática y gradual.

Variables del diseño de programas de entrenamiento con resistencia

1. Análisis de las necesidades.

2. Selección de los ejercicios.
3. Frecuencia del entrenamiento.
4. Orden de los ejercicios.
5. Carga y repeticiones del entrenamiento.
6. Volumen.
7. Períodos de descanso.

El diseño de un programa de entrenamiento con resistencia es un proceso complejo que requiere el reconocimiento y manipulación de siete variables en el **diseño de programas** (que en este capítulo se denominan pasos 1 a 7). Este capítulo estudia dichas variables, que aparecen en el cuadro superior, dentro del contexto de tres casos que permiten al especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico ver el modo de integrar en un programa general los principios del entrenamiento y las pautas para el diseño de programas.

Los tres casos son una pívot de baloncesto (caso A) en la pretemporada, un liniero ofensivo de fútbol americano (caso B) fuera de temporada y un corredor de *cross* (caso C) en plena temporada. Se da por supuesto en cada caso que el atleta está en buena forma física para la práctica de su deporte, que no presenta ninguna disfunción musculoesquelética y que cuenta con la autorización del equipo de medicina del deporte para entrenar y competir. Los atletas de los casos A (pívot de baloncesto) y B (liniero de fútbol americano) han seguido un entrenamiento con resistencia desde el instituto, están acostumbrados a levantar grandes cargas y tienen experiencia en la práctica de ejercicios en máquinas de musculación y con pesas libres. El corredor de *cross* de instituto del caso C, por el contrario, lleva solo cuatro semanas con un programa de entrenamiento con resistencia en la pretemporada, por lo que su preparación es limitada y no ha adquirido todavía unas buenas destrezas técnicas en la ejecución de los ejercicios.

Paso 1: Análisis de las necesidades

La tarea inicial del especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico es proceder a un **análisis de las necesidades** —proceso consistente en dos pasos —, que comprende la evaluación de los requisitos y características del deporte y una evaluación previa del atleta.

Evaluación del deporte

La primera tarea de un análisis de las necesidades es determinar las

características exclusivas del deporte, como el perfil fisiológico y biomecánico general, la localización habitual de las lesiones y los atributos de la posición específica del atleta en el terreno de juego. Esta información permite al especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico diseñar un programa específico para esos requisitos y características. Aunque esta tarea se pueda abordar de varias formas (30), al menos debe tener en cuenta los siguientes atributos del deporte (20, 43):

- Lo patrones de movimiento del cuerpo y las extremidades, así como la participación de diversos músculos (**análisis del movimiento**).
- Las prioridades de fuerza, potencia, hipertrofia y tolerancia muscular (**análisis fisiológico**).
- La localización habitual de las lesiones musculares y articulares, así como sus factores etiológicos (**análisis de las lesiones**).

También se deberían evaluar otras características del deporte, como la capacidad cardiovascular, la velocidad, la agilidad y los requisitos de flexibilidad. Este capítulo, sin embargo, se centra solo en los resultados fisiológicos, que se relacionan específicamente con el diseño de un programa de entrenamiento con resistencia: fuerza, potencia, hipertrofia y tolerancia muscular.

Por ejemplo, el análisis del movimiento de una prueba de atletismo como el lanzamiento de peso revela que es un movimiento en que interviene todo el cuerpo y empieza con el atleta en una postura semiagachada, con muchas articulaciones en flexión y aducción, y culmina en una postura erguida, con muchas articulaciones en extensión y abducción. Los músculos que se reclutan con una mayor carga son (no por orden) los extensores del codo (tríceps braquial), los abductores del hombro (deltoides), los extensores de cadera (glúteos, isquiotibiales), los extensores de la rodilla (cuádriceps) y los flexores plantares del tobillo (sóleo, gastrocnemio). Fisiológicamente, el lanzamiento de peso requiere niveles altos de fuerza y potencia para que las actuaciones tengan éxito. Además, la mejora de la hipertrofia muscular es ventajosa porque la capacidad del músculo para producir fuerza aumenta a medida que se incrementa su área transversal (40). El requisito de tolerancia muscular es mínimo por otra parte. Debido a la naturaleza repetitiva del entrenamiento y la competición, los músculos y tendones del hombro y las articulaciones del codo tienden a sufrir lesiones por uso excesivo (98).

Evaluación previa del atleta

La segunda tarea es hacer un **perfil** de las necesidades y objetivos del atleta mediante la evaluación del estado de entrenamiento (y de lesiones), practicando para ello gran variedad de pruebas (p. ej., prueba de la fuerza máxima), evaluando los resultados y determinando el objetivo primario del entrenamiento. Cuanto más individualizado sea el proceso de evaluación inicial, más específico podrá ser el programa de entrenamiento con resistencia de cada atleta.

Los supuestos de los tres atletas

CASO A		CASO B		CASO C	
Sexo:	Mujer	Sexo:	Hombre	Sexo:	Hombre
Edad:	20 años	Edad:	28 años	Edad:	17 años
Deporte:	Baloncesto universitario	Deporte:	Fútbol americano profesional	Deporte:	Corredor de *cross* en el instituto
Posición:	Pívot	Posición:	Liniero ofensivo	Posición:	(No aplicable)
Temporada:	Inicio de la pretemporada	Temporada:	Justo acabada la temporada	Temporada:	Inicio de la temporada

Estado de entrenamiento

La condición física actual o el nivel de preparación de un atleta para iniciar un programa nuevo o revisado (**estado de entrenamiento**) es una consideración importante para el diseño de programas de entrenamiento, y comprende la evaluación a cargo de un profesional de la medicina del deporte de cualquier lesión previa o presente que tal vez afecte al entrenamiento. También es importante la **experiencia previa con el entrenamiento** o la **historia del ejercicio** (el entrenamiento *anterior* al inicio de un programa nuevo o revisado), ya que esta información ayuda al especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico a entender mejor las capacidades de entrenamiento del atleta. Una evaluación inicial de la experiencia previa con el entrenamiento debe tener en cuenta:

- El tipo de programa de entrenamiento (esprines, ejercicio pliométrico, ejercicio resistido, etc.).
- La duración de la reciente participación en programas previos de entrenamiento.
- El nivel de intensidad aplicado en los programas de entrenamiento previos.

- El grado de **experiencia técnica con el ejercicio** (es decir, los conocimientos y destreza para ejecutar correctamente ejercicios de entrenamiento con resistencia).

La tabla 17.1 ofrece un ejemplo de cómo se puede utilizar esta información para clasificar el estado de entrenamiento de los atletas en principiante, intermedio o avanzado. El especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe ser consciente de que existen tres clasificaciones que forman un continuo y no es posible delimitarlas definitivamente.

TABLA 17.1 Ejemplo de clasificación por el estado de entrenamiento con resistencia

	Experiencia previa con entrenamiento con resistencia				
Estado de entrenamiento con resistencia	**Programa actual**	**Período de entrenamiento**	**Frecuencia (por semana)**	**Esfuerzo del entrenamiento***	**Habilidad y experiencia técnica**
Principiante (sin entrenar)	No entrena o acaba de empezar	<2 meses	<1-2	Ninguno o bajo	Ninguna o mínima
Nivel intermedio (moderadamente entrenado con resistencia)	Entrena en la actualidad	2-6 meses	<2-3	Medio	Básica
Nivel avanzado (bien entrenado con resistencia)	Entrena en la actualidad	>1 año	>3-4	Alto	Alta

*En este ejemplo, «esfuerzo del entrenamiento» se refiere al grado de exigencia física o al estímulo del programa de entrenamiento con resistencia.

Prueba y evaluación física

La evaluación física comprende la práctica de una valoración inicial de la fuerza, la flexibilidad, la potencia, la velocidad, la tolerancia muscular, la composición corporal, la capacidad cardiovascular, etc., del atleta. En este capítulo, el análisis de las necesidades se centra en la evaluación inicial de la fuerza muscular máxima, si bien una valoración general abarca mucho más que esto.

Para conseguir datos pertinentes y fiables que se usen eficazmente en el desarrollo de un programa de entrenamiento con resistencia, las pruebas seleccionadas deben guardar relación con el deporte del atleta, ser acordes con su nivel de destreza y estar basadas de forma realista en el equipamiento disponible. El resultado del análisis de movimientos antes expuesto permite orientar la selección de las pruebas. Por lo general, en las baterías de pruebas se usan los ejercicios para el hemicuerpo superior (p. ej., *press* de banca y *press* de hombros) y los ejercicios que imitan los movimientos del salto en

diversos grados (p. ej., cargada de fuerza, sentadilla, *press* de pierna).

Una vez completadas las pruebas, los resultados se comparan con datos normativos o descriptivos para determinar los puntos fuertes y débiles del atleta. Basándonos en esta evaluación y en el análisis de las necesidades del deporte, es posible desarrollar un programa de entrenamiento que mejore las deficiencias, conserve los puntos fuertes o desarrolle más las cualidades fisiológicas que permitirán al atleta cubrir mejor las exigencias del deporte.

Meta primaria del entrenamiento con resistencia

Los resultados de las pruebas del atleta, el análisis del movimiento y el análisis fisiológico del deporte, y las prioridades de la temporada deportiva del atleta determinan el objetivo primario o el resultado del programa de entrenamiento con resistencia. Por lo general, este objetivo es mejorar la fuerza, la potencia, la hipertrofia o la tolerancia muscular. A pesar del deseo o necesidad potenciales de obtener mejoras en dos áreas distintas (p. ej., la fuerza *y* la tolerancia muscular), hay que hacer un esfuerzo para concentrarse en un solo resultado del entrenamiento por temporada. En la tabla 17.2 aparece un ejemplo del modo en que el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe priorizar el énfasis en el entrenamiento con resistencia durante las cuatro principales temporadas del deporte.

Paso 2: Selección de ejercicios

La **selección de ejercicios** implica elegir ejercicios para un programa de entrenamiento con resistencia. Para hacer una selección informada de los ejercicios, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe entender la naturaleza de los distintos tipos de ejercicios del entrenamiento con resistencia, las exigencias musculares y de movimiento del deporte, la experiencia técnica del atleta con los ejercicios, el equipamiento disponible y el tiempo disponible para entrenar.

Aplicación del análisis de las necesidades

(Remitimos al recuadro del pie de la página 441 para la descripción de los atletas)

Supuesto A Jugadora de baloncesto universitario	Supuesto B Liniero de fútbol americano profesional	Supuesto C Corredor de *cross* de instituto

Pretemporada	Fuera de temporada	Plena temporada
EVALUACIÓN DEL DEPORTE **Análisis de los movimientos** *Deporte:* Correr y saltar, manejo del balón, tiro a canasta, bloqueos y rebotes *Participación muscular:* Todas las áreas musculares principales, sobre todo las caderas, los muslos y los hombros **Análisis fisiológico (requisito principal)** Fuerza/potencia	**EVALUACIÓN DEL DEPORTE Análisis de los movimientos** *Deporte:* Agarrar, empujar, rechazar y desviar del camino a los oponentes *Participación muscular:* Todas las áreas musculares principales, sobre todo las caderas, los muslos, el pecho, los brazos y la región lumbar **Análisis fisiológico (requisito principal)** Hipertrofia	**EVALUACIÓN DEL DEPORTE Análisis de los movimientos** *Deporte:* Correr, movimientos repetitivos de piernas y brazos *Participación muscular:*Todas las áreas musculares del hemicuerpo inferior, músculos ortostáticos, hombros y brazos **Análisis fisiológico (requisito principal)** Tolerancia muscular
PERFIL DE LA ATLETA **Antecedentes de entrenamiento** • Desde el instituto ha seguido regularmente un entrenamiento con resistencia • Posee una destreza excelente en la ejecución de ejercicios con pesas libres y máquinas de musculacion • Acaba de completar un programa de entrenamiento con resistencia de 4/semana fuera de temporada consistente en: *Ejercicios para el hemicuerpo superior* (2/semana): 6 ejercicios (2 *core,* 4 asistidos), 3 series con cargas para 10-12RM *Ejercicios para el hemicuerpo inferior* 6 ejercicios (2 *core,* 4 asistidos) 3 series con cargas para 10-12RM	**PERFIL DEL ATLETA** **Antecedentes de entrenamiento** • Desde el instituto, en la universidad y en su carrera profesional ha seguido regularmente un entrenamiento con resistencia • Posee una destreza excelente en la ejecución de ejercicios con pesas libres y máquinas de musculación • Acaba de completar un programa de entrenamiento con resistencia de 2/semana en la postemporada[b] consistente en: *Se practican todos los ejercicios en cada sesión:* 8 ejercicios (3 *core,* 5 asistidos; 2 hemicuerpo inferior, 6 hemicuerpo superior), 2-3 series con cargas para 12-15RM	**PERFIL DEL ATLETA** **Antecedentes de entrenamiento** • Acaba de empezar un entrenamiento con resistencia en la pretemporada • Posee solo destreza limitada en la ejecución de ejercicios con pesas libres y máquinas de musculación • Acaba de completar un programa de entrenamiento con resistencia de 2/semana en la pretemporada[c], consistente en: *Se practican todos los ejercicios en cada sesión:* 7 ejercicios (3 *core,* 4 asistidos; 3 hemicuerpo inferior, 4 hemicuerpo superior), 1-2 series con cargas para 15RM
CLASIFICACIóN DEL ESTADO	**CLASIFICACIóN DEL ESTADO DE**	**CLASIFICACIóN DEL ESTADO DE**

DE ENTRENAMIENTO CON RESISTENCIA Avanzado	ENTRENAMIENTO CON RESISTENCIA Avanzado	ENTRENAMIENTO CON RESISTENCIA Principiante
OBJETIVO PRINCIPAL DEL ENTRENAMIENTO CON RESISTENCIA EN LA PRETEMPORADA Fuerza/potencia[a]	**OBJETIVO PRINCIPAL DEL ENTRENAMIENTO CON RESISTENCIA FUERA DE TEMPORADA** Hipertrofia	**OBJETIVO PRINCIPAL DEL ENTRENAMIENTO CON RESISTENCIA EN LA TEMPORADA** Tolerancia muscular
COMENTARIOS [a]La pretemporada contempla estos objetivos mediante una combinación de selección adecuada de ejercicios y asignaciones de volumen-carga.	**COMENTARIOS** [b]Debido a las exigencias físicas extremas del fútbol americano, el volumen de entrenamiento de esta postemporada fue mayor de lo que se asigna para la fase de reposo activo de un programa típico.	**COMENTARIOS** [c]Como este atleta acaba de empezar su programa de entrenamiento con resistencia, su frecuencia se límito a solo 2 sesiones semanales en la pretemporada en lugar de 3 o 4, que suelen hacer individuos mejor entrenados.

Nota: La información de esta tabla refleja un método para evaluar los requisitos de un deporte y hacer el perfil de un atleta.

TABLA 17.2 Ejemplo de prioridades del entrenamiento general según la temporada deportiva

Temporada deportiva	Prioridad otorgada a:		Objetivo del entrenamiento con resistencia*
	Práctica deportiva	Entrenamiento con resistencia	
Fuera de temporada	Baja	Alto	Hipertrofia y tolerancia muscular (inicialmente); fuerza y potencia (más adelante)
Pretemporada	Media	Medio	Específico del deporte y sus movimientos (es decir, fuerza, potencia o tolerancia muscular, dependiendo del deporte)
Temporada	Alta	Bajo	Mantenimiento de la meta de entrenamiento de la pretemporada
Postemporada (descanso activo)	Variable	Variable	Inespecífico (puede incluir actividades diferentes al entrenamiento con resistencia y de las habilidades del deporte)

*Las metas y prioridades del entrenamiento se basan en la actividad o deporte específicos y tal vez difieran de los objetivos aquí enumerados.

Tipo de ejercicio

Aunque haya literalmente cientos de ejercicios para el entrenamiento con resistencia entre los que elegir al diseñar un programa, la mayoría implican la participación de áreas del cuerpo o grupos musculares primarios y se agrupan en categorías basadas en su importancia relativa en el deporte del atleta.

Ejercicios troncales y auxiliares

Los ejercicios se clasifican en ejercicios troncales y auxiliares según el tamaño de las áreas musculares implicadas y su nivel de contribución a un movimiento particular del deporte. Los **ejercicios troncales** reclutan una o más áreas de grandes músculos (es decir, pecho, hombros, espalda, caderas o muslos), implican dos o más articulaciones principales (**ejercicios poliarticulares**) y tienen prioridad cuando se seleccionan ejercicios por su aplicación directa al deporte. Los **ejercicios auxiliares** suelen reclutar áreas de músculos más pequeños (es decir, brazos, abdominales, pantorrilla, cuello, antebrazos, región lumbar o músculos crurales de la cara anterior); interviene una sola articulación importante (**ejercicios monoarticulares**) y se consideran menos esenciales para mejorar el rendimiento deportivo. Por lo general, todas las articulaciones del hombro —articulaciones glenohumeral y de la cintura escapular— se consideran una articulación *primaria* cuando los ejercicios para el entrenamiento con resistencia se dividen en ejercicios auxiliares o troncales. La columna vertebral se considera de forma similar una sola articulación primaria (como en las flexiones cortas de abdominales y en las extensiones de espalda).

Una aplicación habitual de los ejercicios auxiliares es la prevención y rehabilitación de lesiones, ya que estos ejercicios suelen aislar un músculo o grupo muscular específicos. Los músculos que están predispuestos a lesionarse por las exigencias especiales de una destreza deportiva (p. ej., los rotadores externos del hombro en los lanzamientos de béisbol por encima de la cabeza) o los que requieren su recuperación física después de una lesión (p. ej., una contusión del cuádriceps) se pueden ejercitar específicamente mediante un ejercicio auxiliar.

Ejercicios estructurales y de potencia

Un ejercicio troncal que hace hincapié en la carga directa de la columna vertebral (p. ej., sentadilla trasnuca) o indirecta (p. ej., cargada de fuerza) se puede describir más concretamente como un **ejercicio estructural**. Más específicamente, un ejercicio estructural implica la estabilización muscular de la postura durante la ejecución del movimiento de levantamiento de una carga (p. ej., mantener el torso rígido y la columna neutra durante la sentadilla trasnuca). Un ejercicio estructural que se practica muy rápido y de forma explosiva se considera un **ejercicio de potencia**. Por lo general, los ejercicios de potencia se asignan a atletas cuando son apropiados para las prioridades

del entrenamiento específico del deporte del atleta (45).

Análisis de los movimientos del deporte

En el análisis de las necesidades (paso 1), el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico ha identificado los requisitos y características únicas del deporte. Los ejercicios seleccionados para un programa de entrenamiento con resistencia que se centran en la preparación física para un deporte concreto necesitan ser relevantes para los patrones de movimiento del cuerpo y las extremidades, para los arcos de movilidad articular del movimiento y para los músculos implicados en las actividades de ese deporte. Los ejercicios también deben establecer un equilibrio muscular que reduzca el riesgo de lesiones causadas por un entrenamiento desproporcionado.

Ejercicios específicos para un deporte

Cuanto más parecida sea la actividad del entrenamiento al movimiento concreto del deporte, mayor será la posibilidad de que haya una transferencia positiva a ese deporte (8, 19, 20, 42, 72, 86). Es el concepto de la especificidad, también llamado principio de las adaptaciones específicas a las exigencias impuestas (AEEI). La tabla 17.3 aporta ejemplos de ejercicios de entrenamiento con resistencia que guardan relación en diverso grado con los patrones de movimiento de diversos deportes. Al especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico le resultará útil esta tabla cuando intente identificar ejercicios específicos para un deporte. Por ejemplo, los principales músculos implicados en los saltos en el baloncesto son los extensores de cadera y de rodilla. Un atleta puede ejercitar estos músculos practicando *press* de piernas o sentadillas trasnuca, pero ¿qué ejercicio es preferible? Ciertamente, ambos ejercicios fortalecen los músculos extensores de cadera y de rodilla, pero como los saltos se practican con el cuerpo erguido e intervienen el equilibrio y fuerzas en carga, la sentadilla trasnuca es más relevante para los saltos y, por tanto, se prefiere al *press* de piernas (97). La cargada de fuerza y la arrancada son relevantes para los saltos por la rapidez característica de sus movimientos, con lo cual se aplica un ritmo rápido en el desarrollo de fuerza y una potencia elevada.

TABLA 17.3 Ejemplos de ejercicios para el entrenamiento con resistencia relacionados con el movimiento

Patrón de

movimiento	Ejercicios asociados
Bote y manejo del balón y pases	*Press* de banca con empuñadura cerrada, *press* de banca con mancuernas, tríceps en máquina, flexiones de bíceps inversas, flexiones de martillo
Pateo del balon	Aducción y abducción unilateral de cadera, sentadilla con una pierna, tijera hacia delante, extensión de piernas (rodillas), elevación de la pierna
Natación estilo libre (incluidos la salida y los virajes)	Dominadas por arriba, elevación lateral de hombro, tijera hacia delante, remo erguido, extensiones de hombros por encima de la cabeza con haltera, sentadilla con una pierna
Salto vertical	Arrancada, cargada de fuerza, empuje sobre la cabeza, sentadilla trasnuca, sentadilla frontal, elevación de gemelos en bipedestación
Golpes con la raqueta	Aberturas con mancuernas, tijeras, aberturas con mancuernas en anteroflexión, flexiones de muñeca, extensiones de muñeca
Remo	Cargada de fuerza, tirón de cargada, tirón de arrancada, remo inclinado, remo sentado, *press* de piernas en prensa angular, *press* de piernas en prensa horizontal, peso muerto, peso muerto con las piernas rígidas, buenos días
Correr, esprintar	Arrancada, cargada, sentadilla frontal, tijera hacia delante, subida de escalones, extensiones de piernas (rodillas), flexiones de piernas (rodillas), flexión dorsal del pie
Lanzamientos	Tijeras, sentadilla con una pierna, extensiones de hombros por encima de la cabeza con haltera, extensiones de tríceps por encima de la cabeza, rotación interna y externa de los hombros

Equilibrio muscular

Los ejercicios seleccionados para las exigencias específicas del deporte deben mantener un equilibrio entre la fuerza muscular de las articulaciones y entre los grupos de músculos antagonistas (p. ej., bíceps braquial y tríceps braquial). Se debe evitar el diseño de programas de entrenamiento resistido que aumenten el riesgo de lesiones debido a una disparidad entre la fuerza del músculo **agonista**, el músculo o grupo de músculos que generan activamente un movimiento (p. ej., el cuádriceps en el ejercicio de extensión de la pierna [rodilla]), y la fuerza del músculo **antagonista**, el músculo o grupo de músculos en ocasiones pasivos localizados en la cara opuesta de la extremidad (p. ej., los isquiotibiales en el ejercicio de extensión de la pierna [rodilla]). Si se crea o descubre un desequilibrio, será necesario seleccionar ejercicios que restablezcan un equilibrio apropiado de la fuerza.

Por ejemplo, si la prueba isocinética revela que los isquiotibiales son muy débiles comparados con el cuádriceps, habrá que incluir ejercicios adicionales para los isquiotibiales con el fin de compensar el desequilibrio (20, 72, 86). Repárese en que el **equilibrio muscular** no siempre significa que la fuerza sea igual, sino que existe una correlación de fuerza, potencia o tolerancia muscular de un músculo o grupo muscular respecto a otro músculo o grupo muscular.

Ejercicios para favorecer la recuperación

Los ejercicios que no implican un elevado esfuerzo muscular ni un elevado esfuerzo para el sistema nervioso, pero que favorecen el movimiento y la recuperación, se clasifican como **ejercicios de recuperación**. Estos ejercicios se suelen incorporar al final de la principal sesión de entrenamiento con resistencia, o como una sesión aparte dentro del microciclo, con el objetivo de favorecer la recuperación y el restablecimiento. Pueden asumir la forma de ejercicios resistidos de carga ligera o ejercicios aeróbicos de baja intensidad para ayudar al cuerpo a recuperar su estado previo al ejercicio (8). Estos ejercicios ayudan a eliminar los desechos y subproductos metabólicos, y mantienen el flujo de cierta cantidad de sangre a los músculos ejercitados, con lo cual mejora el proceso de reparación.

Experiencia en la técnica de los ejercicios

Una parte importante del análisis de las necesidades descritas antes es la evaluación del estado de entrenamiento del atleta y la experiencia técnica en la ejecución de los ejercicios. Si hay alguna duda sobre si un atleta puede practicar un ejercicio con una técnica correcta, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe pedir al atleta que haga una demostración del ejercicio. Si el atleta usa una técnica incorrecta, el especialista deberá enseñarle la ejecución completa del ejercicio. A menudo, personas poco diestras empiezan a practicar ejercicios auxiliares con pesas libres y con máquinas de musculación (20) porque se consideran más fáciles de ejecutar que los ejercicios troncales con pesas libres, debido a su menor exigencia de equilibrio y coordinación (20, 86). A pesar de esto, no debemos asumir que el atleta practicará el ejercicio correctamente, incluso los que sean fáciles de ejecutar.

Disponibilidad de material deportivo para el entrenamiento con resistencia

La disponibilidad de material deportivo se debe tener en cuenta durante la selección de los ejercicios. La falta de cierto material tal vez exija seleccionar ejercicios que no son tan específicos de un deporte. Por ejemplo, la ausencia de halteras con collarines giratorios para levantamientos olímpicos impedirá la inclusión de ejercicios como la cargada de fuerza; la escasa variedad de discos de pesas tal vez obligue a incluir ejercicios que no requieran mucha resistencia; por ejemplo, la sentadilla trasnuca se puede remplazar por la sentadilla frontal.

Aplicación de la pautas para la selección de ejercicios

(Remitimos al recuadro del pie de la página 441 para la descripción de los atletas. Los ejercicios no se enumeran en orden de ejecución)

Caso A **Jugadora de baloncesto universitario** **Pretemporada**	**Caso B** **Liniero de fútbol americano profesional** **Fuera de temporada**	**Caso C** **Corredor de *cross* de instituto** **Plena temporada**
EJERCICIOS TRONCALES (*CORE*) Cargada colgante (todo el cuerpo, potencia)[a] Arrancada y cargada (todo el cuerpo, potencia)[a] Extensiones de hombros (todo el cuerpo, potencia)[a] Sentadilla frontal (caderas y muslos) *Press* de banca inclinado (pecho) Dominadas por arriba (espalda, hombros, brazos)	**EJERCICIOS TRONCALES *(CORE)*[b]** Cargada (todo el cuerpo, potencia) Volteo de ruedas (todo el cuerpo, potencia) Sentadilla trasnuca (caderas y muslos) Peso muerto (caderas y muslos) *Press* de banca (pecho) *Press* de hombros (hombros)	**EJERCICIOS TRONCALES *(CORE)*** Tijera (caderas y muslos)[c] *Press* de pecho en máquina vertical (pecho)[d] Peso muerto con pierna retrasada en alto (caderas y muslos)
	EJERCICIOS AUXILIARES Mentones asiendo dos toallas Abdominales cortos	

EJERCICIOS AUXILIARES Abdominales cortos (abdomen) Remo sentado (porción superior de la espalda) Peso muerto con piernas rígidas (cara posterior de caderas y muslos) Elevación de gemelos en bipedestación (cara posterior de las piernas)	(abdomen) Subida de escalones (caderas y muslos) Flexiones de piernas (rodillas) (cara posterior del muslo) Remo inclinado (porción superior de la espalda) Encogerse de hombros (porción superior de la espalda y cuello) Flexiones de bíceps con haltera (cara anterior de los brazos) Extensión de tríceps en decubito (cara posterior del brazo) Elevación de gemelos en bipedestación (cara posterior de la pierna)	**EJERCICIOS AUXILIARES** Abdominales cortos (abdomen) Flexiones de piernas (rodillas) (cara posterior del muslo) Elevaciones laterales de brazos (hombros) Remo a una mano con mancuerna (porción superior de la espalda)[e] Flexión dorsal del pie (cara anterior de la pierna) Extensión de espalda en máquina (región lumbar) Flexión de caderas con polea (músculos flexores de cadera)
COMENTARIOS [a]Estos ejercicios se incluyen para desarrollar al máximo la potencia y ajustarse a los movimientos de salto en baloncesto.	**COMENTARIOS** Este ejercicio dispone de tiempo adicional para practicar más ejercicios resistidos porque la práctica de las destrezas del deporte no es prioritaria fuera de temporada. [b]Una mayor frecuencia de entrenamiento permite incluir más ejercicios troncales (véase el paso 3).	**COMENTARIOS** [c]Aunque no siempre se considera un ejercicio troncal, las tijeras reclutan músculos y articulaciones que tienen una aplicación directa al correr. [d]En este ejercicio también participa el músculo tríceps braquial, por lo que no se necesita un ejercicio auxiliar que ejercite aisladamente el tríceps. Se reduce asf el tiempo dedicado al entrenamiento con resistencia en el programa de la temporada. [e]En este ejercicio también participa el músculo bíceps braquial, por lo que no se necesita un ejercicio auxiliar que ejercite aisladamente el bíceps. Se reduce así el tiempo dedicado al entrenamiento con resistencia en el programa de la temporada.

Tiempo disponible por sesión para el entrenamiento

El especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe sopesar el valor de ciertos ejercicios teniendo en cuenta el tiempo que se invierte en ejecutarlos. Algunos ejercicios llevan más tiempo que otros. Si el tiempo

disponible para una sesión de entrenamiento es limitado, los ejercicios que sean más eficientes en el aprovechamiento del tiempo tendrán prioridad sobre los demás. Por ejemplo, el *press* de piernas en prensa es preferible a las tijeras con pesas libres para entrenar las caderas y muslos de un velocista de los cien metros lisos. El tiempo necesario para meter la clavija del peso en la ranura correcta de los pesos apilados es mucho más corto que el tiempo necesario para practicar las tijeras, para lo cual el atleta tiene que meter discos en ambos extremos de la haltera, cerrar los seguros, levantar la haltera de la jaula de potencia, asumir una postura inicial estable, practicar 10 repeticiones con *cada* pierna, y volver a dejar la haltera en los soportes de la jaula. Aunque el *press* de piernas en prensa sea menos específico del deporte, el tiempo ahorrado tal vez permita incluir otros ejercicios o completar más series. Por su parte, debido al beneficio que aporta incluir el ejercicio de tijeras, más específico del deporte, tal vez valga la pena el tiempo adicional empleado, aunque eso depende de los objetivos de la temporada y del tiempo disponible.

Paso 3: Frecuencia del entrenamiento

La **frecuencia del entrenamiento** se refiere al número de sesiones de entrenamiento completadas en un período de tiempo. En el caso de un programa de entrenamiento con resistencia, un período de tiempo habitual es una semana. Al determinar la frecuencia del entrenamiento, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe tener en cuenta el estado de entrenamiento del atleta, la temporada deportiva, las cargas proyectadas de los ejercicios, los tipos de ejercicios y otras actividades o tipos de entrenamiento concurrentes.

Estado de entrenamiento

El nivel de preparación del atleta para el entrenamiento, que se determinó durante el análisis de las necesidades (paso 1), es un factor que influye en la determinación de la frecuencia del entrenamiento, porque influye en el número de días de descanso necesarios entre sesiones de entrenamiento. Tradicionalmente se ha recomendado a muchos atletas realizar tres sesiones por semana, porque los días intermedios permiten suficiente recuperación entre sesiones (20). Mientras un atleta se adapta al entrenamiento y mejora su condición física, es apropiado plantearse el aumentar el número de días de

entrenamiento a cuatro y, con entrenamiento adicional, quizá cinco, seis o siete (tabla 17.4). La pauta general es programar sesiones de entrenamiento que incluyan al menos un día de descanso o recuperación —pero no más de tres— entre sesiones que someten a tensión algunos grupos musculares (38). Por ejemplo, si un especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico quiere que un deportista principiante emprenda un programa de entrenamiento con resistencia para todo el cuerpo dos días por semana, las sesiones se espaciarán mediando el mismo tiempo entre ellas (p. ej., lunes y jueves o martes y viernes). Si el atleta solo entrena los lunes y miércoles, la ausencia de un estímulo de entrenamiento entre el miércoles y el siguiente lunes tal vez cause un *detrimento* en el estado de entrenamiento del atleta (16, 24, 38), aunque cuando se trata de atletas bien entrenados, una sesión semanal durante un período corto hace que se mantenga el nivel de fuerza (16, 24).

Los atletas (de nivel intermedio o avanzado) con un entrenamiento de elevada resistencia pueden aumentar su entrenamiento usando **prácticas partidas** en las que se entrenan distintos grupos musculares en días diferentes. Entrenar casi a diario tal vez parezca infringir las pautas recomendadas para la recuperación, pero los ejercicios agrupados que entrenan una porción del cuerpo (p. ej., hemicuerpo superior o inferior) o ciertas áreas musculares (p. ej., el pecho, los hombros y el tríceps) brindan al atleta entrenado la oportunidad de recuperarse adecuadamente entre sesiones de entrenamiento similares (tabla 17.5). Por ejemplo, un régimen habitual para el hemicuerpo inferior y el hemicuerpo superior comprende cuatro sesiones semanales: hemicuerpo inferior, lunes y jueves, y hemicuerpo superior, martes y viernes (o viceversa). De este modo, hay dos o tres días de descanso entre sesiones para el hemicuerpo superior o inferior, aunque el atleta entrene dos días consecutivos dos veces por semana (39). En el caso de prácticas partidas en tres días distintos de entrenamiento, los días de descanso no son siempre el mismo día todas las semanas.

TABLA 17.4 Frecuencia del entrenamiento con resistencia según el estado de entrenamiento

Estado de entrenamiento	Pautas para determinar la frecuencia (sesiones por semana)
Principiantes	2-3
Nivel intermedio	3-4
Nivel avanzado	4-7

Fuente: Datos de las referencias bibliográficas 24, 26, 27, 28, 37 y 47.

Temporada deportiva

Otro elemento que influye en la frecuencia del entrenamiento con resistencia es la temporada deportiva. Por ejemplo, el creciente énfasis que se pone en practicar destrezas deportivas durante la temporada requiere una disminución del tiempo invertido en la sala de pesas y, como consecuencia, se reduce la frecuencia del entrenamiento con resistencia (véanse las tablas 17.2 y 17.6). El problema es, sencillamente, que no hay suficiente tiempo para integrar todos los modos de entrenamiento a diario. Por tanto, incluso si un atleta bien entrenado es capaz de completar cuatro o más sesiones de entrenamiento con resistencia por semana, el tiempo requerido por el deporte tal vez no se lo permita.

TABLA 17.5 Ejemplos de prácticas partidas habituales

Día de entrenamiento	Partes del cuerpo o grupos musculares entrenados	Semana de entrenamiento de muestra							Frecuencia resultante del entrenamiento
		Dom.	Lun.	Mar.	Miér.	Jue.	Vier.	Sáb.	
1	Hemicuerpo inferior	***Descanso***	Hemicuerpo inferior	Hemicuerpo superior	***Descanso***	Hemicuerpo inferior	Hemicuerpo superior	***Descanso***	4 veces por semana
2	Hemicuerpo superior								
1	Pecho, hombros, tríceps	***Descanso***	Pecho, hombros, tríceps	Hemicuerpo inferior	Espalda, trapecio, bíceps	***Descanso***	Pecho, hombros, tríceps	Hemicuerpo inferior	5 veces por semana*
2	Hemicuerpo inferior								
3	Espalda, trapecio, bíceps								
1	Pecho y espalda	Pecho y espalda	Hemicuerpo inferior	Hombros y brazos	***Descanso***	Pecho y espalda	Hemicuerpo inferior	Hombros y brazos	6 veces por semana*
2	Hemicuerpo inferior								
3	Hombros y brazos								

*La frecuencia varía entre cinco y seis veces por semana, dependiendo de qué día de la semana sea el primero de entrenamiento.

TABLA 17.6 Frecuencia del entrenamiento con resistencia según la fase de la temporada deportiva (para un atleta entrenado)

Temporada deportiva	Pautas para la frecuencia (sesiones por semana)
Fuera de temporada	4-6
Pretemporada	3-4

Temporada	1-3
Postemporada (descanso activo)	0-3

Fuente: Datos de las referencias bibliográficas 20, 87 y 90.

Carga de entrenamiento y tipo de ejercicio

Los atletas que entrenan con cargas máximas o casi máximas necesitan más tiempo de recuperación antes de la siguiente sesión de entrenamiento (20, 74, 86). La capacidad para entrenar con más frecuencia tal vez mejore si se alternan días de entrenamiento con cargas más ligeras y pesadas (20, 86). También hay pruebas de que los músculos del hemicuerpo superior se recuperan más rápido de las sesiones con cargas pesadas que los músculos del hemicuerpo inferior (37). Lo mismo es cierto respecto a la capacidad del atleta para recuperarse más rápido de ejercicios monoarticulares que de ejercicios poliarticulares (85). Estos hallazgos de los estudios de investigación tal vez expliquen por qué, por ejemplo, los *powerlifters* pueden programar solo una sesión por semana de entrenamiento de sentadillas o peso muerto con cargas muy pesadas.

Otro entrenamiento

En la frecuencia del ejercicio también influye el volumen general de esfuerzo físico, por lo que el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe tener en cuenta los efectos de todas las formas de ejercicio. Si el programa del atleta ya incluye un entrenamiento aeróbico y anaeróbico (p. ej., esprines, agilidad, velocidad-resistencia, pliometría), tal vez haya que reducir la frecuencia del entrenamiento con resistencia para poder practicar destrezas deportivas o cualquier combinación de estos componentes (13). Además, los efectos de una ocupación físicamente exigente también pueden ser relevantes. Los atletas que desempeñan oficios manuales, que enseñan en actividades físicas a otros o les ayudan, o que están de pie todo el día, tal vez no soporten la misma frecuencia de entrenamiento que los atletas menos activos fuera del ámbito deportivo.

Paso 4: Orden de los ejercicios

El **orden de los ejercicios** remite a la secuencia de ejercicios resistidos

practicados durante las sesiones de entrenamiento. Aunque hay muchas formas de organizar los ejercicios, las decisiones se basan invariablemente en cómo influye un ejercicio en la calidad, esfuerzo o técnica de otro ejercicio. Habitualmente, los ejercicios se organizan de modo que esté disponible la capacidad de fuerza máxima de un atleta (con un descanso suficiente o un período de recuperación) para completar una serie con la técnica correcta. En los párrafos siguientes se describen cuatro de los métodos más habituales para organizar los ejercicios resistidos.

Aplicación de las pautas para la frecuencia del entrenamiento

(Remitimos al recuadro del pie de la página 441 para la descripción de los atletas)

Caso A Jugadora de baloncesto universitario Pretemporada	Caso B Liniero de fútbol americano profesional Fuera de temporada	Caso C Corredor de *cross* de instituto Plena temporada
UN ESTADO DE ENTRENAMIENTO AVANZADO PERMITE 4-7/semana	**UN ESTADO DE ENTRENAMIENTO AVANZADO PERMITE** 4-7/semana	**UN ESTADO DE ENTRENAMIENTO DE PRINCIPIANTE PERMITE** 2-3/semana
PAUTA DE FRECUENCIA BASADA EN LA TEMPORADA DEPORTIVA 3-4/semana	**PAUTA DE FRECUENCIA BASADA EN LA TEMPORADA DEPORTIVA** 4-6/semana	**PAUTA DE FRECUENCIA BASADA EN LA TEMPORADA DEPORTIVA** 1-3/semana
CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DE ENTRENAMIENTO CON RESISTENCIA 3/semana[a] • Lunes, miércoles y viernes • Todos los ejercicios se practican en cada sesión	**CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DE ENTRENAMIENTO CON RESISTENCIA** 4/semana (prácticas partidas[b]) • Lunes y jueves (ejercicios del hemicuerpo inferior) • Martes y viernes (ejercicios del hemicuerpo superior)	**CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DE ENTRENAMIENTO CON RESISTENCIA** 2/semana[c] • Miércoles y sábado • Todos los ejercicios se practican en cada sesión
COMENTARIOS [a]La frecuencia del entrenamiento disminuye respecto de la temporada previa (fuera de temporada) para dejar más	**COMENTARIOS** [b]Unas practícas partidas permiten realizar más ejercicios generales sin un aumento excesivo del tiempo	**COMENTARIOS** [c]Los días asignados de entrenamiento se tienen que planificar para que no influyan en el

tiempo y recursos físicos que aplicar a un entrenamiento de las destrezas especíicas del baloncesto.	de entrenamiento (por sesión), porque los ejercicios se dividen en más días de entrenamiento.	rendimiento del atleta los días programados para las competiciones de *cross*.

Ejercicios de potencia, troncales y luego auxiliares

Los ejercicios de potencia como la arrancada, la cargada colgante, la cargada de fuerza y el empuje sobre la cabeza se deben practicar primero en una sesión de entrenamiento, seguidos por otros ejercicios troncales que no sean de potencia y luego por los ejercicios auxiliares (20, 83, 88). La literatura también se refiere a esta división como *ejercicios poliarticulares y luego ejercicios monoarticulares*, o *áreas de grandes músculos y luego áreas de músculos pequeños* (18, 20, 72, 86, 90). Los ejercicios de potencia requieren el nivel máximo de destreza y concentración y se ven más afectados por la fatiga (20). Los atletas que se fatigan son propensos a emplear una técnica defectuosa y, por consiguiente, corren mayor riesgo de lesionarse. Los movimientos explosivos y la amplia participación muscular de los ejercicios de potencia también conllevan un gasto significativo de energía (86). Esa es otra razón para que los atletas practiquen estos ejercicios primero, mientras todavía están metabólicamente frescos. Si los ejercicios de potencia no se seleccionan durante el paso 2 (selección de ejercicios), el orden recomendado es los ejercicios troncales primero y luego los ejercicios auxiliares.

Ejercicios (alternos) para los hemicuerpos superior e inferior

Un método para brindar a los atletas la oportunidad de que se recuperen plenamente entre ejercicios es alternar ejercicios para el hemicuerpo superior con ejercicios para el hemicuerpo inferior. Esta disposición es especialmente útil para personas no entrenadas a las que les resulta demasiado agotador completar en sucesión varios ejercicios para los hemicuerpos superior o inferior (20, 72). Además, si el tiempo de entrenamiento es limitado, este método de organizar los ejercicios reduce al mínimo la duración de los períodos de descanso necesarios entre ejercicios y potencia al máximo el descanso entre áreas del cuerpo. El resultado es una disminución del tiempo dedicado al entrenamiento general, porque el atleta practica un ejercicio para el hemicuerpo superior y luego inmediatamente otro para el hemicuerpo

inferior sin tener que esperar a que descanse el hemicuerpo superior. Si los ejercicios se practican con períodos mínimos de descanso (20-30 segundos), este método también recibe el nombre de **entrenamiento en circuito**, un método que a veces se usa para mejorar la capacidad cardiorrespiratoria (23), aunque en menor grado que el entrenamiento convencional con ejercicio aeróbico.

Ejercicios (alternos) de «empuje» y «tracción»

Otro método para mejorar la recuperación y el reclutamiento entre ejercicios es alternar ejercicios de empuje (p. ej., *press* de banca, *press* de hombros y extensiones de tríceps) con ejercicios de tracción (p. ej., jalones, remo inclinado, flexiones de bíceps) (2). Esta distribución garantiza que no se use el mismo grupo muscular en dos ejercicios sucesivos (o series, en algunos casos), reduciendo por tanto el cansancio de los músculos implicados. En contraste, la disposición de varios ejercicios de tracción (p. ej., mentones, remo sentado, flexiones de martillo) uno tras otro, incluso con un período de descanso intermedio, comprometerá el número de repeticiones, porque el músculo bíceps braquial (implicado en los tres ejercicios) responderá menos debido al cansancio. El mismo resultado se producirá si se disponen en una secuencia varios ejercicios de empuje (p. ej., *press* de banca inclinado, *press* de hombros, tríceps en máquina; los tres ejercitan el músculo tríceps braquial) (83).También existen disposiciones con ejercicios de empuje-tracción para el hemicuerpo inferior —por ejemplo, *press* de piernas y sentadillas trasnuca tipo «empuje», y peso muerto con las piernas rígidas y flexiones de piernas (rodillas) tipo «tracción»—, aunque la clasificación de algunos ejercicios como de «empuje» o «tracción» no esté tan clara (p. ej., las extensiones de piernas [rodillas]). La alternancia de ejercicios de empuje y tracción también se aplica en los programas de entrenamiento en circuito y su orden es ideal para atletas que están comenzando o que reinician un programa de entrenamiento con resistencia (3, 20).

Aplicación de las pautas para el orden de los ejercicios

(Remitimos al recuadro del pie de la página 441 para la descripción de los atletas)

Caso A Jugadora de baloncesto	Caso B Liniero de fútbol americano	Caso C Corredor de *cross* de instituto

universitario Pretemporada	profesional Fuera de temporada	Plena temporada
ESTRATEGIAS PARA EL ORDEN ASIGNADO DE LOS EJERCICIOS • Ejercicios de potencia, estructurales y luego auxiliares • Ejercicios de «empuje» y de «tracción» (alternos)	**ESTRATEGIAS PARA EL ORDEN ASIGNADO DE LOS EJERCICIOS** • Ejercicios estructurales y luego auxiliares • Ejercicios de «empuje» y de «tracción» (alternos)	**ESTRATEGIAS PARA EL ORDEN ASIGNADO DE LOS EJERCICIOS** • Ejercicios, estructurales y luego auxiliares • Ejercicios de los hemicuerpos superior e inferior (alternos), entrenamiento en circuito
LUNES, MIÉRCOLES Y VIERNES Cargada colgante[a] Empuje sobre la cabeza[b] Sentadilla frontal[a] *Press* de banca inclinado[b] Remo sentado Flexiones alternas con mancuernas Tríceps en máquina Abdominales cortos	**HEMICUERPO INFERIOR (LUNES Y JUEVES)** Peso muerto[c] Sentadilla trasnuca[c] Subida de escalones[c] Flexiones de piernas (rodillas) Sóleo en sedestación **HEMICUERPO SUPERIOR (MARTES VIERNES)** *Press* de banca Remo inclinado *Press* de hombros Flexiones de bíceps con haltera[d] Elevaciones de hombros Extensiones de tríceps en decúbito Flexiones cortas	**MIÉRCOLES Y SÁBADO** Tijeras *Press* de pecho en máquina vertical Flexiones de piernas (rodillas) Remo a un brazo con mancuerna Flexión dorsal del pie Elevaciones laterales de brazos Extensión de espalda en máquina[e] Flexiones cortas Se completa una serie de cada ejercicio y luego se repite[f]
COMENTARIOS [ab]Estos ejercicios se alternan para aportar un descanso relativo entre sus patrones de	**COMENTARIOS** [c]Estos ejercicios no siguen el orden (alterno) de ejercicios de «empuje» y de «tracción», y se pueden practicar siguiendo diversas secuencias (p. ej., sentadilla trasnuca, peso muerto,	**COMENTARIOS** [e]Los ejercicios que entrenan concéntricamente los músculos lumbares se deben practicar después de ejercicios que requieren que el torso esté erguido o la columna neutra (p. ej., tijeras y elevaciones laterales de brazos). El cansancio de los

movilidad similares, aunque siguiendo la estrategia para el orden de los ejercicios de «potencia, troncales y luego auxiliares».	subida de escalones). [d]Aunque el ejercicio de flexiones de bíceps con haltera es un movimiento de «tracción» y se realiza antes que otro ejercicio de «empuje» (elevaciones de hombros), no afecta la capacidad del atleta para practicar el ejercicio de elevaciones de hombros.	músculos lumbares puede derivar en una ejecución técnica incorrecta y, por tanto, potencialmente dañina de los ejercicios estructurales o en bipedestación. [f]Los ocho ejercicios se practican como una serie, uno tras otro (es decir, en «circuito»).

Superseries y series compuestas

Otros métodos para organizar la disposición y orden de los ejercicios consisten en que los atletas practiquen una serie de un par de ejercicios con poco o ningún descanso entre ellos. Dos ejemplos corrientes son las superseries y las series compuestas. Una **superserie** comprende dos ejercicios practicados secuencialmente que ejercitan dos músculos o áreas musculares opuestas (es decir, agonistas y antagonistas) (2). Por ejemplo, un atleta completa 10 repeticiones del ejercicio de flexiones de bíceps con haltera, deja la barra en el suelo y, acto seguido, va a la estación correspondiente donde practica 10 repeticiones de tríceps en máquina. Una **serie compuesta** implica la práctica secuencial de dos ejercicios distintos para el mismo grupo muscular (2). Por ejemplo, un atleta completa una serie de flexiones de bíceps con haltera, cambia la haltera por unas mancuernas y de inmediato practica una serie de flexiones de martillo. En este caso, el esfuerzo impuesto al mismo músculo es compuesto, porque ambos ejercicios reclutan la misma zona muscular. Ambos métodos de ordenar y ejecutar pares de ejercicios son eficaces tanto por aprovechamiento del tiempo como por su propósito de imponer un ejercicio más exigente, por lo que, tal vez, no sean apropiados para atletas en baja condición física. Repárese, sin embargo, en que a veces el significado de *superserie* y *serie compuesta* son intercambiables (20).

Paso 5: Carga del entrenamiento y repeticiones

El término **carga**, en su sentido más sencillo, se refiere a la cantidad de peso asignada a una serie de ejercicios y a menudo se considera el aspecto más crítico de un programa de entrenamiento con resistencia (20, 63, 73, 86).

Terminología usada para cuantificar y calificar el trabajo mecánico

El **trabajo mecánico** se puede definir como el producto de la *fuerza* por el *desplazamiento* (a veces llamado *distancia*). Los atletas desarrollan un trabajo mecánico (externo) por medio de las exigencias impuestas al cuerpo para que genere energía metabólica (interna). Es importante, por tanto, cuantificar la cantidad de trabajo mecánico o el grado de exigencia metabólica con la intención de planificar la variación en el programa de entrenamiento y para evitar la fase de agotamiento del síndrome de adaptación general de Selye, el cual se asocia con el sobreentrenamiento (8).

Se necesita una medida de cantidad para el «trabajo» del entrenamiento con resistencia. Tradicionalmente, al menos en el deporte de la halterofilia olímpica, este «trabajo» se ha denominado «carga», y se ha calculado multiplicando el peso levantado por el número de veces que se levanta, para luego sumar todos los valores de la sesión de entrenamiento.

No obstante, **volumen-carga** (48, 77) tal vez sea un término mejor que solo *carga*. Esta cantidad guarda una muy estrecha relación con el trabajo mecánico (59, 60, 62), con el esfuerzo fisiológico y con las exigencias asociadas de energía metabólica; además, se diferencia de la **repetición-volumen** (es decir, del número total de repeticiones; véase el «Paso 6: Volumen» para más explicaciones).

Para ahondar en el concepto de volumen-carga, si una haltera que tiene 100 «unidades de peso» se levanta 2 «unidades de distancia» vertical hasta un total de 15 repeticiones, el trabajo mecánico concéntrico total será 3.000 «unidades de trabajo» (100 × 2 × 15). Sin embargo, el volumen-carga (1.500 unidades) no incluye el valor de la distancia, aunque esté directamente relacionado con la cantidad de trabajo mecánico desarrollado y con el grado de exigencia metabólica que experimenta el atleta para levantar el peso las repeticiones requeridas. El volumen-carga se debe considerar como *sistema masa volumen-carga* en el cálculo del entrenamiento con resistencia, en el cual se mueve el atleta o se desplaza una masa (p. ej., sentadillas con salto y una carga) (10, 59, 61). Por ejemplo, un atleta de 80 kg que soporta una carga de 40 kg en la sentadilla con salto durante cuatro series de tres está levantando 120 kg × 12, o sea, 1.400 kg. Los métodos que recurren al volumen-carga también son muy útiles para cuantificar la naturaleza de la carga total del entrenamiento con resistencia, separando para ello el volumen-

carga de los ejercicios troncales y auxiliares, o delimitando entre hipertrofia, fuerza máxima y entrenamiento de potencia. De este modo, resulta posible planificar o determinar no solo el volumen-carga total para la sesión, sino también el estímulo principalmente obtenido durante la misma.

Repárese en que el volumen-carga no influye en la disposición de las repeticiones ni de las series (es decir, 15 series de 1 repetición, 5 series de 3 repeticiones, 3 series de 5 repeticiones, o 1 serie de 15 repeticiones). Los diversos programas de series y repeticiones influyen en el valor real de la **intensidad** de un ejercicio resistido y revelan la *cualidad* del trabajo realizado. En vez de utilizar el tiempo para calcular la intensidad o potencia metabólicas o mecánicas, resulta más práctico emplear un valor que sea proporcional al tiempo, es decir, repetición-volumen. Cuantas más repeticiones se practiquen, más larga será la sesión de entrenamiento (la duración de los períodos de descanso es otra consideración adicional que no se tiene directamente en cuenta). Al dividir el volumen-carga por la repetición-volumen se obtiene la media del peso levantado por repetición y por sesión de entrenamiento (86). Esta es una buena aproximación a la producción de potencia metabólica y mecánica, que son la verdadera intensidad o cualidad de los parámetros de trabajo.

Relación entre carga y repeticiones

El número de veces que se practica un ejercicio (**repeticiones**) es inversamente proporcional a la carga levantada; cuanto más pesada sea la carga, menor será el número de repeticiones que se consiga completar. Por lo tanto, centrarse en una meta del entrenamiento implica automáticamente el empleo de cierta carga y régimen de repeticiones (p. ej., el entrenamiento de la fuerza muscular implica levantar grandes cargas pero con pocas repeticiones).

Antes de asignar las cargas del entrenamiento, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe entender esta relación entre cargas y repeticiones. La carga se suele describir como un cierto porcentaje de **1 repetición máxima (1RM)** —la máxima cantidad de peso que se levanta con una técnica correcta y una sola vez— o el mayor peso levantado un número específico de repeticiones, o **repetición máxima (RM)** (19). Por ejemplo, si los atletas pueden completar 10 repeticiones con 60 kg en el ejercicio de sentadillas trasnuca, 10RM son 60 kg. Se asume que el atleta desarrolló un

esfuerzo máximo; si se hubiese quedado en nueve repeticiones, pero con la posibilidad de practicar una más, no se habrían alcanzado 10RM. De igual modo, si levantase 55 kg en 10 repeticiones (pero pudiese completar más), entonces no se habría determinado con precisión las 10RM, porque el atleta es posible que hubiese podido levantar 60 kg en 10 repeticiones.

La tabla 17.7 muestra la relación entre una carga submáxima —calculada como un porcentaje de 1RM— y el número de repeticiones que se pueden practicar con esa carga. Por definición, el 100% de 1RM permite al atleta completar una repetición. A medida que disminuye el porcentaje de 1RM (es decir, la carga levantada), el atleta será capaz de completar con éxito más repeticiones. En la literatura (9, 49, 54, 65) se pueden hallar otras tablas del porcentaje de 1RM y el número de repeticiones con valores ligeramente distintos del porcentaje de 1RM, aunque solo varían de 0,5 a 2 puntos de porcentaje respecto a los que aparecen en la tabla 17.7.

Aunque las tablas del porcentaje de 1RM y el número de repeticiones ofrecen unas pautas útiles para asignar cargas de entrenamiento a los atletas, los estudios de investigación realizados hasta la fecha no respaldan el uso generalizado de estas tablas para establecer las cargas de entrenamiento de cualquier ejercicio asignado a los atletas, por las razones siguientes:

- La tabla 17.7 asume que hay una asociación lineal entre las cargas levantadas y las repeticiones practicadas; sin embargo, varios estudios han documentado que existe una relación curvilínea (51, 54, 56).
- Los atletas que siguen un entrenamiento con resistencia tal vez logren superar el número de repeticiones indicadas en la tabla con cualquier porcentaje dado de su 1RM, sobre todo en ejercicios troncales con el hemicuerpo inferior (35, 36).
- El número de repeticiones que se practican con cierto porcentaje de 1RM se basa en una sola serie. Cuando un atleta practica múltiples series, tal vez se tengan que reducir las cargas para que se logre completar el número deseado de repeticiones en todas las series (20).
- A pesar de la prevalencia de los estudios sobre 1RM, los atletas tal vez no siempre completen el número predicho de repeticiones con un porcentaje específico de 1RM (20, 90). Por ejemplo, estudios realizados por Hoeger (35, 36) demostraron que los sujetos eran capaces de practicar dos o tres veces más repeticiones que las indicadas en la tabla 17.7.

- Cierto porcentaje de 1RM asignado a un ejercicio en máquina de musculación se puede traducir en más repeticiones con el mismo porcentaje de 1RM que con un ejercicio similar con pesas libres (35, 36).
- Los ejercicios que ejercitan áreas musculares más pequeñas tal vez alcancen tantas repeticiones como las que se indican en la tabla 17.7, mientras que los ejercicios que reclutan áreas musculares grandes es probable que consigan completar más repeticiones (90).
- La relación más precisa entre los porcentajes de 1RM y el número posible de repeticiones máximas es para cargas superiores al 75% de 1RM y menos de 10 repeticiones (9, 84, 94). Las pruebas empíricas sugieren asimismo que, a medida que disminuye el porcentaje de 1RM, aumenta la variabilidad en el número de repeticiones que se pueden completar.

TABLA 17.7 Porcentaje de 1RM y repeticiones permitidas (porcentaje de la relación entre 1RM y las repeticiones)

Porcentaje 1RM	Número de repeticiones permitidas
100	1
95	2
93	3
90	4
87	5
85	6
83	7
80	8
77	9
75	10
70	11
67	12
65	15

Fuente: Datos de las referencias bibliográficas 9, 49, 54 y 65.

Por lo tanto, las cargas calculadas a partir del porcentaje de 1RM en la tabla 17.7 solo se deberían usar como una pauta para calcular una carga

particular de RM para un ejercicio del entrenamiento resistido. Incluso con los puntos débiles inherentes que acabamos de mencionar, parece que sigue siendo más preciso asignar cargas basadas en un porcentaje de 1RM —establecida con una prueba— que calcular 1RM a partir de una carga submáxima (34, 35).

Opciones de pruebas de 1RM y múltiples RM

Para recabar la información necesaria para asignar una carga de entrenamiento, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico tiene la opción de determinar los siguientes datos sobre el atleta:

- Su 1RM real (evaluada directamente).
- Su 1RM calculada a partir de la prueba de múltiples RM (p. ej., 10RM).
- Las múltiples RM basadas en el número de repeticiones planificadas para ese ejercicio (las repeticiones «deseadas»; p. ej., cinco repeticiones por serie).

Una vez que se ha medido o calculado 1RM real, se calcula la carga de entrenamiento del atleta como un porcentaje de 1RM. Como alternativa, se procede a una prueba de múltiples RM basada en las repeticiones deseadas, con lo cual se eliminan los cálculos o estimaciones. En muchos casos, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico usará diversas opciones de prueba dependiendo de los ejercicios seleccionados y de la experiencia que tenga el atleta con el entrenamiento. Una estrategia habitual para someter a prueba a atletas en suficiente condición física es practicar la prueba de 1RM con varios ejercicios troncales y usar la prueba de múltiples RM en los ejercicios auxiliares.

Prueba de 1RM

Para asignar cargas de entrenamiento basadas en un porcentaje de 1RM, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe determinar primero 1RM del atleta. Este método de evaluación previa se suele reservar a los atletas que siguen un entrenamiento con resistencia, que tienen un nivel intermedio o avanzando y que cuentan con experiencia en la técnica de los ejercicios que se van a usar de prueba. Las personas que no estén entrenadas, que sean inexpertas, que estén lesionadas o bajo supervisión médica tal vez

no sean adecuadas para la prueba de 1RM. La prueba de una repetición máxima requiere un estado de entrenamiento adecuado y experiencia en el levantamiento de pesas, dado que la evaluación de la fuerza máxima impone un esfuerzo significativo a las articulaciones, músculos y tejidos conjuntivos implicados. Por tanto, se ha sugerido recurrir a una prueba de 3RM en lugar de la prueba de 1RM (90). Pasar por alto el estado de entrenamiento y la experiencia con la técnica de los ejercicios del atleta disminuye la seguridad y precisión de los resultados de la prueba de 1RM.

Al seleccionar ejercicios para la prueba de 1RM, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe optar por ejercicios troncales, porque son preferibles los grandes grupos musculares y las múltiples articulaciones para soportar grandes cargas. A pesar de esta pauta, no se debe elegir un ejercicio para la prueba de 1RM si no va a proporcionarnos datos válidos y fiables (es decir, si no evalúa con precisión y consistencia la fuerza muscular máxima). Por ejemplo, es probable que la poderosa musculatura de la porción superior de la espalda y las múltiples articulaciones implicadas en el ejercicio de remo inclinado toleren las cargas de la prueba de 1RM; sin embargo, mantener una postura correcta del cuerpo durante la prueba resultará muy difícil. Los músculos estabilizadores —más débiles— de la región lumbar pueden terminar muy fatigados después de varias series de prueba, con lo cual se deteriora la técnica del ejercicio y los datos de la prueba terminan siendo nulos y potencialmente poco fiables.

Es posible usar distintos procedimientos para determinar con exactitud 1RM; en la figura 17.1 se describe un método. A pesar de la secuencia ordenada de la prueba, las variaciones en el estado de entrenamiento y en el tipo de ejercicios influirán en los incrementos de la carga durante las series secuenciales de la prueba. Por ejemplo, el incremento gradual de la carga para los intentos de la 1RM de un atleta que levanta 225 kg en la sentadilla trasnuca tal vez sea de 9 a 14 kg por serie de la prueba. En el caso de un atleta más débil, con 1RM de 45 kg en la sentadilla trasnuca, un incremento de 9 a 14 kg en la prueba sería demasiado agresivo y no lo bastante preciso como para obtener un valor exacto de 1RM. Para mejorar la adecuación y exactitud de las series secuenciales de la prueba, la figura 17.1 también incluye porcentajes relativos que se pueden usar en lugar de los ajustes de la carga absoluta.

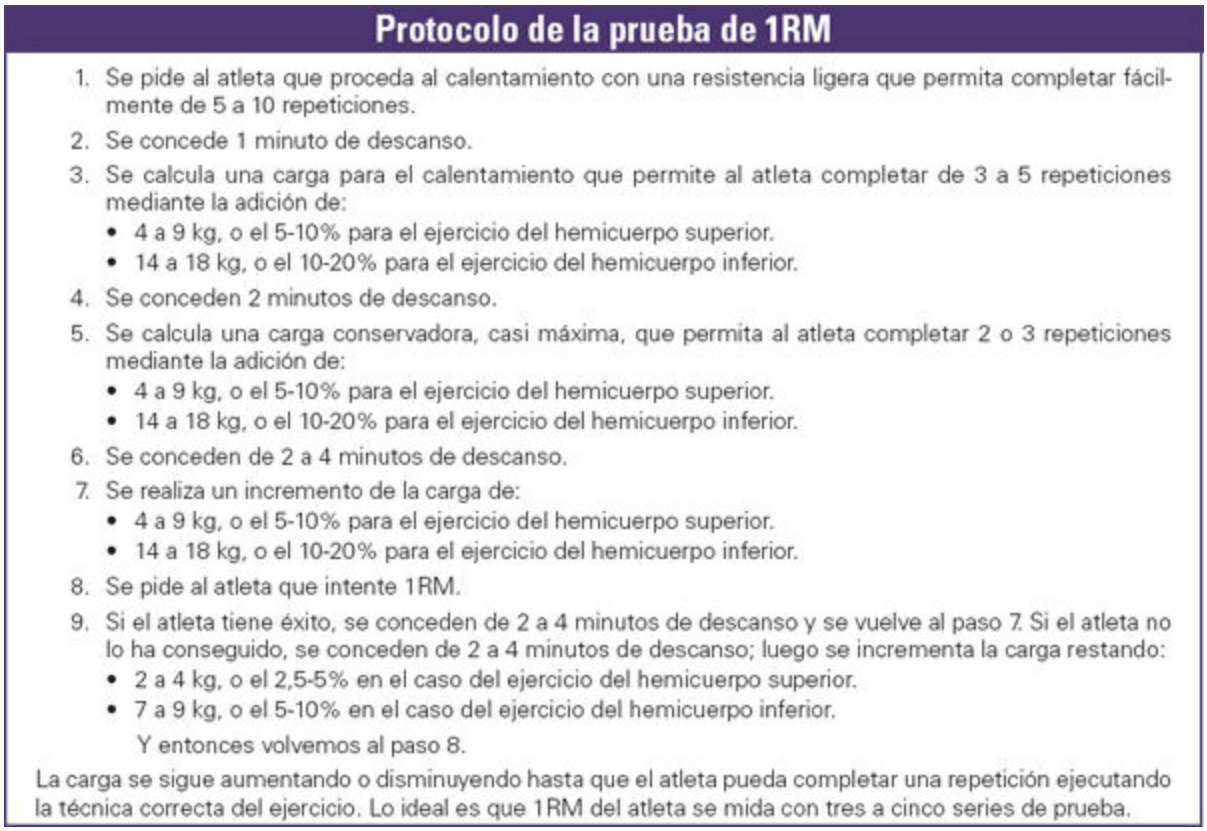


FIGURA 17.1 Protocolo de la prueba de 1RM.

Fuente: Reproducido, con permiso, de Earle, 2006 (18).

Cálculo de 1RM

Cuando la prueba de la fuerza máxima no está justificada, una prueba con una carga de 10RM (para luego calcular o predecir 1RM) puede ser una opción secundaria adecuada. Este método es apropiado para casi todos los atletas, siempre que exhiban la técnica correcta durante el ejercicio de la prueba. Se pueden seleccionar ejercicios troncales y auxiliares para la prueba de 10RM, aunque un calentamiento excesivo, junto con las series de la prueba, quizá fatiguen al atleta y comprometan la precisión de la prueba. Adicionalmente, los ejercicios de potencia no son apropiados para multiplicar la prueba de múltiples RM por encima de cinco repeticiones en series repetidas, puesto que la ejecución técnica se deteriora rápidamente (8, 86). Se obtienen cálculos con menos múltiples RM (pero más exactos) mediante cargas más pesadas una vez que el atleta tiene suficiente entrenamiento y experiencia técnica.

El protocolo para la prueba de 10RM es similar al de la prueba de 1RM, si bien cada serie requiere 10 repeticiones, no una. Después de completar unas

tandas de calentamiento, los cambios de la carga secuencial del atleta para la prueba de 10RM son menores de los que aparecen en la figura 17.1 (aproximadamente la mitad). El proceso de la prueba continúa hasta que se determine una carga que solo permita completar 10 repeticiones. Un especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico ajustará las cargas de modo que se midan las 10RM con tres a cinco series de la prueba.

Uso de la tabla de 1RM Para calcular 1RM del atleta, se consultará la tabla 17.8. En la columna «Repeticiones máximas»: Reps. máx. (RM)» = 10 (% de 1RM = 75), primero se localiza la carga de 10RM; luego se busca en la fila la columna de «Reps. máx. (RM)» = 1 (% de 1RM = 100) para descubrir esa 1RM proyectada para el atleta. Por ejemplo, si las 10RM de un atleta son 136 kg, entonces 1RM son 181 kg. Como se ha podido apreciar en la tabla 17.7, las asociaciones entre el porcentaje de 1RM y el número de repeticiones varían según los diversos estudios existentes. Esta tabla se puede utilizar como una guía hasta que el atleta haya desarrollado los atributos neuromusculares que permitan que la prueba con cargas mayores (p. ej., 1-5RM) sea segura y eficaz (20, 86).

Uso de ecuaciones predictivas También hay ecuaciones para predecir 1RM a partir de las cargas de múltiples RM (9, 54). Los investigadores que han sometido a revisión estas ecuaciones informan de que, a medida que las cargas de la prueba de múltiples RM se vuelven más pesadas (es decir, las cargas se aproximan a la 1RM real), aumenta la precisión del cálculo de 1RM. Igualmente, las predicciones son más precisas cuando las ecuaciones se basan en cargas equivalentes o inferiores a 10RM (9, 55, 84, 86, 94). Por lo demás, los resultados obtenidos a partir de la prueba con pesos inferiores de múltiples RM (y las predicciones posteriores de 1RM) son por lo general más precisos que cuando un atleta ha entrenado de forma constante con resistencias bajas para las múltiples RM (es decir, cargas pesadas) durante unos meses antes de la prueba (8).

Prueba de múltiples RM basada en las repeticiones asignadas

Una tercera opción para determinar las cargas del entrenamiento exige que el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico decida primero el número de repeticiones (es decir, las **repeticiones asignadas**) que practicará el atleta en el programa para el que se utiliza de prueba el ejercicio. Por

ejemplo, si el especialista decide que el atleta debe completar seis repeticiones en el ejercicio de *press* de banca dentro del programa de entrenamiento, el protocolo de la prueba de múltiples RM debe requerir que el atleta ejecute el ejercicio con una carga que permita completar seis repeticiones (6RM). Se seleccionan ejercicios troncales y auxiliares para la prueba de múltiples RM, pero, como se mencionó con anterioridad, tandas de muchas repeticiones en la prueba pueden derivar en un cansancio significativo y quizá comprometan la precisión del número de múltiples RM. Este efecto parece ser más problemático en el caso de ejercicios en que intervienen múltiples articulaciones y grandes áreas musculares debido a su elevada exigencia metabólica (86). Además, la prueba de múltiples RM (y la posterior asignación de cargas) para los ejercicios auxiliares debe ser o estar por encima de 8RM para reducir al mínimo cualquier esfuerzo aislado en la articulación y tejido conjuntivo implicados (2, 18). Es decir, incluso si un atleta sigue un programa de entrenamiento muscular de la fuerza en que intervienen cargas de 2RM en los ejercicios troncales, la máxima carga que se debería asignar a los ejercicios auxiliares es 8RM.

Asignación de la carga y las repeticiones según el objetivo del entrenamiento

Durante el análisis de las necesidades, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico afronta el reto de tener que elegir el objetivo primario del programa de entrenamiento con resistencia basándose en los resultados de la prueba del atleta, en el análisis fisiológico y del movimiento del deporte, y en las prioridades de la temporada deportiva del atleta. Una vez decidido, el objetivo del entrenamiento se puede aplicar para determinar la carga específica y el número de repeticiones asignadas mediante el continuo del número de RM, un porcentaje de 1RM (obtenido directamente o calculado) o los resultados de la prueba de múltiples RM. Como se explicó previamente, los métodos de la prueba determinan el modo en que se asignan las cargas y repeticiones en cada ejercicio (es decir, las cargas se calculan como un porcentaje de 1RM calculada u obtenida con una prueba, o las cargas específicas se determinan específicamente a partir de la prueba de múltiples RM). Las opciones para las pruebas y la asignación de cargas y repeticiones en el entrenamiento aparecen resumidas en la figura 17.2.

TABLA 17.8 Cálculo de 1RM y de las cargas del entrenamiento

REPS. MÁX (RM)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15
Porcentaje 1RM (%)	**100**	**95**	**93**	**90**	**87**	**85**	**83**	**80**	**77**	**75**	**67**	**65**
Carga (kilogramos o libras)	10	10	9	9	9	9	8	8	8	8	7	7
	20	19	19	18	17	17	17	16	15	15	13	13
	30	29	28	27	26	26	25	24	23	23	20	20
	40	38	37	36	35	34	33	32	31	30	27	26
	50	48	47	45	44	43	42	40	39	38	34	33
	60	57	56	54	52	51	50	48	46	45	40	39
	70	67	65	63	61	60	58	56	54	53	47	46
	80	76	74	72	70	68	66	64	62	60	54	52
	90	86	84	81	78	77	75	72	69	68	60	59
	100	95	93	90	87	85	83	80	77	75	67	65
	110	105	102	99	96	94	91	88	85	83	74	72
	120	114	112	108	104	102	100	96	92	90	80	78
	130	124	121	117	113	111	108	104	100	98	87	85
	140	133	130	126	122	119	116	112	108	105	94	91
	150	143	140	135	131	128	125	120	116	113	101	98
	160	152	149	144	139	136	133	128	123	120	107	104
	170	162	158	153	148	145	141	136	131	128	114	111
	180	171	167	162	157	153	149	144	139	135	121	117
	190	181	177	171	165	162	158	152	146	143	127	124
	200	190	186	180	174	170	166	160	154	150	134	130
	210	200	195	189	183	179	174	168	162	158	141	137
	220	209	205	198	191	187	183	176	169	165	147	143
	230	219	214	207	200	196	191	184	177	173	154	150
	240	228	223	216	209	204	199	192	185	180	161	156
	250	238	233	225	218	213	208	200	193	188	168	163
	260	247	242	234	226	221	206	208	200	195	174	169
	270	257	251	243	235	230	224	216	208	203	181	176
	280	266	260	252	244	238	232	224	216	210	188	182
	290	276	270	261	252	247	241	232	223	218	194	189
	300	285	279	270	261	255	249	240	231	225	201	195
	310	295	288	279	270	264	257	248	239	233	208	202
	320	304	298	288	278	272	266	256	246	240	214	208
	330	314	307	297	287	281	274	264	254	248	221	215
	340	323	316	306	296	289	282	272	262	255	228	221
	350	333	326	315	305	298	291	280	270	263	235	228
	360	342	335	324	313	306	299	288	277	270	241	234
	370	352	344	333	322	315	307	296	285	278	248	241
	380	361	353	342	331	323	315	304	293	285	255	247
	390	371	363	351	339	332	324	312	300	293	261	254

REPS. MÁX (RM)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15
Porcentaje 1RM (%)	100	95	93	90	87	85	83	80	77	75	67	65
	400	380	372	360	348	340	332	320	308	300	268	260
	410	390	381	369	357	349	340	328	316	308	274	267
	420	399	391	378	365	357	349	336	323	315	281	273
	430	409	400	387	374	366	357	344	331	323	288	280
	440	418	409	396	383	374	365	352	339	330	295	286
	450	428	419	405	392	383	374	360	347	338	302	293
	460	437	428	414	400	391	382	368	354	345	308	299
	470	447	437	423	409	400	390	376	362	353	315	306
	480	456	446	432	418	408	398	384	370	360	322	312
	490	466	456	441	426	417	407	392	377	368	328	319
	500	475	465	450	435	425	415	400	385	375	335	325
	510	485	474	459	444	434	423	408	393	383	342	332
	520	494	484	468	452	442	432	416	400	390	348	338
	530	504	493	477	461	451	440	424	408	398	355	345
	540	513	502	486	470	459	448	432	416	405	362	351
	550	523	512	495	479	468	457	440	424	413	369	358
	560	532	521	504	487	476	465	448	431	420	375	364
	570	542	530	513	496	485	473	456	439	428	382	371
	580	551	539	522	505	493	481	464	447	435	389	377
	590	561	549	531	513	502	490	472	454	443	395	384
	600	570	558	540	522	510	498	480	462	450	402	390

Continuo del número de repeticiones máximas

La figura 17.3 muestra cómo la selección de las RM se asocia con las metas del entrenamiento; se usarán cargas relativamente pesadas si el objetivo es la fuerza o la potencia; cargas moderadas para la hipertrofia, y cargas ligeras para la tolerancia o resistencia muscular (lo cual evidencia el mayor tamaño de las letras). Formulemos esta afirmación de otro modo: un número bajo de múltiples RM parece tener el máximo efecto sobre el entrenamiento de la fuerza y la potencia máxima, mientras que un número alto de múltiples RM parece ser mejor para lograr mejoras en la tolerancia muscular (1, 20, 63, 90). El concepto de continuo muestra con eficacia que cierto número de RM *potencia* un resultado específico, pero que los beneficios del entrenamiento son dispares con cualquier número dado de RM.

Porcentaje de 1RM

A pesar de la mezcla fisiológica de efectos del entrenamiento, el principio de

la especificidad sigue dictando el resultado dominante que se consigue y mejora con una carga de entrenamiento concreta. La relación entre el porcentaje de 1RM y el número estimado de repeticiones que se pueden practicar con esa carga (tabla 17.7) permiten al especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico asignar una resistencia específica para un ejercicio en una sesión de entrenamiento. Es decir, el objetivo del entrenamiento se alcanza cuando el atleta levanta una carga de cierto porcentaje de 1RM un número específico de repeticiones (tabla 17.9).

Cálculo de la carga de entrenamiento Por ejemplo, supongamos que el objetivo del entrenamiento de un atleta es la fuerza muscular y que 1RM obtenida en una prueba de *press* de banca es 100 kilogramos. Para aumentar la fuerza, el atleta necesita manejar cargas de al menos el 85% de 1RM (después del calentamiento) que permiten completar seis repeticiones por serie (tabla 17.9). Más específicamente, si el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico asigna cuatro repeticiones por serie para este ejercicio, la carga correspondiente será aproximadamente el 90% de la 1RM (tabla 17.7), o unos 90 kg. Obsérvese que el especialista debe hacer ajustes para asignar cargas basadas en la observación de la facilidad o dificultad que experimenta el atleta al levantar la carga para completar las repeticiones asignadas.

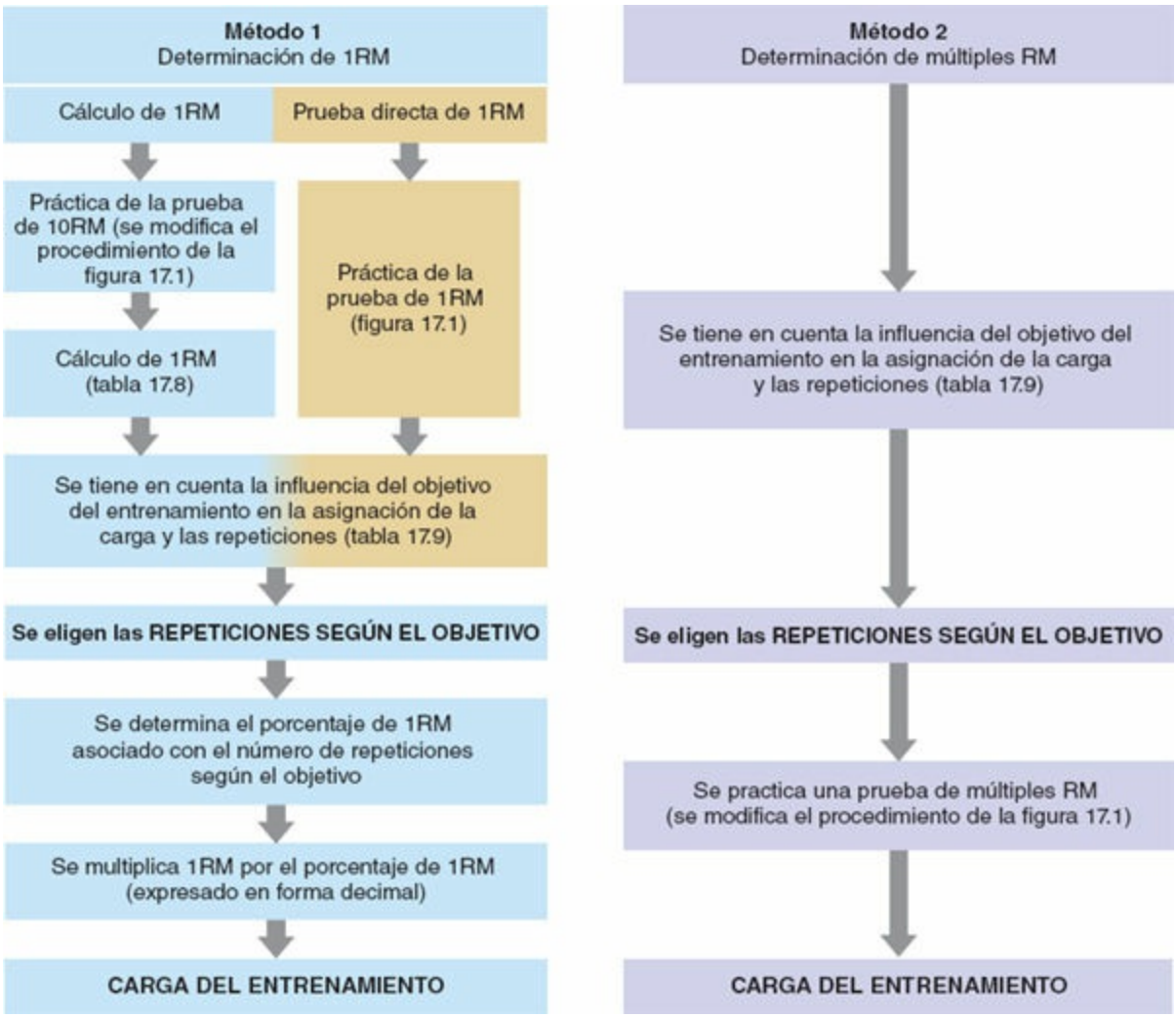


FIGURA 17.2 Resumen de las pruebas y la asignación de repeticiones y cargas de entrenamiento.

Fuente: Reproducido, con permiso, de Earle, 2006 (18).

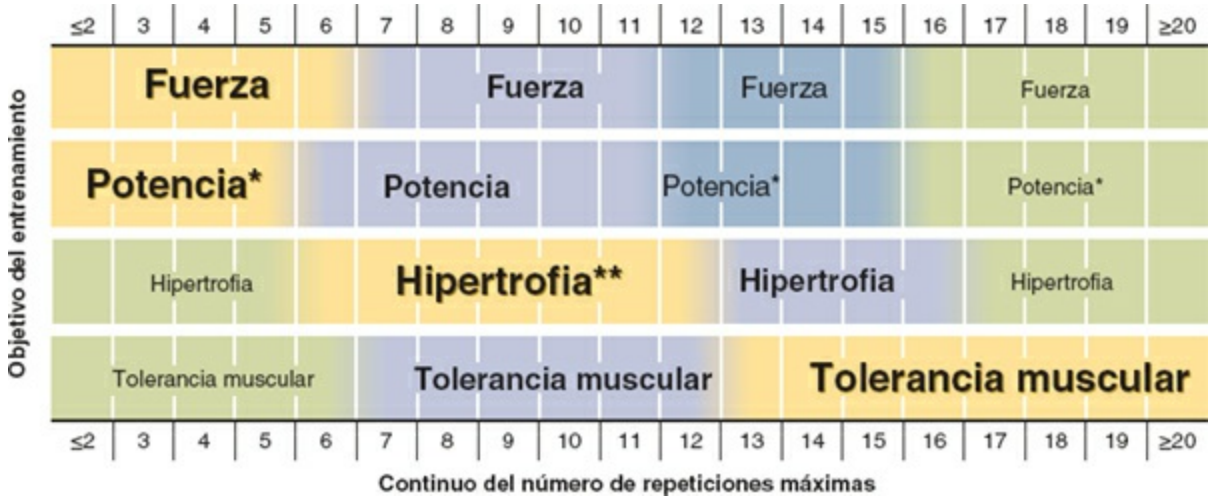


FIGURA 17.3 Este continuo muestra el modo en que la selección de la RM se asocia con diversos objetivos del entrenamiento.

*La selección de repeticiones mostrada en esta figura para la potencia no siempre es acorde con la relación entre el porcentaje de 1RM y el número de repeticiones. Para una explicación más extensa, remitimos a la exposición sobre la asignación de porcentajes para el entrenamiento de la potencia.

**Aunque la selección de repeticiones para la hipertrofia parece muy eficaz, cada vez hay más pruebas de que algunos tipos de fibras, dependiendo del estado de entrenamiento, experimentan una hipertrofia significativa aun cuando no se aplique el mismo número de repeticiones. Es demasiado pronto para saber si estos resultados también se producirán en poblaciones más grandes.

Fuente: Adaptado de las referencias bibliográficas 20 y 87.

TABLA 17.9 Asignación de la carga y las repeticiones según el objetivo del entrenamiento

Objetivo del entrenamiento	Carga (% de 1RM)	Repeticiones segun el objetivo
Fuerza*	≥85	≤6
Potencia:**		
Un solo esfuerzo	80-90	1-2
Multiples esfuerzos	75-85	3-5
Hipertrofia	67-85	6-12
Tolerancia muscular	≤67	≥12

*La asignación de estas cargas a la RM para el entrenamiento de la fuerza muscular se aplica solo a los ejercicios troncales; en el caso de los ejercicios auxiliares, las cargas no serán más pesadas que 8RM (2).

**Se basa en los movimientos derivados del levantamiento de pesos (cargada, arrancada, etc.). La asignación de cargas y repeticiones para la potencia mostradas en esta tabla no siempre son acordes con la relación entre el porcentaje de 1RM y el número de repeticiones. En los movimientos no explosivos, las cargas que equivalen al 80% de 1RM se aplican al rango de dos a cinco repeticiones. Para una explicación más extensa, remitimos a la exposición sobre la asignación de porcentajes de 1RM para el entrenamiento de la potencia.

Fuente: Datos de las referencias bibliográficas 7, 20, 32, 33, 45, 86, 91 y 92.

Asignación de porcentajes para el entrenamiento de potencia La curva de fuerza-velocidad muestra que, cuanto mayor sea la cantidad de fuerza muscular concéntrica generada, más lento es el acortamiento del músculo y la velocidad de movimiento correspondiente (y viceversa). La potencia máxima, por el contrario, se produce a velocidades intermedias con el levantamiento de cargas ligeras a moderadas, pero no máximas (11, 12, 57, 61, 67, 68). Levantar 1RM implica velocidades de movimiento más lentas; se genera

fuerza máxima, pero con una producción reducida de potencia (20, 21, 100). Pocas veces en algún deporte se exige a un atleta que genere un único esfuerzo de fuerza muscular máxima (excepto, por ejemplo, en la halterofilia). La mayoría de los movimientos que se producen en el deporte son más rápidos (66) e implican una producción de potencia más elevada (41) que durante una prueba de 1RM. Esto no significa que la capacidad de generar potencia del atleta no se vea afectada por el entrenamiento de la fuerza muscular máxima. Como los movimientos deportivos de velocidad o potencia suelen iniciarse a velocidad cero o casi cero, las mejoras de la fuerza a velocidad lenta tienen una aplicación directa en la producción de potencia (20). Por tales razones, la asignación de cargas y repeticiones en el entrenamiento de potencia se solapan con las pautas para el entrenamiento de la fuerza (tabla 17.9).

Los datos sobre ejercicios de potencia poliarticulares en descarga (sentadilla con salto, *press* de banca con lanzamiento, *press* de hombros con lanzamiento) y sobre acciones musculares monoarticulares revelan que los picos de potencia se suelen alcanzar con el levantamiento de cargas muy ligeras, desde el peso del cuerpo (0%) hasta el 30% de 1RM (11, 12, 21, 57, 61, 68). No obstante, con pesos tan ligeros, estos ejercicios son difíciles de ejecutar correctamente con el material habitual de entrenamiento, porque el atleta no sobrecarga lo bastante los músculos sin necesitar desacelerar al final del arco de movilidad del ejercicio. La práctica de algunos de estos ejercicios (*press* de banca con lanzamiento, *press* de hombros con lanzamiento) en una máquina Smith, por ejemplo, sirve para cubrir los aspectos de la seguridad. La sentadilla con salto es una excepción, y la mejor forma de practicarla es en una jaula de potencia (11, 12, 57, 59, 61, 68). En el otro extremo del continuo de cargas en el entrenamiento, los datos recabados en múltiples campeonatos de halterofilia y *powerlifiting* de nivel nacional y mundial muestran claramente que la producción de potencia aumenta a medida que disminuye el peso levantado del 100% al 90% de 1RM (21, 22, 81). De hecho, en el caso de la sentadilla trasnuca y el peso muerto, la producción de potencia para una carga equivalente al 90% de 1RM tal vez sea el *doble* de elevada que con 1RM debido a una disminución considerable del tiempo necesario para completar el ejercicio con la carga más ligera (22). Incluso en los ejercicios de potencia, ya de por sí «rápidos» (movimientos basados en la halterofilia), sigue habiendo un incremento del 5-10% en la producción de potencia a medida que disminuye la carga de 1RM al 90% de 1RM (22).

Teniendo en cuenta estos aspectos, la aplicación más eficaz y práctica consiste en asignar cargas en torno al 75-90% de 1RM para los ejercicios del entrenamiento con resistencia en que las cargas son elevadas, como la arrancada, la cargada y otros movimientos asociados con la halterofilia (11, 21, 45, 57, 61).

Para potenciar la especificidad de los programas, se debe indicar la carga y las repeticiones asignadas a los atletas que entrenan *modalidades de potencia de un único esfuerzo* (p. ej., lanzamiento de peso, salto de altura, halterofilia) y *modalidades de potencia de múltiples esfuerzos* (p. ej., baloncesto, voleibol). Por ejemplo, a los atletas de disciplinas en que se despliega un único esfuerzo tal vez se les asignen tandas de una o dos repeticiones usando cargas que equivalen al 80-90% de 1RM, sobre todo los días de entrenamiento con grandes cargas. En deportes en que se despliegan múltiples esfuerzos de potencia máxima (p. ej., los movimientos frecuentes de salto vertical máximo de un jugador de voleibol en los bloqueos), tal vez lo más apropiado sea ejecutar de tres a cinco repeticiones por serie con cargas del 75% al 85% de 1RM (8, 11).

Sobre la base de la relación entre el porcentaje de 1RM y el número de repeticiones que se muestra en la figura 17.7, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico tal vez se cuestione las asignaciones de cargas para el entrenamiento de la potencia de la tabla 17.9. Las cargas basadas en el porcentaje de 1RM tal vez parezcan demasiado bajas comparadas con el número asignado de repeticiones. Por ejemplo, según la tabla 17.7, la ejecución de tres a cinco repeticiones se suele asociar con cargas del 93% al 87% de 1RM, no del 75% al 85% de 1RM o menos, como muestra la tabla 17.9. En los ejercicios de potencia no se puede asumir cargas máximas cuando se programen repeticiones, porque la calidad de la técnica del movimiento declinará antes de que la fatiga muscular momentánea defina una verdadera serie de múltiples RM (20). Por tanto, cargas más ligeras permiten al atleta completar repeticiones a velocidad máxima para favorecer el desarrollo de potencia máxima. Por ejemplo, en los ejercicios de potencia las repeticiones por serie se suelen limitar a cinco, aunque con cargas de hasta 10RM o equivalentes (es decir, aproximadamente el 75% de 1RM) (45). Este ajuste de la carga para favorecer la producción de picos de potencia también se aplica al continuo del número de RM (figura 17.3). El entrenamiento de la potencia se subraya con la adjudicación de cinco repeticiones o menos, aunque el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe darse

cuenta de que estas cargas no son realmente repeticiones *máximas*.

Variación de la carga del entrenamiento

El entrenamiento de la fuerza y la potencia musculares impone un elevado esfuerzo fisiológico al cuerpo del atleta. Los atletas de entrenamiento con resistencia de nivel intermedio y avanzado están acostumbrados a levantar grandes cargas y poseen la experiencia y motivación para ejercitarse casi hasta el fallo en cada serie, aunque no siempre es este el objetivo. A pesar de su alto nivel de entrenamiento, este grado de exigencia del entrenamiento no se suele tolerar mucho tiempo sin caer en un estado de sobreentrenamiento. Por ejemplo, un atleta puede entrenar con resistencia tres días por semana siendo su objetivo la fuerza muscular (p. ej., lunes, miércoles y viernes). Sería difícil que practicara el mismo régimen de poco volumen y una carga tan pesada —sobre todo en los ejercicios de potencia y otros ejercicios troncales— con solo uno o dos días de descanso entre sesiones.

Una estrategia para contrarrestar el sobreentrenamiento asociado con las grandes cargas es alterar las cargas (porcentaje de 1RM) para los ejercicios de potencia y otros ejercicios troncales, de modo que solo un día por semana (p. ej., los lunes) haya grandes cargas. Estas cargas están pensadas para ser repeticiones máximas plenas, o sea, la máxima resistencia que se levanta con éxito el número de repeticiones asignadas. Las cargas para otros días de entrenamiento se reducen (intencionadamente) para permitir la recuperación después del día de grandes cargas, pero manteniendo la suficiente frecuencia y volumen de entrenamiento. En el ejemplo del programa de tres días por semana, los miércoles y viernes son días de entrenamiento de carga «ligera» y «media» (respectivamente). En el caso del día de carga ligera, se calcula el 80% de las cargas levantadas en los ejercicios de potencia y otros ejercicios troncales el día de carga pesada (lunes), y se ordena al atleta que complete el mismo número de repeticiones asignadas. Incluso si el individuo es capaz de completar más repeticiones que el número asignado, no deberá hacerlo. De forma similar, se calcula el 90% de las cargas levantadas en los ejercicios de potencia y otros ejercicios troncales de la sesión de entrenamiento del lunes para el día de carga «media», y se ordena al atleta que complete el mismo número de repeticiones asignadas (2, 8, 86). Este método se puede usar con cualquier frecuencia de entrenamiento. Por ejemplo, un programa de dos días semanales podría contar con un día de carga pesada y otro de carga ligera, o

unas prácticas partidas para el hemicuerpo superior e inferior podrían consistir en dos días de carga pesada (un día para el hemicuerpo superior y otro para el hemicuerpo inferior), y a continuación dos días de carga ligera. Variar las cargas del entrenamiento también funciona bien con los atletas, de modo que los días de grandes cargas pueden ir seguidos de días de carga ligera y acondicionamiento para el deporte, y los días de carga ligera, de días de carga pesada (8). El especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico tiene que controlar esta programación para que no *todos los días* el entrenamiento sea de carga pesada.

Progresión de la carga del entrenamiento

A medida que el atleta se adapta al estímulo del entrenamiento, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe contar con una estrategia para aumentar las cargas del ejercicio con el fin de que las mejoras continúen en el tiempo (progresión). El control del entrenamiento y la representación en forma de diagrama de su respuesta a las sesiones prescritas de ejercicio permite al especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico saber cuánto y en qué grado aumentar las cargas.

Sincronización de los incrementos de la carga

Un método conservador para aumentar las cargas del entrenamiento de los atletas es la **regla de 2 por 2** (2). Si el atleta puede completar dos o más repeticiones respecto al número de repeticiones asignadas en un ejercicio dado durante la última serie y en dos sesiones de entrenamiento consecutivas, se añadirá más peso en la siguiente sesión de entrenamiento. Por ejemplo, un especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico asigna tres series de 10 repeticiones en el *press* de banca, y el atleta completa las 10 repeticiones en todas las series. Después de varias sesiones de entrenamiento (el número específico depende de muchos factores), el atleta es capaz de completar 12 repeticiones en la tercera (y última) serie en dos sesiones consecutivas. En la siguiente sesión de entrenamiento se aumenta la carga en ese ejercicio.

Cantidad de los incrementos de la carga

La decisión sobre cuánto aumentar la carga puede ser difícil de tomar, si bien la tabla 17.10 ofrece recomendaciones generales basadas en la condición del atleta (más fuerte o más débil) y en el área del cuerpo (hemicuerpos superior

o inferior). A pesar de estas pautas, la significativa variación en el estado de entrenamiento, el volumen y las cargas, y los ejercicios (el tipo de participación muscular) influye mucho en cuál es el incremento apropiado de la carga. Para tener en cuenta esta variabilidad, se usan incrementos relativos de la carga del 2,5% al 10% en lugar de los valores absolutos de la tabla 17.10.

TABLA 17.10 Ejemplos de incrementos de la carga

Descripción del atleta*	Área del cuerpo ejercitada	Aumento estimado de la carga**
Más bajo, más debil, menos entrenado	Hemicuerpo superior	1-2 kg
	Hemicuerpo inferior	2-4 kg
Más alto, más fuerte, más entrenado	Hemicuerpo superior	2-4+ kg
	Hemicuerpo inferior	4-7+ kg

*El especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico tiene que determinar cuál de esas dos categorías subjetivas se aplica a un atleta concreto.

**Estos incrementos de la carga son apropiados para programas de entrenamiento en que aproximadamente se emplean tres series de 5 a 10 repeticiones. Repárese en que las repeticiones asignadas por serie se mantienen constantes mientras que se incrementan las cargas.

Aplicación de las pautas sobre cargas y repeticiones en el entrenamiento

(Remitimos al recuadro del pie de la página 441 para la descripción de los atletas)

Caso A Jugadora de baloncesto universitario Pretemporada	Caso B Liniero de fútbol americano profesional Fuera de temporada	Caso C Corredor de *cross* de instituto Plena temporada
OBJETIVO PRIMARIO DEL ENTRENAMIENTO CON RESISTENCIA EN LA PRETEMPORADA Fuerza/potencia	**OBJETIVO PRIMARIO DEL ENTRENAMIENTO CON RESISTENCIA FUERA DE TEMPORADA** Hipertrofia	**OBJETIVO PRIMARIO DEL ENTRENAMIENTO CON RESISTENCIA FUERA DE TEMPORADA** Tolerancia muscular
PRUEBAS Y ASIGNACIÓN DE CARGAS Y REPETICIONES **Influencia de las metas**		**PRUEBAS Y ASIGNACIÓN**

del entrenamiento *Ejercicios de potencia:* 75-85% de 1RM; 3-5 repeticiones[a] *Otros ejercicios troncales:* >85% de 1RM; <6 repeticiones *Ejercicios auxiliares:* Limitados a cargas que no superen 8RM	**PRUEBAS Y ASIGNACIÓN DE CARGAS Y REPETICIONES** **Influencia de las metas del entrenamiento** 67-85% de 1RM; 6-12 repeticiones	**DE CARGAS Y REPETICIONES** **Influencia de las metas del entrenamiento** <67% de 1RM; >12 repeticiones
Número de repeticiones asignadas *Ejercicios de potencia:* 5 *Ejercicios troncales:* 6 *Ejercicios auxiliares:* 10	**Número de repeticiones asignadas** *Ejercicios troncales:* 10 *Ejercicios auxiliares:* 10	**Número de repeticiones asignadas** *Ejercicios troncales:* 12 *Ejercicios auxiliares:* 15
étodos para la prueba *Prueba de 3RM para los ejercicios de potencia*[b] Cargada colgante Empuje sobre la cabeza *Prueba de 1RM para otros ejercicios troncales*[c] Sentadilla frontal *Press* de banca inclinado *Prueba de 10 RM para ejercicios auxiliares*[d] Remo sentado Flexiones alternas con mancuernas Tríceps en máquina	**Métodos para la prueba** *Prueba de 1RM para los ejercicios troncales* Peso muerto Sentadilla trasnuca[i] *Press* de banca[i] *Press* de hombros[i] *Prueba de 10 RM para ejercicios auxiliares*[i] Subida de escalones Sóleo en sedestación Remo inclinado Elevaciones de hombros	**Métodos para la prueba** *Prueba de 12RM para los ejercicios troncales*[k] Tijeras *Press* de pecho en máquina vertical *Prueba de 15RM para ejercicios auxiliares*[k] Remo con mancuerna a una mano Elevaciones laterales de brazos
Resultados de las pruebas 3RM cargada colgante (53 kg) *1RM estimada*[e] (56 kg) 3 RM empuje sobre la cabeza (50 kg) *1RM estimada*[e] (54 kg) 1RM sentadilla frontal (84 kg) 1RM *press* de banca inclinado (45 kg) 10RM remo sentado (41 kg) 10RM flexiones alternas	**Resultados de las pruebas** 1RM peso muerto (295 kg) 1RM sentadilla trasnuca (307 kg) 1RM *press* de banca (193 kg) 1RM *press* de hombros 116 kg) 10RM subida de escalones (93 kg) 10RM sóleo en sedestación (70 kg) 10RM remo inclinado (98 kg) 10RM elevación de hombros (184 kg)	**Resultados de las pruebas** 12RM tijeras (20 kg) 12RM *press* de pecho en máquina vertical (32 kg) 15RM remo con mancuerna a una mano (11 kg) 15RM elevaciones de brazos laterales (5 kg)

con mancuernas (9 kg) 10RM tríceps en máquina (18 kg)		
Cargas del entrenamiento *Para ejercicios de potencia:* • Se asigna el 75% de 1RM estimada: Cargada colgante (43 kg) Empuje sobre la cabeza (41 kg) (Todas las cargas se redondean al kilogramo más próximo) *Para otros ejercicios troncales:* • Se asigna el 85% de 1RM determinada en la prueba: Sentadilla frontal (70 kg) *Press* de banca inclinado (39 kg) *Para ejercicios auxiliares:* • Se asignan cargas iguales a las cargas de la prueba de 10RM	**Cargas del entrenamiento** *Para ejercicios troncales:* • Se asigna el 75% de 1RM determinada en la prueba: Peso muerto (223 kg) Sentadilla frontal (230 kg) *Press* de banca (145 kg) *Press* de hombros (86 kg) (Todas las cargas se redondean al kilogramo más próximo) *Para ejercicios auxiliares:* • Se asignan cargas iguales a las cargas de la prueba de 10RM • Iguales a las cargas usadas en la postemporada Flexiones de piernas (86 kg) Flexiones de bíceps con haltera (52 kg) Extensión de tríceps en decúbito (57 kg)	**Cargas del entrenamiento** *Para todos los ejercicios:* • Iguales a las cargas de la prueba de 12RM (o 15RM) • Iguales a las cargas usadas en la pretemporada Flexiones de piernas (30 kg) Flexión dorsal del pie (9 kg) Extensión de espalda en máquina (23 kg)
Régimen de carga semanal (ejercicios troncales/de potencia)[f] *Lunes (día «de carga pesada»)* • Se asignan las cargas completas asignadas (calculadas en «Cargas de entrenamiento») *Miércoles (día «de carga ligera»)* • Se asigna solo el 80% de las cargas del día «de carga pesada» del lunes[g] *Viernes (día «de carga media»)* • Se asigna solo el 90% de las cargas del día		

«de carga pesada» del lunes[h]		
COMENTARIOS [a]La asignación de cargas y repeticiones para los ejercicios de potencia se basa en el baloncesto, un deporte de múltiples esfuerzos, y no siempre son acordes con la relación entre el porcentaje de 1RM y el número de repeticiones. [b]Para someter a prueba la potencia, se emplea un protocolo de múltiples RM (3RM). A partir del resultado, se calcula 1RM y se asignan cargas calculando un porcentaje de 1RM estimada. [c]La atleta practicó estos ejercicios fuera de temporada, aunque, para aumentar la precisión de las asignaciones de cargas para la pretemporada, se someterá a prueba para determinar la RM actual. [d]Aunque algunos de estos ejercicios fueron parte del programa fuera de temporada, todos requieren una prueba de múltiples RM, porque las repeticiones asignadas en la pretemporada para estos ejercicios es 10, en vez de los 12 de la temporada previa. [e]Se determina 1RM usando la tabla 17.8. [f]Las cargas para los ejercicios auxiliares se mantienen constantes durante la semana; solo	**COMENTARIOS** El atleta realizó estos ejercicios en la postemporada, aunque para aumentar la precisión de las asignaciones de cargas para el penodo fuera de temporada se someterá a prueba para determinar 1RM actual. [j]Los ejercicios aquí mostrados se seleccionaron como ejercicios nuevos para el programa fuera de temporada y, por tanto, requieren la prueba de 10RM. Los otros ejercicios auxiliares se practicaron durante la postemporada y no requieren pruebas porque la asignación de cargas y repeticiones será idéntica.	**COMENTARIOS** [k]Los ejercicios aquí mostrados se seleccionaron como ejercicios nuevos para el programa de temporada y, por tanto, requieren la prueba de 12 o 15RM. Los otros ejercicios auxiliares se tomaron de la pretemporada y no requieren pruebas porque la asignación de cargas y repeticiones será idéntica.

cambian las cargas para los ejercicios de potencia y otros ejercicios troncales. [g]Se calcula el 80% de las cargas levantadas en la sesión de entrenamiento del lunes y se practica el mismo numero de repeticiones asignadas. Aunque la atleta sea capaz, no hará más repeticiones que las asignadas (potencia, 5; otros ejercicios troncales, 6). [h]Se calcula el 90% de las cargas levantadas en la sesión de entrenamiento del lunes y se practica el mismo número de repeticiones asignadas. Aunque el atleta sea capaz, no hará más repeticiones que las asignadas (potencia, 5; otros ejercicios troncales, 6).		

Paso 6: Volumen

Por **volumen** se entiende la cantidad total de peso levantado en una sesión de entrenamiento (20, 58, 69), y por **serie,** un conjunto de repeticiones practicadas de forma secuencial antes de que el atleta pare para descansar (20). Repetición-volumen es el número total de repeticiones practicadas durante una sesión de ejercicio (4, 20, 75, 86), y volumen-carga es el número total de series multiplicado por el número de repeticiones por serie, y luego multiplicado por el peso levantado por repetición. Por ejemplo, el volumen-carga para dos series de 10 repeticiones con 23 kg se expresaría como 2 × 10 × 23 kg, o 454 kg. (Si se practican series diferentes con distintas cantidades de peso, se calculan los volúmenes por serie y luego se suman para obtener el volumen total de la sesión de entrenamiento).

En el ejemplo anterior (un volumen-carga de 454 kg), multiplicar cada repetición por el factor adicional del desplazamiento vertical del peso durante

esa repetición nos da el trabajo concéntrico realizado. El factor de desplazamiento es relativamente constante para un atleta dado, por lo que no se usa, aunque el volumen-carga resultante siga siendo directamente proporcional al trabajo concéntrico. Como se dijo previamente, el volumen-carga dividido por la repeticiónvolumen da la media del peso levantado por repetición, lo cual guarda relación con la intensidad o calidad del trabajo. En el ejercicio de carrera, la medida habitual del volumen es la distancia. Si se conoce o mide el valor de la intensidad (como el ritmo en carrera, que guarda relación con el porcentaje del $\dot{V}O_2$ máx), es posible calcular el coste total de energía metabólica (que es proporcional al trabajo mecánico realizado). Este valor es comparable al volumen-carga en el ejercicio resistido. Los mismos conceptos son aplicables al número de contactos del pie o la mano (volumen) en el ejercicio pliométrico, el número de impulsiones (volumen) en natación o remo, o el número de lanzamientos o saltos (volumen) en varias actividades deportivas.

Series múltiples frente a series únicas

Algunos han defendido que una serie de 8 a 12 repeticiones (después del calentamiento) hasta el fallo muscular (fatiga voluntaria) es suficiente para potenciar mejoras de la fuerza y la hipertrofia musculares. Además, otros han documentado incrementos en la fuerza máxima después de la práctica de solo una serie por ejercicio y por sesión (24, 52, 53).

El entrenamiento con una sola serie tal vez sea apropiado para personas no entrenadas (20) o durante los primeros meses de entrenamiento (24), aunque muchos estudios refieren que se necesitan mayores volúmenes para obtener nuevas mejoras de la fuerza, sobre todo en el caso de atletas entrenados de nivel intermedio y avanzado (44, 64, 89, 99). Además, el sistema musculoesquelético terminará adaptándose al estímulo de una serie hasta el fallo y exigirá el estímulo añadido de múltiples series para seguir mejorando la fuerza (20). Por lo demás, la práctica de tres series de 10 repeticiones *sin llegar al fallo* consigue una mayor mejora de la fuerza que una serie hasta el fallo de 8 a 12 repeticiones (46, 48), aunque el mayor volumen de entrenamiento con el uso de tres series sea un factor concomitante (4, 20, 86). Por tanto, un atleta que practica múltiples series desde el inicio de su programa de entrenamiento aumentará su fuerza muscular más rápido que con una sola serie por entrenamiento (48, 63). El especialista de la fuerza y el

acondicionamiento físico no puede esperar que un atleta complete con éxito múltiples series con cargas completas para la RM en una programación de repeticiones fijas en cada ejercicio y en cada sesión de entrenamiento. El cansancio afectará al número de repeticiones que se puedan ejecutar en las series posteriores.

Estado de entrenamiento

El estado de entrenamiento de los atletas influye en el volumen que podrán tolerar sin peligro. Lo apropiado es que un atleta complete solo una o dos series como principiante y vaya añadiendo series a medida que esté mejor entrenado. A medida que se adapta a un programa bien diseñado y coherente, se añadirán gradualmente más series según las pautas asociadas con el objetivo del entrenamiento.

Objetivo primario del entrenamiento con resistencia

El volumen de entrenamiento se basa directamente en el objetivo del entrenamiento con resistencia del atleta. La tabla 17.11 ofrece un resumen de las pautas para el número de series y repeticiones habitualmente asociadas con los programas de entrenamiento de la fuerza, la potencia, la hipertrofia y la tolerancia muscular.

Fuerza y potencia

En varios estudios clásicos, DeLorme (14) y DeLorme y Watkins (15) recomendaban series de 10 repeticiones como ideales para aumentar la fuerza muscular, si bien el régimen se desarrolló originalmente para la rehabilitación de lesiones. Tiempo después, Berger (6, 7) determinó que tres series de seis repeticiones conseguían mejoras máximas de la fuerza, al menos en los ejercicios de *press* de banca y sentadilla trasnuca. Aunque el estudio de Berger pareció ser concluyente, sus siguientes estudios (5) no mostraron ninguna diferencia significativa entre seis series de una carga de 2RM, tres series de una carga de 6RM y tres series de una carga de 10RM, a pesar de las diferencias en el volumen. Desde entonces, muchos otros estudios tampoco han sido capaces de proponer un programa exacto de series y repeticiones para conseguir incrementos máximos de la fuerza (17, 24, 25, 70, 80, 85). Un importante calificador sobre estos informes poco

concluyentes es que la mayoría de los sujetos implicados estaban relativamente desentrenados, lo cual implica que casi *cualquier* tipo de programa obtendrá mejoras en la fuerza de estos voluntarios.

TABLA 17.11 Asignación del volumen basada en el objetivo del entrenamiento

Objetivo del entrenamiento	Repeticiones asignadas	Series*
Fuerza	<6	2-6
Potencia:**		
Modalidad de un solo esfuerzo	1-2	3-5
Modalidad de múltiples esfuerzos	3-5	3-5
Hipertrofia	6-12	3-6
Tolerancia muscular	≥12	2-3

*Estas asignaciones no incluyen las series de calentamiento y se suelen aplicar solo a los ejercicios troncales (2, 45).

**Basada en movimientos derivados de la halterofilia (cargada, arrancada, etc.). Las asignaciones de cargas y repeticiones para la potencia en esta tabla no siempre son acordes con la relación entre el porcentaje de 1RM y el número de repeticiones. En movimientos no explosivos, en las cargas que equivalen en torno al 80% de 1RM se aplica un margen de dos a cinco repeticiones. Para una explicación más extensa, remitimos a la exposición sobre la asignación de porcentajes de 1RM para el entrenamiento de la potencia.

Fuente: Datos de las referencias bibliográficas 20, 32, 86, 91 y 92.

Cuando se entrena la fuerza de un atleta, la asignación del volumen empieza por un examen del número óptimo de repeticiones para obtener las máximas mejoras de la fuerza. Como se expuso con anterioridad (y como se muestra en la figura 17.3 y en la tabla 17.9), parece ser que lo más adecuado son series de seis o menos repeticiones (con la carga correspondiente de RM) para los ejercicios troncales (20, 32, 33, 45, 86, 87, 91, 92). Revisiones generales de la literatura a cargo de Fleck y Kraemer (20) y de Tan (90) llegaron a la conclusión de que un límite de dos a cinco series o de tres a seis series (respectivamente) favorecía los máximos incrementos de la fuerza. Las pautas de series específicas basadas en el tipo de ejercicio sugieren que para los ejercicios auxiliares tal vez lo apropiado o necesario sea de una a tres series (2, 45).

Aplicación de las pautas al volumen

(Remitimos al recuadro del pie de la página 441 para la descripción de los atletas)

Caso A Jugadora de baloncesto universitario Pretemporada	Caso B Liniero de fútbol americano profesional Fuera de temporada	Caso C Corredor de *cross* de instituto Plena temporada
Ejercicios de potencia 4 series de 4 repeticiones Otros ejercicios 3 series de troncales 6 repeticiones Ejercicios auxiliares 2 series de 10 repeticiones (El número de series no incluye el calentamiento)	Ejercicios troncales 4 series de 10 repeticiones Ejercicios auxiliares 3 series de 10 repeticiones (El número de series no incluye el calentamiento)	Ejercicios troncales 3 series de 12 repeticiones Ejercicios auxiliares 2 series de 15 repeticiones (El número de series no incluye el calentamiento)
LUNES, MIÉRCOLES Y VIERNES Cargada colgante 4 × 5[a] Empuje sobre la cabeza 4 × 5 Sentadilla frontal 3 × 6 *Press* de banca inclinado 3 × 6 Remo sentado 2 × 10 Flexiones alternas con mancuernas 2 × 10 Tríceps en máquina 2 × 10 Abdominales cortos 3 × 20	**HEMICUERPO INFERIOR (LUNES Y JUEVES)** Peso muerto 4 × 10 Sentadilla trasnuca 4 × 10 Subida de escalones 3 × 10 Flexiones de piernas 3 × 10 Sóleo en sedestación 3 × 10 **HEMICUERPO SUPERIOR (MARTES Y VIERNES)** *Press* de banca 4 × 10 Remo inclinado 3 × 10 *Press* de hombros 4 × 10 Flexiones de bíceps con haltera 3 × 10 Elevaciones de hombros 3 × 10 Extensiones de tríceps en decúbito 3 × 10 Abdominales cortos 3 × 20	**MIÉRCOLES Y SÁBADO** Tijeras 3 × 12 *Press* de hombros en máquina vertical 3 × 12 Flexiones de piernas 2 × 15 Remo con mancuerna a una mano 2 × 15 Flexión dorsal del pie 2 × 15 Extensión de espalda en máquina 2 × 15 Abdominales cortos 3 × 20 Se completa una serie de cada ejercicio y se repite[b]
COMENTARIOS [a]Representada como series × repeticiones aquí y en los casos B y C.		**COMENTARIOS** [b]De los ocho ejercicios se practica una serie cada vez, una inmediatamente tras la otra (es decir, en «circuito»). Una vez que se completan dos series (circuitos), el atleta procede con las series finales de tijeras, *press* de hombros en máquina vertical y abdominales cortos, en ese orden.

Las asignaciones de volumen para el entrenamiento de potencia suelen ser menores que las del entrenamiento de la fuerza con el fin de potenciar al máximo la calidad del ejercicio. Esta reducción del volumen es producto de que las repeticiones asignadas son menos en número y de que las cargas son más ligeras (figura 17.3 y tabla 17.9), en vez del número de series recomendadas (11, 12, 45, 57, 61, 68). La pauta habitual son de tres a cinco series (tras el calentamiento) para los ejercicios de potencia integrados en el programa de un atleta entrenado (33, 86, 87).

Hipertrofia

Se suele aceptar que los volúmenes de entrenamiento más altos se asocian con incrementos del tamaño muscular (31, 63). Esto es resultado tanto de un número moderado como alto de repeticiones por serie (6 a 12; véanse la figura 17.3 y la tabla 17.9) y las habitualmente recomendadas tres a seis series por ejercicio (20, 32, 33, 71, 91). Además, aunque los estudios de investigación suelan centrarse en solo uno o dos ejercicios (en total o por grupo muscular), las observaciones empíricas y las entrevistas a halterófilos de elite, así como las pautas de prescripción más exhaustivas (20, 45), sugieren que la práctica de tres o más ejercicios por grupo muscular es la estrategia más eficaz para aumentar el tamaño de los músculos (32). El efecto sobre el volumen de entrenamiento de estas asignaciones puede resultar bastante sustancial.

Tolerancia muscular

Los programas de entrenamiento con resistencia que hacen hincapié en la tolerancia muscular implican la práctica de muchas repeticiones —12 o más — por serie (20, 45, 87, 91, 92). A pesar de esta asignación relativamente elevada de repeticiones, el volumen-carga global no está necesariamente inflado, dado que las cargas levantadas son más ligeras y se practican menos series, por lo general dos o tres por ejercicio (45).

Paso 7: Períodos de descanso

El tiempo dedicado a la recuperación entre series y ejercicios se denomina **período de descanso** o **descanso interseries**. La duración de este período de descanso entre series y ejercicios depende en gran medida del objetivo del entrenamiento, de la carga relativa levantada y del estado de entrenamiento del atleta (si el atleta no está en una buena condición física, los períodos de descanso tienen que ser inicialmente más largos que los habitualmente asignados).

La cantidad de descanso entre series depende estrechamente de la carga; cuanto más pesadas sean las cargas levantadas, más largos serán los períodos de descanso que necesita el atleta entre series para completar con éxito y sin peligro las siguientes series prescritas. Por ejemplo, el entrenamiento de la fuerza muscular con cargas de 4RM requiere períodos de descanso significativamente más largos entre series que el entrenamiento de la tolerancia muscular en que se levantan cargas más ligeras de 15RM (20, 74,

86). A pesar de la relación entre las metas del entrenamiento y la duración de los períodos de reposo (p. ej., largos períodos de descanso para programas de entrenamiento de la fuerza muscular), no a todos los ejercicios de un programa de entrenamiento con resistencia se les debe asignar los mismos períodos de descanso. Es importante que el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico asigne los períodos de descanso basándose en la carga relativa levantada y en la masa muscular implicada en cada ejercicio. Un ejemplo de esta especificidad es el caso de un ejercicio auxiliar que forma parte del programa de entrenamiento de la fuerza muscular. Aunque un ejercicio troncal como el *press* de banca implique una carga de 4RM y un período de descanso de 4 minutos, un ejercicio auxiliar como las elevaciones laterales de brazos tal vez se practique con una carga de 12RM y, por tanto, solo requiera un período de descanso de 1 minuto (aunque los períodos de descanso de 1 minuto se suelan aplicar al programa de entrenamiento de hipertrofia). La duración recomendada de los períodos de descanso para los programas de fuerza, potencia, hipertrofia y tolerancia muscular se muestran en la tabla 17.12.

Fuerza y potencia

El entrenamiento mejora la capacidad del atleta para ejercitarse con menos descansos (20, 86), aunque los atletas que intentan completar repeticiones máximas o casi máximas con una carga pesada suelen necesitar períodos de descanso largos, sobre todo para el hemicuerpo inferior o para ejercicios estructurales ejecutados con todo el cuerpo (95). Por ejemplo, Robinson y colaboradores (77) observaron que, en el ejercicio de sentadilla trasnuca, 3 minutos de descanso entre series obtenían mayores mejoras de la fuerza que un período de descanso de 30 segundos. Las pautas habituales para la duración de los períodos de descanso son al menos 2 minutos (45, 82, 93) o un límite de 2 a 5 minutos (47, 50) o de 3 a 5 minutos (20, 86, 96). Parece ser que estos intervalos de recuperación se aplican tanto a programas de entrenamiento con resistencia diseñados para mejorar la fuerza máxima como a los que se centran en la potencia muscular (45).

TABLA 17.12 Asignación de la duración de los períodos de descanso basada en el objetivo del entrenamiento

Objetivo del entrenamiento	Duración del período de descanso
Fuerza	2-5 minutos

Potencia: Modalidad de un solo esfuerzo Modalidad de múltiples esfuerzos	2-5 min
Hipertrofia	30 segundos a 1,5 minutos
Tolerancia muscular	≤30 segundos

*Como hay ocasiones en que el porcentaje prescrito de 1RM para los ejercicios auxiliares se sitúa fuera de los límites asociados con el objetivo del entrenamiento (p. ej., se recomiendan cargas de ≥8RM para los ejercicios auxiliares que forman parte de un programa de entrenamiento de la fuerza muscular [2]), el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe examinar las cargas empleadas en cada ejercicio cuando asigne períodos de descanso en vez de aplicar las pautas generales para un objetivo del entrenamiento.

Fuente: Datos de las referencias bibliográficas 20, 47, 50, 86 y 96.

Aplicación de las pautas sobre los períodos de descanso

(Remitimos al recuadro del pie de la página 441 para la descripción de los atletas)

Caso A Jugadora de baloncesto universitario Pretemporada	Caso B Liniero de fútbol americano profesional Fuera de temporada	Caso C Corredor de *cross* de instituto Plena temporada
Ejercicios de potencia y troncales 3 minutos Ejercicios auxiliares 60 segundos a 1,5 minutos	Ejercicios troncales 1,5 minutos Ejercicios auxiliares 60 segundos	Ejercicios troncales 30 segundos[e] Ejercicios auxiliares 20 segundos[e]
LUNES, MIÉRCOLES Y VIERNES Cargada colgante 3 min Empuje sobre la cabeza 3 min Sentadilla frontal 3 min *Press* de banca inclinado 3 min Remo sentado 1,5 min[a] Flexiones alternas con mancuernas 60 seg[a] Tríceps en máquina 60 seg[a] Abdominales cortos 20 seg[b]	**HEMICUERPO INFERIOR (LUNES Y JUEVES)** Peso muerto 1,5 min Sentadilla trasnuca 1,5 min Subida de escalones 1,5 min[c] Flexiones de piernas 60 seg Sóleo en sedestación 60 seg **HEMICUERPO SUPERIOR (MARTES Y VIERNES)** *Press* de banca 1,5 min Remo inclinado 60 seg *Press* de hombros 1,5 min Flexiones de bíceps con haltera 60 seg Elevaciones de hombros 60 seg Extensiones de tríceps en decúbito 60 seg Abdominales cortos 20 seg[d]	**MIÉRCOLES Y SÁBADO** Tijeras 30 seg *Press* de hombros en máquina vertical 30 seg Flexiones de piernas 30 seg Remo con mancuerna a una mano 20 seg Flexión dorsal del pie 20 seg Elevaciones laterales de brazos 20 seg Extensión de espalda en máquina 20 seg Abdominales cortos 20 seg Se completa una serie de cada ejercicio y se repite[f]
COMENTARIOS [a]A pesar de seguir un programa de entrenamiento de la fuerza muscular, la atleta practica series de 10 repeticiones en este ejercicio, un volumen asignado al entrenamiento de hipertrofia. Por tanto, la duración del período de descanso debería ser de 30 segundos a 1,5 minutos. El período de descanso para los ejercicios monoarticulares es ligeramente más corto porque hay menos músculos implicados. [b]De nuevo, aunque esta atleta entrena la fuerza muscular, está practicando series de 20 repeticiones en este ejercicio, un volumen asignado a la tolerancia muscular. Por tanto, la duración del período de descanso debería ser ≤30 segundos.	**COMENTARIOS** [c]Este ejercicio se clasifica como un ejercicio auxiliar y, como los otros, se le podría asignar un período de descanso de 60 segundos; sin embargo, la subida de escalones es un ejercicio unilateral que requiere más tiempo para completarse cada serie. Por ello se asigna un período de descanso más largo. [d]Aunque este atleta entrena para la hipertrofia, está practicando series de 20 repeticiones en este ejercicio, un volumen asignado a la tolerancia muscular. Por tanto, la duración del período de descanso debería ser ≤30 segundos.	**COMENTARIOS** [e]Ambos períodos de descanso asignados siguen las pautas del entrenamiento de la tolerancia muscular. Debido al mayor número de repeticiones asignadas y a las cargas más ligeras para los ejercicios auxiliares, la duración del período de descanso se acortó ligeramente. [f]De los ocho ejercicios se practica una serie cada vez, una inmediatamente tras la otra (es decir, en «circuito»). Una vez completadas dos series (circuitos), el atleta practica, en este orden, las series finales de las tijeras, el *press* de pecho en máquina vertical y los abdominales cortos.

Hipertrofia

Los atletas que están interesados en aumentar el tamaño de sus músculos suelen usar un período de descanso entre series de duración corta a moderada (20, 45, 74, 86). Algunas revisiones de los programas de entrenamiento de hipertrofia respaldan un período de descanso limitado porque recomiendan

que el atleta comience la serie siguiente antes de recuperarse por completo (32, 91). A pesar de esto, la elevada exigencia metabólica de los ejercicios en que intervienen los grupos de grandes músculos merece tenerla en consideración (es decir, tiempo extra de recuperación) cuando se asignen los períodos de descanso (86). Estrategias habituales para la duración de los períodos de descanso son menos de 1,5 minutos (45) o un margen de 30 segundos a 1 minuto (47, 50, 92) o de 30 segundos a 1,5 minutos (32, 91).

Tolerancia muscular

Los programas de entrenamiento de la resistencia o tolerancia muscular cuentan con períodos de descanso muy cortos, a menudo de menos de 30 segundos. Esta restricción del tiempo de recuperación es a propósito; solo se permite una mínima cantidad de reposo cuando se levantan cargas ligeras y hay muchas repeticiones. Este tipo de programa está pensado para cumplir la pauta del principio de la especificidad para la tolerancia muscular (2). Los períodos cortos de descanso son característicos de los programas de entrenamiento en circuito (23, 29), donde es habitual alternar ejercicios y limitar la duración de los períodos de descanso a 30 segundos o menos (76, 78, 79).

Aplicación de todas las variables al diseño de programas (pasos 1-7)

(Remitimos al recuadro del pie de la página 441 para la descripción de los atletas)

Caso A Jugadora de baloncesto universitario Pretemporada		Caso B Liniero de fútbol americano profesional Fuera de temporada		Caso C Corredor de *cross* de instituto Plena temporada	
LUNES DÍA «PESADO»		**HEMICUERPO INFERIOR LUNES Y JUEVES[g]**		**MIÉRCOLES Y SÁBADO**	
Cargada colgante[a]	4 × 5 @ 43 kg	Peso muerto[b]	4 × 10 @ 223 kg	Tijeras[e]	3 × 12 @ 20 kg
Empuje sobre la cabeza[a]	4 × 5 @ 41 kg	Sentadilla trasnuca[b]	4 × 10 @ 230 kg	*Press* de hombros en máquina vertical[g]	3 × 12 @ 32 kg
Sentadilla frontal[a]	3 × 6 @ 70 kg	Subida de escalones[b]	3 × 10 @ 93 kg	Flexiones de piernas[c]	2 × 15 @ 30 kg
Press de banca inclinado[a]	3 × 6 @ 39 kg	Flexiones de piernas[d]	3 × 10 @ 86 kg	Remo con mancuerna a una mano[c]	2 × 15 @ 11 kg
Remo sentado[b]	2 × 10 @ 41 kg	Sóleo en sedestación[d]	3 × 10 @ 70 kg	Flexión dorsal del pie[c]	2 × 15 @ 9 kg
Flexiones alternas con mancuernas[d]	2 × 10 @ 9 kg			Elevaciones laterales de brazos[c]	2 x 15 @ 5 kg
Tríceps en máquina[d]	2 × 10 @ 18 kg	**HEMICUERPO SUPERIOR MARTES Y VIERNES[g]**		Extensión de espalda en máquina[c]	2 × 15 @ 23 kg
Abdominales cortos[c]	3 × 20	*Press* de banca[b]	4 × 10 @ 145 kg	Abdominales cortos[c]	3 × 20
MIÉRCOLES DÍA «LIGERO»		Remo inclinado[d]	3 × 10 @ 98 kg	Se completa una serie de cada ejercicio y se repite[f]	
80% de la carga del lunes en los ejercicios de potencia/troncales		*Press* de hombros[b]	4 × 10 @ 86 kg		
Cargada colgante[a]	4 × 5 @ 34 kg	Flexiones de bíceps con haltera[d]	3 × 10 @ 52 kg		
Empuje sobre la cabeza[a]	4 × 5 @ 32 kg	Elevaciones de hombros[d]	3 × 10 @ 184 kg		
Sentadilla frontal[a]	3 × 6 @ 57 kg	Extensiones de tríceps en decúbito[d]	3 × 10 @ 57 kg		
Press de banca inclinado[a]	3 × 6 @ 32 kg	Abdominales cortos[c]	3 × 20		
Remo sentado	2 × 10 @ 41 kg				
Flexiones alternas con mancuernas[d]	2 × 10 @ 9 kg				
Tríceps en máquina[d]	2 × 10 @ 18 kg				
Abdominales cortos[c]	3 × 20				

Caso A Jugadora de baloncesto universitario Pretemporada	Caso B Liniero de fútbol americano profesional Fuera de temporada	Caso C Corredor de *cross* de instituto Plena temporada
VIERNES (DÍA «MEDIO») *90% de la carga del lunes en los ejercicios de potencia/troncales* Cargada colgante[a] 4 × 5 @ 39 kg Empuje sobre la cabeza[a] 4 × 5 @ 36 kg Sentadilla frontal[a] 3 × 6 @ 64 kg *Press* de banca inclinado[a] 3 × 6 @ 34 kg Remo sentado[b] 2 × 10 @ 41 kg Flexiones alternas con mancuernas[d] 2 × 10 @ 9 kg Tríceps en máquina[d] 2 × 10 @ 18 kg Abdominales cortos 3 × 2		
COMENTARIOS Duración de los períodos de descanso: [a]3 minutos [b]1,5 minutos [c]20 segundos [d]60segundos [e]30 segundos [f]De los ocho ejercicios se practica una serie cada vez, una inmediatamente tras otra (es decir, en «circuito»). Una vez completadas dos series (circuitos), el atleta practica, en este orden, las series finales de las tijeras, el *press* de pecho en máquina vertical y los abdominales cortos. [g]Se reducen las cargas del jueves y el viernes un 5% y un 10%.		

Conclusión

Los programas bien diseñados se basan en la aplicación de unos principios seguros durante todos los pasos de un proceso llamado *diseño del programa*. El proceso comienza con un análisis de las necesidades para determinar las exigencias específicas del deporte y del estado de entrenamiento del atleta. Una vez sabido esto, se seleccionan ejercicios apropiados y se establece la frecuencia del entrenamiento. A continuación se determina el orden de los ejercicios en la sesión, y por último, se efectúa la asignación de cargas y la elección del volumen de entrenamiento basadas en los resultados que se espera obtener del entrenamiento. Decidir sobre la duración de los períodos de descanso es el último paso para concluir el diseño de un programa de

entrenamiento con resistencia y específico de un deporte. En el cuadro anterior se expone una visión compuesta que incluye todas las variables para el diseño de programas (pasos 1 a 7) para los tres casos abordados.

TÉRMINOS CLAVE

1 repetición máxima (1RM)
AEEI (adaptación específica a las exigencias impuestas)
agonista
análisis
- de las lesiones
- de las necesidades
- del movimiento

antagonista
carga
descanso interseries
diseño de programas
ejercicio
- auxiliar
- de potencia
- de recuperación
- estructural
- monoarticular
- poliarticular
- troncal

entrenamiento en circuito
equilibrio muscular
especificidad
estado de entrenamiento
experiencia
- previa con el entrenamiento
- técnica con el ejercicio

historia del ejercicio
intensidad
orden de los ejercicios
perfil
prácticas partidas

progresión
regla de 2 por 2
repetición
  máxima (RM)
  asignada
repetición-volumen
selección de los ejercicios
serie compuesta
superserie
trabajo mecánico
volumen
volumen-carga

PREGUNTAS DE REPASO

(respuestas en la página 657)

1. El entrenador de baloncesto afirma que su pívot necesita saltar más alto. Además de empezar un programa pliométrico, ¿cuál de los siguientes ejercicios de entrenamiento con resistencia son los MÁS específicos para este objetivo?
   I. Cargada de potencia.
   II. Flexiones de piernas.
   III. Sentadilla frontal.
   IV. Sóleo en sedestación.
   a. Solo I y III.
   b. Solo II y IV.
   c. Solo I, II y III.
   d. Solo II, III y IV.

2. El equipo de fútbol está en la transición del entrenamiento fuera de temporada al de pretemporada. ¿Cómo se debería alterar la frecuencia del entrenamiento con resistencia del equipo?
   a. Incrementar la frecuencia para mejorar la tolerancia muscular.
   b. No cambiar la frecuencia y añadir ejercicios pliométricos.
   c. Reducir la frecuencia para permitir un aumento de la práctica del deporte.
   d. Diseñar unas prácticas partidas con tres días en activo y tres días de

descanso.

3. Un liniero del fútbol americano tiene problemas para actuar de liniero defensivo y cree que ha perdido su explosividad. ¿Cuál de los siguientes es el MEJOR orden de los ejercicios para ayudar a este atleta a mejorar su rendimiento?
   a. Sentadillas trasnuca, prensa oblicua, flexiones de piernas (rodillas), cargada de potencia.
   b. Cargada de potencia, sentadilla trasnuca, prensa oblicua, flexiones de piernas (rodillas).
   c. Flexiones de piernas (rodillas), sentadillas trasnuca, cargada de potencia, prensa oblicua.
   d. Prensa oblicua, cargada de potencia, flexiones de piernas (rodillas), sentadillas trasnuca.

4. ¿Cuál de los siguientes volúmenes tiene el potencial de aumentar MÁS la fuerza muscular?
   a. 5 series de 5 repeticiones.
   b. 1 serie de 5 repeticiones.
   c. 5 series de 15 repeticiones.
   d. 1 serie de 15 repeticiones.

5. Una triatleta femenina necesita mejorar la tolerancia muscular de su hemicuerpo superior. Usando 3 series de 15 repeticiones por ejercicio, ¿cuál de las duraciones siguientes para el período de descanso potenciará al MÁXIMO su objetivo?
   a. 3 minutos.
   b. 1,5 minutos.
   c. 45 segundos.
   d. 30 segundos.

CAPÍTULO 18

Diseño de programas y técnica para el entrenamiento pliométrico

David H. Potach y Donald A. Chu

A la conclusión del capítulo, el lector:

- Explicará la fisiología de los ejercicios pliométricos.
- Identificará las fases del ciclo de estiramiento-acortamiento.
- Identificará los componentes de un programa de entrenamiento pliométrico.
- Diseñará un programa de entrenamiento pliométrico seguro y eficaz.
- Recomendará el equipamiento correcto que hay que usar durante los ejercicios pliométricos.
- Enseñará la correcta ejecución de los ejercicios pliométricos de los hemicuerpos inferior y superior.

El concepto *ejercicio pliométrico* hace referencia a aquellas actividades que permiten a un músculo alcanzar su fuerza máxima en el menor tiempo posible. El término *pliométrico* es una combinación de dos étimos griegos que literalmente significan «aumento de la longitud» (*plio* = más; *metrico* = medida) (56). Desde un punto de vista práctico, la definición de ejercicio pliométrico es un movimiento potente y rápido por medio de un preestiramiento o contramovimiento, en que interviene el ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA) (53). El propósito del ejercicio pliométrico es aumentar la potencia de los movimientos posteriores mediante el uso tanto de los componentes elásticos naturales del músculo y el tendón como del reflejo de estiramiento. Para aplicar eficazmente la pliometría como parte de un programa de entrenamiento, es importante entender: (*1*) la mecánica y fisiología del ejercicio pliométrico; (*2*) los principios del diseño de programas

de entrenamiento pliométrico, y (*3*) los métodos para practicar con seguridad y eficacia ejercicios pliométricos específicos.

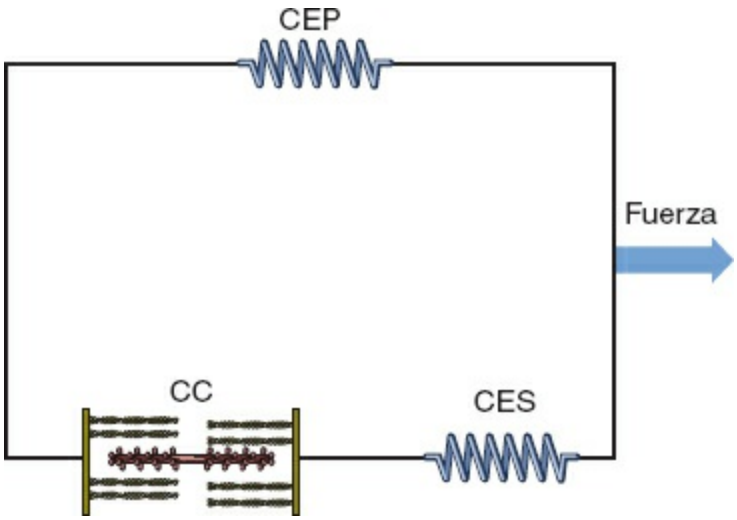


FIGURA 18.1 Modelo mecánico de la función del músculo esquelético. El componente elástico en serie (CES), cuando se estira, almacena energía elástica que aumenta la fuerza producida. El componente contráctil (CC) (es decir, actina, miosina y puentes cruzados) es la fuente principal de fuerza muscular durante la acción muscular concéntrica. El componente elástico paralelo (CEP) (es decir, epimisio, perimisio, endomisio y sarcolema) ejerce una fuerza pasiva con estiramiento muscular desestimulado.

Fuente: Basado en Albert, 1995 (1).

Fisiología y mecánica de la pliometría

Los movimientos funcionales y el éxito atlético dependen de la correcta función de todos los músculos activos y de la velocidad a la que se aplican esas fuerzas musculares. El término usado para definir esta relación entre fuerza y velocidad es **potencia**. Cuando se usa correctamente, el entrenamiento pliométrico ha demostrado de manera convincente que mejora la producción de fuerza y potencia musculares (30, 50). Este aumento de la producción de potencia se explica mejor con dos modelos propuestos: uno mecánico y otro neurofisiológico (53).

Modelo mecánico del ejercicio pliométrico

En el *modelo mecánico*, la energía elástica de los componentes musculotendinosos aumenta mediante un rápido estiramiento y, a continuación, se almacena (3, 14, 31). Cuando a este movimiento le sigue inmediatamente una acción muscular concéntrica, la energía elástica

almacenada se libera y aumenta la producción total de fuerza (3, 14, 31). Hill (31) nos aporta una excelente descripción (que aparece en la figura 18.1) que ayuda a entender el comportamiento del músculo esquelético. De los numerosos elementos del modelo mecánico, el **componente elástico en serie (CES)** es la central energética del ejercicio pliométrico. Aunque el CES comprenda algunos elementos musculares, son los tendones los responsables de la mayor parte del CES. Cuando se estira la unidad musculotendinosa, como en una acción muscular excéntrica, el CES actúa como un muelle y se elonga, y mientras se elonga, se almacena energía elástica. Si el músculo comienza una acción concéntrica inmediatamente después de la acción excéntrica, la energía almacenada se libera y permite que el CES contribuya a la producción total de fuerza devolviendo de forma natural los músculos y tendones a su configuración normal no estirada. Si no ocurre inmediatamente una acción muscular después de la acción excéntrica, o si la **fase excéntrica** es demasiado larga o requiere un movimiento excesivo de una articulación dada, la energía almacenada se disipa y se pierde en forma de calor.

Modelo neurofisiológico del ejercicio pliométrico

El *modelo neurofisiológico* comprende la **potenciación** (cambio en las características de la fuerza-velocidad de los componentes contráctiles del músculo causado por el estiramiento [21]) de la acción muscular concéntrica mediante el uso del reflejo de estiramiento (figura 18.2) (8-11). El **reflejo de estiramiento** es la respuesta involuntaria del cuerpo a un estímulo externo que estira los músculos (27, 42). Este componente reflejo del ejercicio pliométrico se compone principalmente de la actividad de los husos musculares. Los **husos musculares** son órganos propioceptores sensibles al ritmo y magnitud de los estiramientos; cuando se detecta un rápido estiramiento, aumenta de forma refleja la actividad muscular (27, 42). Durante los ejercicios pliométricos, los husos musculares se estimulan mediante un rápido estiramiento que causa una acción muscular refleja. Esta respuesta refleja potencia, o aumenta, la actividad del músculo agonista, con lo cual aumenta la fuerza que produce el músculo (8-11, 35). Al igual que en el modelo mecánico, si a un estiramiento no le sigue de inmediato una acción muscular concéntrica (es decir, si transcurre demasiado tiempo entre el estiramiento y la acción concéntrica o movimiento durante un intervalo demasiado grande), se niega la capacidad potenciadora del reflejo de

estiramiento.

Aunque es probable que tanto el modelo mecánico como el neurofisiológico contribuyan al aumento de la producción de fuerza durante el ejercicio pliométrico (3, 8-11, 14, 31, 35), sigue siendo incierto el grado en que contribuye cada modelo. Se necesitan nuevos estudios de investigación para mejorar nuestro conocimiento sobre ambos modelos y sus papeles respectivos en el ejercicio pliométrico.

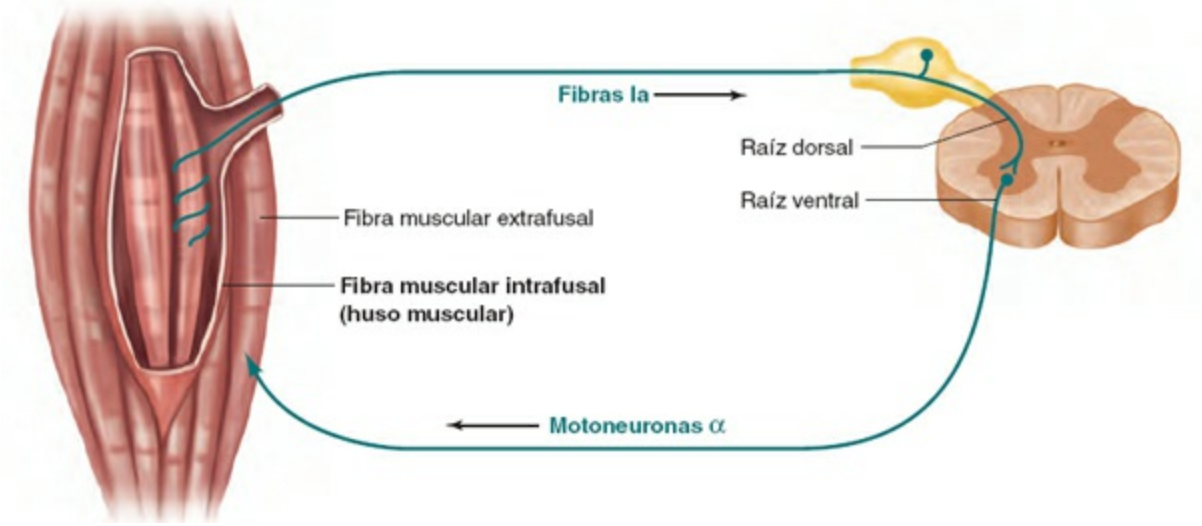


FIGURA 18.2 Ilustración del reflejo de estiramiento. Cuando se estimulan los husos musculares, el reflejo de estiramiento se estimula, enviando impulsos aferentes a la columna vertebral a través de las fibras nerviosas tipo Ia. Después de establecer sinapsis con las motoneuronas α de la médula espinal, los impulsos viajan a las fibras extrafusales del músculo agonista, provocando una acción muscular refleja.

Fuente: Basado en Wilk *et al*., 1993 (53).

Ciclo de estiramiento-acortamiento

El **ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA)** emplea la capacidad de almacenamiento de energía del CES y la estimulación del reflejo de estiramiento para facilitar un incremento máximo del reclutamiento muscular durante un tiempo mínimo. El CEA implica tres fases diferenciadas como se muestra en la tabla 18.1. Aunque la tabla delinee los procesos mecánicos y neurofisiológicos individuales del CEA, es importante recordar que todos estos procesos no se producen necesariamente en la fase dada. Es decir, algunos de los procesos tal vez duren más o requieran menos tiempo que el concedido en la fase. La fase I es la fase excéntrica, que comprende la precarga del grupo o grupos musculares agonistas. Durante esta fase, el CES

almacena energía elástica y se estimulan los husos musculares. A medida que se estiran los husos musculares, envían una señal a la raíz ventral de la médula espinal a través de las fibras nerviosas aferentes tipo Ia (figura 18.2). Para visualizar la fase excéntrica, pensemos en el salto de longitud. El tiempo desde la batida del pie hasta el final de ese movimiento constituye la fase excéntrica (figura 18.3*a*).

La fase II es el tiempo que transcurre entre la **fase excéntrica** y la **fase concéntrica** y se denomina **fase de amortización** (o transición). Es el momento entre el final de la fase excéntrica y el inicio de la acción muscular concéntrica. Hay un retraso entre las acciones musculares excéntrica y concéntrica durante el cual los nervios aferentes tipo Ia forman sinapsis con las motoneuronas α presentes en la raíz ventral de la médula espinal (figura 18.2). Las motoneuronas α transmiten a continuación señales al grupo muscular agonista. Esta fase del CEA tal vez sea la más crucial para permitir una mayor producción de potencia; su duración debe ser corta. Si la fase de amortización dura demasiado, la energía almacenada durante la fase excéntrica se disipa en forma de calor, y el reflejo de estiramiento no aumentará la actividad muscular durante la fase concéntrica (12). Una vez que el saltador ha concluido la batida y el movimiento se ha interrumpido es porque ha empezado la fase de amortización. En cuanto el movimiento se reinicia otra vez, la fase de amortización se da por concluida (figura 18.3*b*).

La fase concéntrica, la fase III, es la respuesta del cuerpo a las fases excéntrica y de amortización. En esta fase, la energía almacenada en el CES durante la fase excéntrica se usa para aumentar la fuerza del movimiento siguiente o se disipa en forma de calor. Esta energía elástica almacenada aumenta la fuerza producida durante el movimiento de la fase concéntrica, superando la de una acción muscular concéntrica aislada (13, 50). Además, las motoneuronas α estimulan el grupo muscular agonista, con lo que se produce una acción muscular concéntrica refleja (es decir, el reflejo de estiramiento). La eficacia de estos subsistemas es esencial para la correcta ejecución de los ejercicios pliométricos. Una vez más, hay que visualizar al atleta dando un salto de longitud. En cuanto el movimiento se inicia en dirección ascendente, la fase de amortización ha concluido y ha comenzado la fase concéntrica del CEA (figura 18.3*c*). En este ejemplo, uno de los músculos agonistas es el gastrocnemio. Durante la batida, el gastrocnemio experimenta un rápido estiramiento (fase excéntrica); se produce un retraso en el movimiento (fase de amortización) y luego el músculo procede

concéntricamente a la flexión plantar del tobillo, lo cual permite al atleta despegar del suelo (fase concéntrica).

TABLA 18.1 Ciclo de estiramiento-acortamiento

Fase	Acción	Proceso fisiológico
I: Excéntrica	Estiramiento del músculo agonista	La energía elástica se almacena en el componente elástico en serie Se estimulan los husos musculares
II: Amortización	Pausa entre las fases I y III	Los nervios aferentes tipo Ia forman sinapsis con motoneuronas a Las motoneuronas a transmiten señales al grupo muscular agonista
III: Concéntrica	Acortamiento de las fibras del músculo agonista	La energía elástica se libera del componente elástico en serie Las motoneuronas α estimulan el grupo muscular agonista

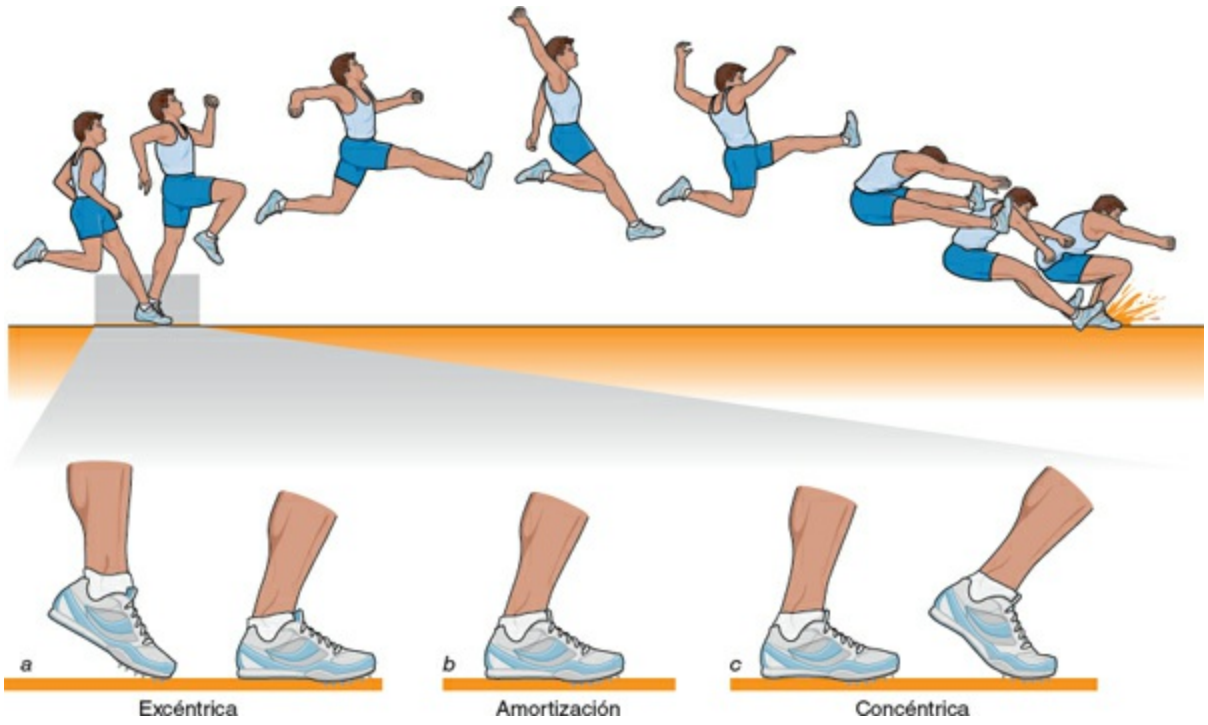


FIGURA 18.3 Salto de longitud y el ciclo de estiramiento-acortamiento. (*a*) La fase excéntrica comienza en la batida y continúa hasta que termina el movimiento. (*b*) La fase de amortización es la transición entre la fase excéntrica y la fase concéntrica; es rápida y sin movimiento. (*c*) La fase concéntrica sigue a la fase de amortización y comprende toda la fase de despegue, hasta que el pie del atleta abandona el contacto con la superficie del suelo.

El grado de estiramiento de la unidad musculotendinosa es vital para el ejercicio pliométrico (35). Una proporción elevada de estiramiento se traduce en un mayor reclutamiento muscular y una mayor actividad durante la fase

concéntrica del CEA. La importancia de este índice de estiramiento se ejemplifica con tres pruebas distintas de salto vertical: la sentadilla estática con salto, el salto vertical con contramovimiento y el salto de aproximación con varios pasos. A medida que aumenta el índice de estiramiento, mejora el rendimiento absoluto del atleta en estas pruebas; la sentadilla estática con salto es la que alcanza la menor altura en el salto vertical, mientras que el salto de aproximación alcanza la máxima altura. La sentadilla estática con salto requiere que el atleta asuma la postura de la sentadilla (es decir, 90° de flexión de las caderas y 90° de flexión de las rodillas) y que, a continuación, dé un salto vertical. Este salto no emplea la energía elástica almacenada y es demasiado lento para permitir la potenciación del reflejo de estiramiento porque en esencia no es una fase excéntrica. El salto con contramovimiento emplea un rápido elemento excéntrico (es decir, la sentadilla parcial), seguido de inmediato por una rápida actividad muscular concéntrica (es decir, un salto vertical). La rápida fase excéntrica permite al atleta almacenar (y usar) la energía elástica de la unidad musculotendinosa estirada y estimula el reflejo de estiramiento, con lo cual potencia la actividad muscular (6, 29).

El ciclo de estiramiento-acortamiento combina mecanismos mecánicos y neurofisiológicos, y constituye la base de los ejercicios pliométricos. Una rápida acción muscular excéntrica estimula el reflejo de estiramiento y el almacenamiento de energía elástica, lo cual aumenta la fuerza producida durante la posterior acción concéntrica.

El salto de aproximación emplea una fase excéntrica incluso más rápida y forzada que el salto con contramovimiento; el mayor índice de estiramiento durante la fase excéntrica permite un mayor incremento de la altura del salto vertical (4, 5, 7, 25).

Diseño de programas

La prescripción de ejercicio pliométrico es parecida a la prescripción de ejercicio resistido y aeróbico; modo, intensidad, frecuencia, duración, recuperación, progresión y un período de calentamiento deben incluirse en el diseño de un programa seguro de entrenamiento pliométrico. Por desgracia, hay pocos estudios que delimiten las variables óptimas del programa para el diseño de programas de ejercicio pliométrico. Por tanto, al prescribir ejercicio pliométrico, los especialistas deben fiarse de las investigaciones disponibles, de la experiencia práctica y de la metodología usada para diseñar programas

de entrenamiento aeróbico y con resistencia. Las pautas siguientes se basan en gran parte en la obra de Chu (16, 18) y en el argumento de posición de la National Strength and Conditioning Association (Asociación Nacional de Fuerza y Acondicionamiento) (44).

Análisis de las necesidades

Para diseñar correctamente un programa de entrenamiento pliométrico, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe analizar las necesidades del atleta evaluando su deporte, su posición en el terreno de juego y su estado de entrenamiento. Cada deporte y posición tienen sus propias exigencias; algunas son únicas por los movimientos implicados, mientras que otras presentan riesgos y perfiles de lesiones diferenciados. Además, cada atleta posee un estado único de entrenamiento. Algunos tal vez empiecen ahora con el entrenamiento y nunca hayan practicado ejercicios pliométricos; otros quizá hayan sufrido lesiones. Cada uno de ellos requiere un enfoque distinto respecto al entrenamiento pliométrico. Mediante el conocimiento de las necesidades individuales de cada deporte, las posiciones en el terreno de juego y las necesidades de cada atleta, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico estará mejor preparado para diseñar un programa de entrenamiento pliométrico seguro y eficaz.

Modo

El modo del entrenamiento pliométrico está determinado por la región del cuerpo que practica el ejercicio. Por ejemplo, el salto vertical a una pierna es un ejercicio pliométrico para el hemicuerpo inferior, mientras que el **lanzamiento** de balón medicinal con las dos manos es un ejercicio para el hemicuerpo superior. Los modos de ejercicio pliométrico se explican en los siguientes párrafos.

Ejercicios pliométricos con el hemicuerpo inferior

Los ejercicios pliométricos con el hemicuerpo inferior son apropiados virtualmente para todos los atletas y cualquier deporte, para las pruebas de velocidad y de lanzamiento del atletismo, el fútbol, el voleibol, el baloncesto, el fútbol americano, el béisbol, e incluso los deportes de resistencia como las carretas de fondo y los triatlones. Muchos de estos deportes exigen a los

atletas producir fuerza muscular máxima en un tiempo muy corto. El fútbol americano, el béisbol y las carreras de velocidad suelen requerir movimientos horizontales y laterales durante la competición, mientras que el voleibol implica sobre todo movimientos horizontales y verticales. Los futbolistas y baloncestistas deben ejecutar movimientos rápidos y potentes, y cambios de dirección en todos los planos para competir con éxito. Un pívot de baloncesto es un ejemplo de atleta que se beneficia mucho de un programa de entrenamiento pliométrico, dado que los pívots tienen que saltar repetidamente a capturar rebotes. Para tener éxito, el pívot debe ser capaz de superar en los saltos al pívot contrario para recuperar más rebotes que él. El entrenamiento pliométrico del hemicuerpo inferior confiere al jugador capacidad para generar más fuerza en un tiempo corto, con lo cual consigue saltar más alto. Además, la participación en un programa de entrenamiento pliométrico mejora el rendimiento en carrera a pie y en bicicleta de los atletas de fondo al permitir a los músculos producir más fuerza con menos energía.

Los diversos ejercicios pliométricos para el hemicuerpo inferior presentan distintos niveles de intensidad y distintos movimientos direccionales. Los tipos de ejercicios pliométricos para el hemicuerpo inferior incluyen **saltos sin desplazamiento, saltos de pie, saltos múltiples con los pies juntos, rebotes, ejercicios con cajón** y **ejercicios de caer desde un cajón y salto vertical con los pies juntos.** (Véanse en la tabla 18.2 las descripciones de estos ejercicios).

Ejercicios pliométricos con el hemicuerpo superior

Los movimientos rápidos y potentes del hemicuerpo superior son necesarios en varios deportes y actividades como el béisbol, el softball, el tenis, el golf y las disciplinas de lanzamiento en el atletismo (es decir, lanzamiento de peso, de disco y de jabalina). Por ejemplo, un lanzador de elite de béisbol lanza habitualmente la pelota a 129-161 kilómetros por hora. Para alcanzar velocidades de semejante magnitud, la articulación escapulohumeral del lanzador se debe mover a más de 6.000°/s (19, 22, 23, 46). El entrenamiento pliométrico de la articulación del hombro no solo debe aumentar la velocidad de lanzamiento de la pelota, sino también prevenir lesiones en las articulaciones del hombro y el codo, aunque se necesitan más estudios de investigación para corroborar el papel de la pliometría en la prevención de lesiones.

Los ejercicios pliométricos con el hemicuerpo superior no se emplean con

tanta frecuencia como los ejercicios con el hemicuerpo inferior y se han estudiado con menos profusión, aunque, pese a todo, son esenciales para los atletas que requieren potencia de torso y brazos (45). Los ejercicios pliométricos con el hemicuerpo superior comprenden, entre otros, el lanzamiento y recepción de balones medicinales y varios tipos de **flexiones de brazos**.

Ejercicios pliométricos con el tronco

En general, resulta complicado practicar ejercicios pliométricos de verdad que trabajen directamente la musculatura del tronco, porque tal vez no estén presentes todos los elementos de la pliometría. El ejercicio pliométrico aprovecha la energía elástica almacenada (modelo mecánico) y potencia la actividad muscular mediante la estimulación del reflejo de estiramiento (modelo neurofisiológico). Después de la fase excéntrica del CEA, probablemente haya cierto almacenamiento de energía elástica durante los ejercicios «pliométricos» del tronco. No obstante, los estudios respaldan la noción de que el reflejo de estiramiento no participa suficientemente durante muchos ejercicios del tronco para potenciar la actividad muscular. Las latencias del reflejo de estiramiento (tiempo entre la estimulación refleja y el principio de la actividad muscular agonista) dependen en gran medida de las velocidades de conducción nerviosa y, por tanto, aumentan cuanto mayor sea la distancia a la médula espinal (es decir, nervios más largos) (34, 36, 38, 47). Los reflejos de estiramiento de los músculos cuádriceps y gastrocnemio suelen viajar entre 20 y 30 ms y entre 30 y 45 ms, respectivamente (34, 47). Aunque ningún estudio ha tratado los reflejos de estiramiento de los músculos abdominales, tal vez se asuma que las latencias son más cortas, dado que los músculos están más próximos a la médula espinal.

TABLA 18.2 Ejercicios pliométricos con el hemicuerpo inferior

Tipo de ejercicio	Razón
Saltos sin desplazamiento	Estos ejercicios implican saltar y aterrizar en el mismo sitio. Los saltos sin desplazamiento se centran en el componente vertical del salto y se practican repetidamente, sin descaso entre saltos; el tiempo entre saltos es la fase de amortización del ciclo de estiramiento-acortamiento. Ejemplos de saltos sin desplazamiento son la sentadilla con salto y el salto con rodillas al pecho
	Estos ejercicios se centran en los componentes horizontal o vertical. Los

Saltos de pie	saltos de pie son esfuerzos máximos con recuperación entre repeticiones. El salto vertical y los saltos sobre obstáculos son ejemplos de saltos de pie
Saltos múltiples con los pies juntos (o a una pierna)	Los saltos múltiples a una o dos piernas implican un movimiento repetido y tal vez se consideren una combinación de saltos sin desplazamiento y saltos de pie. Un ejemplo de saltos múltiples son los saltos en zigzag con los pies juntos
Botes	Los ejercicios de botes implican movimientos exagerados con mayor velocidad horizontal que otros ejercicios. El volumen de los botes se suele medir por la distancia, aunque tal vez se mida por el número de repeticiones practicadas. En los ejercicios de botes normalmente se cubren distancias superiores a los 30 metros y tal vez haya botes a una o dos piernas, además de los botes alternando piernas, como se muestra en este capítulo
Ejercicios con cajón	Estos ejercicios aumentan la intensidad de los saltos múltiples con los pies juntos al usar un cajón. Este se usa para saltar encima o para caer. La altura del cajón depende de la altura del atleta, de la superficie de aterrizaje y de los objetivos del programa. Los ejercicios con cajón tal vez se hagan a una pierna, a dos, o alternando una y otra pierna
Ejercicios de caer desde un cajón y salto vertical con los pies juntos	Estos saltos aprovechan la fuerza de la gravedad y el peso del atleta para aumentar la intensidad del ejercicio. El atleta adopta una postura sobre el cajón, se deja caer, aterriza y de inmediato da un salto vertical, horizontal o a otro cajón. La altura del cajón depende de la altura del atleta, de la superficie de aterrizaje y de los objetivos del programa. Estos saltos tal vez se hagan a una pierna o a dos

Los ejercicios para el tronco tal vez se ejecuten «pliométricamente», siempre que se introduzcan modificaciones en el movimiento. Específicamente, los movimientos de los ejercicios deben ser más cortos y rápidos para permitir la estimulación y uso del reflejo de estiramiento. El arco de movilidad relativamente grande y el tiempo necesario para completar el movimiento no permiten la potenciación refleja de los músculos abdominales. El ejercicio se puede modificar con el fin de reducir el grado de movilidad y el tiempo, lo cual permite potenciar los músculos agonistas y conseguir que el ejercicio se parezca más a un ejercicio pliométrico.

Intensidad

La intensidad pliométrica es el esfuerzo impuesto a las articulaciones, músculos y tejidos conjuntivos implicados, y se controla sobre todo con el tipo de ejercicios. La intensidad de los ejercicios pliométricos abarca unos límites dilatados; el *skipping* es un ejercicio de baja intensidad, mientras que

los ejercicios de caer desde una altura y salto imponen mucha tensión a los músculos y articulaciones. Además del tipo de ejercicio, otros factores también influyen en la intensidad pliométrica (tabla 18.3). Por lo general, a medida que aumenta la intensidad, el volumen debe disminuir (49). Como la intensidad del ejercicio pliométrico puede variar en grado significativo, se debe prestar atención a la elección de los ejercicios correctos durante un ciclo específico de entrenamiento.

TABLA 18.3 Factores que influyen en la intensidad de los ejercicios pliométricos con el hemicuerpo inferior

Factor	Efecto
Puntos de contacto	La fuerza de reacción contra el suelo durante los ejercicios pliométricos para el hemicuerpo inferior a una pierna impone más estrés sobre los músculos, tejidos conjuntivos y articulaciones de una extremidad que durante los ejercicios pliométricos a dos piernas
Velocidad	Una mayor velocidad incrementa la intensidad del ejercicio
Altura del ejercicio	Cuanto más elevado sea el centro de gravedad del cuerpo, mayor será la fuerza en el aterrizaje
Peso corporal	Cuanto mayor sea el peso corporal del atleta, más tensión soportarán los músculos, tejidos conjuntivos y articulaciones. Se puede añadir peso externo (en forma de muñequeras, tobilleras y chalecos lastrados) al del cuerpo para aumentar la intensidad del ejercicio

Frecuencia

La frecuencia es el número de sesiones de entrenamiento pliométrico por semana y suele situarse entre una y tres, dependiendo del deporte, de la experiencia del atleta con el entrenamiento pliométrico y de la época del año. Al igual que sucede con otras variables del programa, hay limitados estudios sobre la frecuencia óptima del entrenamiento pliométrico. Como la literatura es escasa, los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico a menudo se basan en la experiencia práctica para determinar la frecuencia con la que los atletas entrenan con ejercicios pliométricos. En vez de concentrarse en la frecuencia, muchos autores sugieren basarse más en el tiempo de recuperación entre sesiones de entrenamiento pliométrico (16). A la hora de prescribir ejercicios pliométricos, una pauta habitual de recuperación entre sesiones pliométricas es de 48 a 72 horas (16); con estos períodos típicos de recuperación, los atletas suelen practicar dos o tres sesiones pliométricas por

semana. No obstante, el momento del año, el deporte y la experiencia se suelen usar más habitualmente como determinantes de la frecuencia del entrenamiento pliométrico.

Como se mencionó previamente, la frecuencia pliométrica tal vez varíe dependiendo de las exigencias del deporte en cuestión, de la intensidad y volumen de las sesiones diarias (p. ej., prácticas, entrenamiento con resistencia, atletismo y pliometría), de la experiencia del atleta con el entrenamiento pliométrico y del momento del ciclo de entrenamiento. Por ejemplo, durante la temporada, una sesión por semana es apropiada para los jugadores de fútbol americano, mientras que dos o tres sesiones por semana son lo habitual en el atletismo (2). Fuera de temporada, la frecuencia del entrenamiento pliométrico quizá aumente a dos o tres sesiones por semana para los jugadores de fútbol americano, y a tres o cuatro sesiones por semana en el atletismo (2). Como los estudios hasta la fecha son desafortunadamente insuficientes para ofrecer unas pautas apropiadas sobre la frecuencia del entrenamiento pliométrico, el empleo de un tiempo de recuperación correcto entre sesiones y la experiencia práctica quizá sean los mejores determinantes para establecer la frecuencia.

Recuperación

Como los ejercicios pliométricos implican esfuerzos máximos para mejorar la potencia anaeróbica, se requiere una recuperación completa y adecuada (el tiempo entre repeticiones, series y sesiones de entrenamiento) (44). La recuperación para el ejercicio de caer desde una altura y salto puede consistir en 5 a 10 segundos de reposo entre repeticiones y de 2 a 3 minutos entre series. El tiempo entre series está determinado por una correcta relación entre trabajo y descanso (es decir, 1:5 a 1:10), y es específico del volumen y tipo de ejercicio practicado. Los ejercicios no se deben concebir como ejercicios de acondicionamiento cardiorrespiratorio, sino como entrenamiento de potencia. Al igual que con el entrenamiento con resistencia, la recuperación entre sesiones debe ser adecuada y prevenir el sobreentrenamiento (de dos a cuatro días de recuperación, dependiendo del deporte y del momento del año). Por lo demás, los ejercicios para un área dada del cuerpo no se deben practicar en días seguidos (44). Aunque los nuevos estudios abordan tangencialmente la recuperación y la frecuencia del entrenamiento (47), la manipulación del tiempo de recuperación entre repeticiones, ejercicios y

sesiones todavía no se ha estudiado adecuadamente en los trabajos sobre pliometría; se necesitan nuevos estudios en esta área que aporten tiempos más concretos para la recuperación.

Volumen

El volumen pliométrico se suele expresar como el número de repeticiones y series practicadas durante una sesión de entrenamiento. El volumen pliométrico para el hemicuerpo inferior se suele expresar como el número de contactos de los pies (cada vez que un pie, o los pies juntos, entran en contacto con el suelo) por sesión (2, 16), aunque tal vez también se exprese como distancia, como en el caso de los botes pliométricos. Por ejemplo, un atleta que empieza un programa de entrenamiento pliométrico tal vez comience con saltos múltiples con los pies juntos durante 30 metros por repetición, aunque puede progresar hasta 100 metros por repetición en el mismo ejercicio. Los volúmenes pliométricos recomendados para el hemicuerpo inferior varían según los atletas de distintos niveles de experiencia; los volúmenes sugeridos aparecen en la tabla 18.4. El volumen pliométrico para el hemicuerpo superior se suele expresar como el número de lanzamientos o de recepciones por sesión de entrenamiento.

Duración del programa

Los estudios de investigación todavía tienen que determinar la duración óptima de los programas de entrenamiento pliométrico. En la actualidad, la mayoría de los programas oscilan entre 6 y 10 semanas (2, 30); sin embargo, la altura del salto vertical mejora en solo cuatro semanas después de iniciarse un programa de entrenamiento pliométrico (47).

TABLA 18.4 Volúmenes apropiados para los ejercicios pliométricos

Experiencia con ejercicios pliométricos	Volumen inicial*
Principiante (sin experiencia)	80 a 100
Nivel intermedio (algo de experiencia)	100 a 120
Nivel avanzado (considerable experiencia)	120 a 140

* El volumen se expresa en contactos por sesión.

Pasos para cumplir con un programa de entrenamiento pliométrico

1. Se evalúa al atleta, lo cual incluye el deporte y la historia del entrenamiento del sujeto.
2. Se establecen los objetivos específicos del atleta, su deporte y posición en el campo.
3. Se asignan las variables para el diseño de un programa adecuado de entrenamiento pliométrico, abordando aspectos como la intensidad, la frecuencia, la recuperación, el volumen y la duración del programa.
4. Se enseña al atleta la técnica correcta de salto, aterrizaje y lanzamiento.
5. Se avanza correctamente en el programa de entrenamiento pliométrico.

En general, el entrenamiento pliométrico se debería prescribir de forma similar al entrenamiento aeróbico y con resistencia. Para los que requieran movimientos rápidos y poderosos, resulta beneficioso practicar ejercicios pliométricos durante el ciclo de entrenamiento (macrociclo). La intensidad y volumen de los ejercicios elegidos debe variar según el deporte y la temporada (es decir, fuera de temporada, pretemporada o plena temporada).

Progresión

La pliometría es una forma de entrenamiento con resistencia y, en consecuencia, debe seguir los principios de la sobrecarga progresiva. La *sobrecarga progresiva* es el incremento sistemático de la frecuencia, volumen e intensidad del entrenamiento en diversas combinaciones. Por lo general, a medida que aumenta la intensidad, disminuye el volumen. El deporte, la fase de entrenamiento y el diseño del programa de fuerza y acondicionamiento físico (entrenamiento con resistencia, atletismo, pliometría y el momento del año) determinan el calendario de los entrenamientos y el método de sobrecarga progresiva. Por ejemplo, un programa pliométrico fuera de temporada para el fútbol americano se podría practicar dos veces por semana. El programa debe avanzar de volúmenes bajos a moderados de ejercicios pliométricos de baja intensidad, a volúmenes bajos a moderados de intensidad moderada, y luego a volúmenes bajos a moderados de alta intensidad.

Calentamiento

Al igual que con cualquier programa de entrenamiento, la sesión de ejercicio

pliométrico debe comenzar con un calentamiento general, estiramientos y un calentamiento específico (remitimos al capítulo 14 para una explicación sobre el calentamiento). El calentamiento específico para el entrenamiento pliométrico consiste en movimientos dinámicos de baja intensidad. Remitimos a la tabla 18.5 donde aparece una lista y explicación de los tipos de ejercicios de calentamiento específico.

Los programas pliométricos eficaces contienen las mismas variables esenciales en el diseño que cualquier programa de entrenamiento: modo, intensidad, frecuencia, recuperación, volumen, duración del programa, progresión y calentamiento.

Factores relacionados con la edad

Cada vez es más habitual que las personas más jóvenes y más mayores quieran aumentar de alguna forma los programas de entrenamiento para su deporte con ejercicios pliométricos. Cuando esos ejercicios se aplican apropiadamente, esas poblaciones experimentan los mismos resultados positivos que otros grupos de edad, con un riesgo mínimo de lesiones.

TABLA 18.5 Ejercicios de calentamiento para la pliometría

Ejercicio	Explicatión
Marcha	Imita los movimientos del cuerpo al correr Hace hincapié en la postura y la técnica de movimiento Mejora los movimientos correctos del hemicuerpo inferior para correr
Trote	Prepara para los ejercicios pliométricos con impacto y de alta intensidad • Trote de puntillas. No se deja que los talones toquen el suelo (potencia la rapidez de la reacciones) • Trote con las piernas rectas. No se permite o se permite muy poco la flexión de las piernas como preparación para el impacto de los ejercicios pliometricos • *Skipping* hacia atrás. Se flexionan las rodillas para permitir que el talón toque los glúteos
Skipping	Forma exagerada de movimientos recíprocos de las extremidades superiores e inferiores Énfasis en un rápido despegue y aterrizaje de los pies; imita actividades pliométricas
Juego de pies	Ejercicios que buscan cambios de dirección Preparación para cambios de dirección durante los ejercicios pliométricos Ejemplos: *course-navette,* desplazamientos laterales y zancadas
	Basado en el ejercicio de tijeras hacia delante

Tijeras	Tal vez sea multidireccional (p. ej., hacia delante, hacia los lados, hacia atrás)

Adolescentes

Aunque los ejercicios pliométricos se hayan visto habitualmente como apropiados tan solo para el acondicionamiento físico de atletas de elite adultos, los preadolescentes y los adolescentes también se benefician del entrenamiento con ejercicios pliométricos o pseudopliométricos. Además de aportar potencia muscular y adaptaciones de la resistencia ósea bien documentadas, la práctica regular de un programa de entrenamiento pliométrico bien diseñado prepara mejor a los atletas jóvenes para las exigencias de la práctica y la competición deportivas (17) al mejorar el control y rendimiento neuromusculares. Los estudios de investigación todavía tienen que determinar una edad universal a la que la gente sea físicamente capaz de empezar a participar en programas de entrenamiento pliométrico. Un análisis del desarrollo del cuerpo proporciona cierto conocimiento sobre el tema. Como las láminas epifisarias de los huesos de los niños preadolescentes todavía se tienen que cerrar (33, 40), están contraindicados los ejercicios de caer desde una altura y salto, así como otros ejercicios de alta intensidad para el hemicuerpo inferior (2, 32, 39). Mientras las láminas epifisarias de crecimiento estén abiertas, las actividades muy intensas y las lesiones pueden causar su cierre prematuro, lo cual provoca discrepancias en la longitud de las extremidades (32). Además, al igual que sucede con todas las formas de ejercicio, chicos y chicas deben tener cierta madurez emocional para aceptar y seguir las directrices, y deben ser capaces de apreciar los beneficios y problemas asociados con este método de entrenamiento. Empíricamente, se ha entrenado a niños de 7 y 8 años con programas pliométricos progresivos y han seguido llevando vidas activas de adolescentes y adultos (17).

Los programas de ejercicio pliométrico para niños se deben utilizar para desarrollar el control neuromuscular y las destrezas anaeróbicas que se traducirán en una participación más segura en el deporte y el atletismo, tanto durante la infancia como cuando avancen a niveles superiores de competición. Como ejemplo, varios estudios de investigación citan los beneficios de usar una técnica de aterrizaje correcta como método para reducir el riesgo de los atletas de sufrir lesiones en las extremidades inferiores (figura 18.4). Un movimiento en valgo excesivo de las rodillas aumenta

enormemente el riesgo de lesión de rodilla (véase en el capítulo 22 una exposición más detallada sobre este tema).

Es muy importante que los programas de ejercicio pliométrico para niños progresen de forma gradual de ejercicios relativamente sencillos a otros más complejos. Es importante centrarse en la calidad de los movimientos (p. ej., en la correcta alineación del cuerpo y en la velocidad de movimiento) para desarrollar técnicas que sean esenciales para los ejercicios más avanzados.

Al igual que sucede con los adultos, la recuperación entre sesiones debe ser adecuada para prevenir el sobreentrenamiento. Aunque se desconoce la cantidad óptima de recuperación entre sesiones pliométricas, debería variar basándose en la intensidad del programa de entrenamiento y las destrezas, capacidades y tolerancias del atleta, así como en el momento del año (es decir, fuera de temporada, pretemporada o plena temporada). Por tanto, se deben considerar esenciales un mínimo de dos o tres días entre sesiones pliométricas para optimizar las adaptaciones al programa de entrenamiento y para reducir al mínimo el riesgo de lesión del atleta (17).

Bajo una adecuada supervisión y con un programa adecuado, los preadolescentes y adolescentes pueden practicar ejercicios pliométricos. Se debe prestar especial atención a las postura en valgo para reducir el riesgo de que los atletas sufran lesiones en las extremidades inferiores. El ejercicio de caer desde un cajón y salto vertical con los pies juntos y los ejercicios pliométricos de alta intensidad para el hemicuerpo inferior están contraindicados para esta población.

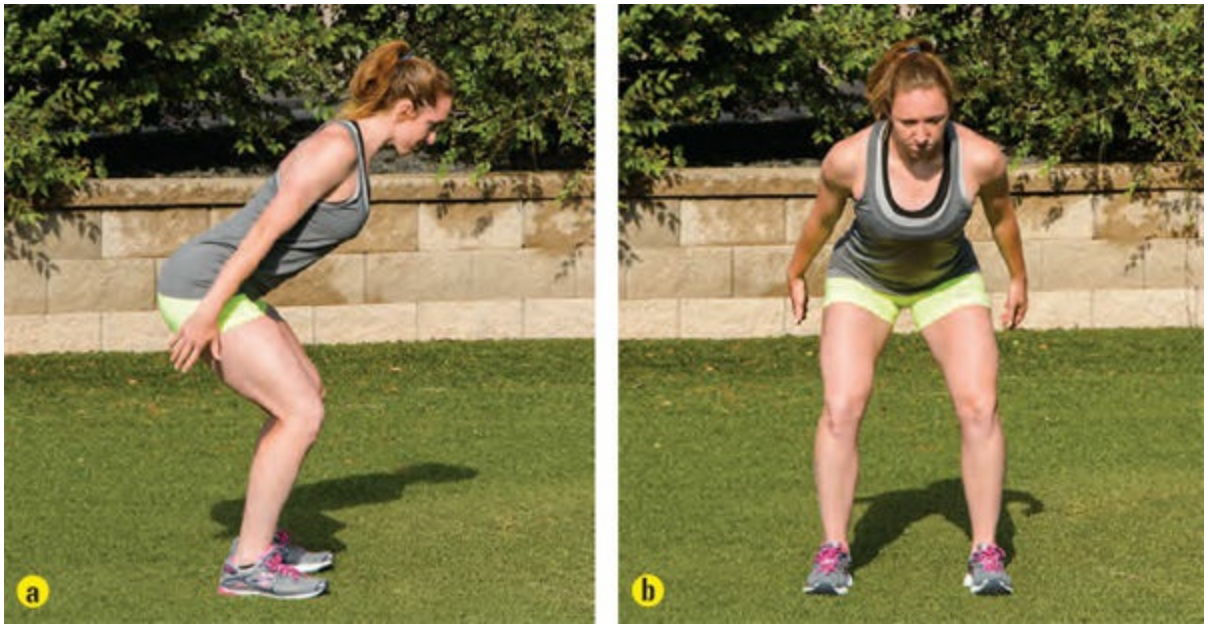


FIGURA 18.4 Posición correcta para el aterrizaje en los ejercicios pliométricos. (*a*) Vistos de

perfil, los hombros están alineados con las rodillas, lo que ayuda a que el centro de gravedad se sitúe sobre la base de sustentación del cuerpo. (*b*) Vistas por delante, las rodillas del atleta están encima de las puntas de los pies; un movimiento excesivo hacia dentro (valgo) aumenta el riesgo de que el atleta sufra una lesión en las extremidades inferiores.

Atletas de categoría máster

Los atletas de categoría máster consiguen mantener sus capacidades físicas en la madurez y buscan ideas adicionales para el entrenamiento. Al diseñar un programa de entrenamiento pliométrico para atletas de categoría máster, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico necesita ser específico al decidir el objetivo u objetivos del programa. Algunos aspectos primarios que hay que tener en cuenta son cualquier degeneración articular o patología ortopédica preexistente (como osteoartritis o cualquier forma de intervención quirúrgica de naturaleza articular). Exigen más precaución si cabe y un empleo más cuidadoso del ejercicio pliométrico. Por ejemplo, un atleta saludable de categoría máster sin antecedentes quirúrgicos que quiere mejorar su rendimiento en carrera debería usar con cautela el ejercicio de caer desde una altura y salto, así como los saltos a una pierna, por lo que opciones preferibles son los botes alternando una y otra pierna, y los saltos con los pies juntos. De forma parecida, un corredor de categoría máster con una historia de cirugía de rodilla, como la exéresis parcial del menisco, o con una degeneración articular significativa, debe considerar contraindicados el ejercicio de caer desde una altura y salto y los ejercicios pliométricos a una pierna, y usar otros ejercicios pliométricos con cautela.

Después de tener en consideración las predisposiciones relacionadas con la condición física de los atletas de categoría máster, se debe diseñar un programa pliométrico según las mismas pautas que para los atletas adultos, pero con los siguientes cambios. El programa pliométrico debe comprender no más de cinco ejercicios de intensidad baja a moderada; el volumen debe ser más bajo, es decir, debe incluir en total un número menor de contactos de los pies que un programa estándar de entrenamiento pliométrico; y el tiempo de recuperación entre sesiones pliométricas deberá ser de tres a cuatro días. Una vez impuestas estas pautas —como con cualquier otro atleta—, es importante reparar en cómo se siente el atleta de categoría máster después del entrenamiento y la recuperación. Puede haber dolores musculares y el programa se deberá modificar si se aprecian molestias o dolor crónico o excesivo.

Pliometría y otras formas de ejercicio

El ejercicio pliométrico es solo una parte del programa de entrenamiento general del atleta. Muchos deportes y actividades recurren a múltiples sistemas de energía o requieren otras formas de ejercicio para preparar correctamente a los atletas para la competición. Cada sistema de energía y cada necesidad de un deporte específico se deben incluir en todo programa de entrenamiento bien diseñado.

Ejercicio pliométrico y entrenamiento con resistencia

Es necesario estructurar una combinación de ejercicio pliométrico y entrenamiento con resistencia durante un ciclo de entrenamiento para lograr la máxima eficiencia y mejoría física. La siguiente lista y la tabla 18.6 proporcionan las pautas para desarrollar un programa combinado.

- Combinar entrenamiento resistido del hemicuerpo inferior con ejercicio pliométrico del hemicuerpo superior, y entrenamiento resistido del hemicuerpo superior con ejercicio pliométrico del hemicuerpo inferior.
- No se suele recomendar la práctica de un entrenamiento con grandes resistencias y ejercicio pliométrico el mismo día (15, 20). Sin embargo, algunos atletas tal vez se beneficien de un **entrenamiento complejo**, una combinación de entrenamiento con resistencia de alta intensidad seguido de ejercicio pliométrico. Si los atletas practican este tipo de entrenamiento, se necesita una recuperación adecuada entre la pliometría y otro entrenamiento de alta intensidad.
- Los ejercicios del entrenamiento con resistencia tradicional tal vez se combinen con movimientos pliométricos para incrementar las mejoras de la potencia muscular (54, 55). Por ejemplo, practicar una sentadilla con salto con aproximadamente el 30% de una 1RM de una sentadilla como resistencia externa aumenta el rendimiento (54, 55). Se trata de una forma avanzada de entrenamiento complejo que solo es apropiado para atletas que hayan participado previamente en programas de entrenamiento pliométrico de alta intensidad.

Ejercicio pliométrico y aeróbico

Muchos deportes —como el baloncesto y el fútbol— contienen un

componente anaeróbico (es decir, potencia) y otro aeróbico. Por tanto, se deben combinar múltiples tipos de entrenamiento para preparar bien a los atletas para estos deportes. Como el ejercicio aeróbico puede tener un efecto negativo sobre la producción de potencia (15), se aconseja practicar el ejercicio pliométrico antes que el entrenamiento de resistencia aeróbico. Las variables del diseño no cambian y se deben complementar para entrenar a estos atletas con la máxima eficacia para la competición.

TABLA 18.6 Muestra de horario para integrar el ejercicio pliométrico y el entrenamiento con resistencia

Día	Entrenamiento con resistencia	Ejercicios pliométricos
Lunes	Hemicuerpo superior Alta intensidad	Hemicuerpo inferior Baja intensidad
Martes	Hemicuerpo inferior Baja intensidad	Hemicuerpo superior Alta intensidad
Jueves	Hemicuerpo superior Baja intensidad	Hemicuerpo inferior Alta intensidad
Viernes	Hemicuerpo inferior Alta intensidad	Hemicuerpo superior Baja intensidad

Problemas de seguridad

El ejercicio pliométrico no es peligroso *per se*; sin embargo, tal y como sucede con todos los modos de ejercicio, existe el riesgo de lesionarse. Las lesiones pueden ocurrir simplemente por un accidente, aunque lo más habitual es que se produzcan cuando se transgreden los procedimientos correctos del entrenamiento, y tal vez sean el resultado de una base insuficiente de energía y acondicionamiento físico, de un calentamiento inadecuado, de una progresión impropia de los ejercicios de capacitación, de un volumen o intensidad inapropiados para la fase de entrenamiento, de la mala calidad del calzado o la superficie, o, simplemente, de la falta de destreza. Las secciones siguientes identifican y abordan estos y otros factores de riesgo. Conocer los factores de riesgo mejora la seguridad de los atletas que practican ejercicio pliométrico.

Evaluación previa al entrenamiento del atleta

Para reducir el riesgo de lesiones y facilitar la ejecución de ejercicios pliométricos, el atleta debe conocer la técnica pliométrica correcta y poseer una base suficiente de fuerza, velocidad y equilibrio. Además, el atleta debe ser lo bastante maduro, tanto física como psicológicamente, para participar en

un programa de entrenamiento pliométrico. Los siguientes aspectos de la evaluación de los atletas ayudan a determinar si un atleta cumple estas condiciones.

Técnica

Antes de añadir ningún ejercicio al programa pliométrico de un atleta, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe mostrarle una técnica correcta con el fin de potenciar al máximo la eficacia y reducir al mínimo el riesgo de lesión. En el caso de los ejercicios pliométricos con el hemicuerpo inferior, es esencial una técnica correcta de aterrizaje, sobre todo para el ejercicio de caer desde una altura y salto. Si el centro de gravedad se desalinea con la base de sustentación, la ejecución se malogra y puede sobrevenir una lesión. Los hombros se deben situar sobre las rodillas y las rodillas sobre las puntas de los pies durante el aterrizaje, que el saltador ejecuta mediante la flexión de tobillos, rodillas y caderas. Además, cuando observamos el plano frontal del movimiento del atleta practicando ejercicios pliométricos con el hemicuerpo inferior, es esencial que las rodillas se sitúen encima y alineadas con las puntas de los pies (figura 18.4). El giro interno de las rodillas —también denominado *valgo dinámico*— es un factor de riesgo importante para las lesiones de rodilla de todo tipo, como el dolor femororrotuliano y los desgarros o roturas del ligamento cruzado anterior (LCA).

Fuerza

Es necesario tener en consideración el nivel de fuerza del atleta antes de que practique ejercicios pliométricos. En el caso del ejercicio pliométrico con el hemicuerpo inferior, las recomendaciones previas afirman que 1RM del atleta debe ser al menos 1,5 veces su peso corporal (15, 20, 32, 44, 52). Sin embargo, nosotros sugerimos que una consideración más importante es la técnica. Son muchas las actividades pliométricas que se pueden enseñar con seguridad a los atletas jóvenes. Nuestra recomendación es que la pliometría forme parte de todos los atletas cuyos deportes exijan correr, aterrizar, saltar y hacer recortes. No está demostrado que enseñar la correcta alineación y mecánica de los movimientos mediante el uso de ejercicios pliométricos cause lesiones; más bien este tipo de entrenamiento ha demostrado repetidamente reducir el riesgo de lesión del atleta durante las prácticas y los

partidos (43).

Equilibrio

Un requisito menos evidente para la pliometría con el hemicuerpo inferior es el equilibrio. El **equilibrio** es el mantenimiento de una postura sin movimiento durante cierto período de tiempo. Muchos ejercicios pliométricos con el hemicuerpo inferior requieren que el atleta se mueva siguiendo patrones no tradicionales (p. ej., saltos en zigzag con los pies juntos y *skipping* hacia atrás) o a una pierna (p. ej., salto a una pierna con rodilla al pecho y el salto vertical a una pierna). Estos ejercicios necesitan una base de sustentación sólida y estable sobre la cual el atleta pueda practicar los ejercicios correctamente y sin peligro. En la tabla 18.7 aparecen tres pruebas de equilibrio, enumeradas en orden de dificultad; cada postura se debe mantener 30 segundos (51). Por ejemplo, un atleta que por primera vez inicia un entrenamiento pliométrico tendrá que poder mantenerse en pie sobre una sola pierna durante 30 segundos sin caer. Un atleta experimentado que comience un programa avanzado de entrenamiento pliométrico debe mantener una media sentadilla a una pierna durante 30 segundos sin caerse. La superficie sobre la que se practica la prueba de equilibrio debe ser la misma que se emplee para los ejercicios pliométricos.

Características físicas

Los atletas que pesan más de 100 kg tal vez corran más riesgo de lesionarse al practicar ejercicios pliométricos (44, 52). Un peso mayor aumenta la fuerza de compresión que sufren las articulaciones durante los ejercicios, lo cual predispone estas articulaciones a lesionarse. Los atletas que pesen más de 100 kg deben evitar, por tanto, ejercicios pliométricos de elevado volumen y alta intensidad, y el ejercicio de caer desde una altura de más de 46 centímetros y salto (44, 52). Como sucede con otras formas de ejercicio, la estructura articular de un atleta y sus lesiones previas también deben ser objeto de examen antes de que empiece un programa de entrenamiento pliométrico. Lesiones previas o anomalías de la columna vertebral, las extremidades inferiores o superiores pueden aumentar el riesgo de lesión del atleta durante el ejercicio pliométrico. Específicamente, los atletas con una historia de distensiones musculares, laxitud articular patológica o disfunción espinal —incluidas una disfunción o compresión de los discos vertebrales— deberán

adoptar precauciones cuando inicien un programa de entrenamiento pliométrico (24, 25, 32, 48).

TABLA 18.7 Pruebas de equilibrio

Prueba	Variaciones
En pie	Dos piernas
	Una pierna
Cuarto de sentadilla	Dos piernas
	Una pierna
Media sentadilla	Dos piernas
	Una pierna

Equipamiento e instalaciones

Además de la condición física y la salud de los participantes, el área y el equipamiento usados para los ejercicios pliométricos influyen significativamente en su seguridad.

Superficie de aterrizaje

Para prevenir lesiones, la superficie de aterrizaje para los ejercicios pliométricos con el hemicuerpo inferior debe poseer suficientes propiedades amortiguadoras. Un campo de hierba, un suelo entarimado o una colchoneta de goma son buenas superficies de elección (32). Las colchonetas de gimnasia excesivamente gruesas (de 15 cm o más de grosor) tal vez amplíen la fase de amortización y, por tanto, permitan un uso eficaz del reflejo de estiramiento. Las minicamas elásticas se suelen usar para iniciar el entrenamiento pliométrico y del equilibrio durante la rehabilitación (28). Aunque estos aparatos tal vez sean una necesaria introducción a la pliometría, sobre todo para atletas que se recuperan de una lesión musculoesquelética, las minicamas elásticas, al igual que las colchonetas gruesas, no son eficaces para el entrenamiento pliométrico de atletas lesionados, porque la fase de amortización se alarga mientras el atleta está en contacto con la superficie elástica.

Área de entrenamiento

La cantidad de espacio necesario depende del ejercicio. La mayoría de los ejercicios de carrera y botes requieren al menos 30 metros en línea recta, si bien algunos ejercicios llegan a precisar hasta 100 metros. Para la mayoría de los ejercicios con cajón, cayendo desde una altura y sin carrerilla, solo se necesita una superficie mínima, aunque el techo debe tener una altura de 3 a 4 metros para ser adecuado.

Equipamiento

Los cajones usados para los saltos deben ser robustos y la superficie superior tiene que ser antideslizante. La altura de los cajones oscila entre 15 y 107 centímetros, y la superficie de aterrizaje debe medir cuanto menos 46 × 61 centímetros (16). El cajón debe ser de madera robusta (p. ej., 1,9 cm de madera contrachapada) o de metal. Para reducir todavía más el riesgo de lesión, hay varias formas de conseguir que la superficie de aterrizaje sea antideslizante: pegando bandas antideslizantes, mezclando arena con la pintura usada para pintar el cajón, o fijando encima un suelo de goma (16).

Calzado adecuado

Los participantes deben usar un calzado con un buen apoyo del tobillo y el pie, con una buena estabilidad lateral y con una suela ancha y antideslizante (44). El calzado con una suela estrecha y escaso soporte superior (p. ej., zapatillas de atletismo) tal vez conlleven problemas de tobillo, especialmente con los movimientos laterales. El calzado con insuficiente soporte para el pie puede causar lesiones del arco plantar o de la zona sural o ambas, mientras que el calzado sin suficiente amortiguación tal vez cause daños en las articulaciones más proximales (p. ej., las articulaciones de la rodilla y la cadera).

Supervisión

Además de las consideraciones sobre seguridad ya expuestas, se necesita una estrecha monitorización de los atletas para garantizar la técnica correcta. El ejercicio pliométrico no es intrínsecamente peligroso cuando se practica correctamente; pero, como sucede con otras formas de entrenamiento, una técnica defectuosa tal vez predisponga innecesariamente a un atleta a las lesiones.

Caer desde un cajón y salto

Existe un límite sobre la altura máxima desde la que un salto de profundidad es eficaz y seguro. Una altura de 1,2 metros aportaría una sobrecarga significativa a los músculos, pero la resistencia tal vez sería excesiva para muchos atletas si quieren mantener una técnica correcta (40). Saltar desde esa altura aumenta la posibilidad de lesionarse; además, la cantidad de fuerza que hay que superar es tal que la fase de amortización se alarga y, por tanto, se escamotea el propósito del ejercicio. La altura recomendada para caer desde un cajón oscila entre 41 y 107 cm, siendo lo normal de 76 a 81 cm (4, 18, 26, 37, 38, 41). La altura del cajón desde el que caen atletas que pesan más de 100 kg debe ser 46 cm o menos.

Conclusión

El objetivo principal del entrenamiento pliométrico es aplicar fuerza con rapidez para aportar una sobrecarga a los músculos agonistas. Aunque se ha demostrado repetidamente que el ejercicio pliométrico aumenta la potencia muscular de quienes participan en un programa formal de entrenamiento (30, 47, 54, 55), los estudios de investigación todavía tienen que determinar si las mejoras son en parte atribuibles a las adaptaciones mecánicas y neurofisiológicas. El ejercicio pliométrico no se debe considerar un fin en sí mismo, sino parte de un programa general que incluya el entrenamiento de la fuerza, la velocidad, la capacidad aeróbica y la flexibilidad, así como una adecuada nutrición. Una vez que el atleta haya comenzado un programa adecuado de fuerza y acondicionamiento físico, puede que el entrenamiento pliométrico sea útil para desarrollar todavía más la potencia.

EJERCICIOS PLIOMÉTRICOS

Ejercicios pliométricos con el hemicuerpo inferior

SALTOS SIN DESPLAZAMIENTO

18.1 Salto vertical de tobillo con los pies juntos
18.2 Salto vertical de tobillo a una pierna
18.3 Sentadilla con salto vertical

18.4 Salto vertical y alcanzar
18.5 Salto vertical con las dos piernas y rodillas al pecho
18.6 Sentadilla elongada y salto vertical
18.7 Sentadilla elongada y salto vertical con pedaleo
18.8 Salto vertical a una pierna y rodilla al pecho
18.9 Salto de carpa

SALTOS DE PIE

18.10 Salto vertical con los pies juntos
18.11 Salto vertical a una pierna
18.12 Salto de obstáculo con los pies juntos
18.13 Salto de longitud sin carrerilla

SALTOS MÚLTIPLES

18.14 Salto de longitud con los pies juntos
18.15 Saltos en zigzag con los pies juntos
18.16 Salto de longitud a una pierna
18.17 Salto de valla con los pies juntos
18.18 Salto lateral de obstáculos con los pies juntos
18.19 Ejercicio de salto con cuatro obstáculos

BOTES

18.20 *Skipping*
18.21 *Skipping* de potencia
18.22 *Skipping* hacia atrás
18.23 *Skipping* lateral
18.24 Botes alternando piernas y brazos contralaterales
18.25 Botes alternando piernas y a dos brazos

EJERCICIOS CON CAJÓN

18.26 Despegue vertical a una pierna sobre un cajón
18.27 Despegue vertical a una pierna sobre un cajón y alternando piernas
18.28 Despegue vertical a una pierna apoyada de lado sobre un cajón
18.29 Despegue vertical con apoyo lateral sobre banco alternando piernas
18.30 Salto vertical sobre un cajón con los pies juntos
18.31 Salto vertical sobre un cajón a una pierna
18.32 Sentadilla con salto vertical sobre un cajón
18.33 Salto lateral sobre un cajón con los pies juntos
18.34 Caer desde un cajón y aterrizaje congelado

SALTOS DE PROFUNDIDAD

18.35 Caer desde un cajón y salto vertical con los pies juntos
18.36 Caer desde un cajón y salto vertical con los pies juntos a un segundo cajón
18.37 Caer desde un cajón, sentadilla y salto vertical con los pies juntos
18.38 Caer desde un cajón y movimiento lateral
18.39 Caer desde un cajón y salto de longitud sin carrerilla con los pies juntos
18.40 Caer desde un cajón, aterrizar y girar el cuerpo 180°
18.41 Caer desde un cajón sobre un pie y salto vertical con ese mismo pie

Ejercicios pliométricos con el hemicuerpo superior

LANZAMIENTOS

18.42 Pase de pecho
18.43 Lanzamiento con las dos manos por encima de la cabeza
18.44 Lanzamiento lateral a dos manos
18.45 Lanzamiento a una mano
18.46 Lanzamiento vertical de un balón medicinal dejado caer desde una altura

FLEXIONES PLIOMÉTRICAS DE BRAZOS

18.47 Flexiones de profundidad

Ejercicios pliométricos con el tronco

18.48 Flexiones de abdominales hasta 45°

EJERCICIOS PLIOMÉTRICOS CON EL HEMICUERPO INFERIOR

Saltos sin desplazamiento

18.1 SALTO VERTICAL DE TOBILLO CON LOS PIES JUNTOS

Nivel de intensidad: Bajo.

Dirección del salto: Vertical.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda con los pies separados la anchura de los hombros.
Acción de los brazos: Ninguna o los dos brazos se mueven al unísono.
Movimiento de preparación: Se empieza con un ligero contramovimiento.
Movimiento ascendente: Salto vertical con los pies juntos; el movimiento primario se centra en la articulación del tobillo.
Movimiento descendente: Se aterriza en la postura inicial e inmediatamente se repite el salto.
Nota: Este ejercicio se practicará con mínimo desplazamiento horizontal (adelante o atrás) o lateral.



18.2 SALTO VERTICAL DE TOBILLO A UNA PIERNA

Nivel de intensidad: Medio.
Dirección del salto: Vertical.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda sobre un pie. La pierna en el aire adopta una posición estática, con la rodilla flexionada

durante el ejercicio.
Acción de los brazos: Ninguna o los dos brazos se mueven al unísono.
Movimiento de preparación: Se empieza con un ligero contramovimiento.
Movimiento ascendente: Usando el pie de apoyo, damos un salto vertical cuyo movimiento primario se centra en la articulación del tobillo.
Movimiento descendente: Se aterriza en la postura inicial e inmediatamente se repite el salto usando la misma pierna.
Repetimos con la pierna contralateral después de un corto descanso.
Nota: Este ejercicio se debe practicar con mínimo desplazamiento horizontal (adelante o atrás) o lateral.



18.3 SENTADILLA CON SALTO VERTICAL

Nivel de intensidad: Bajo.
Dirección del salto: Vertical.
Postura inicial: Se adopta la postura de la sentadilla (los muslos flexionados y casi paralelos al suelo) con los pies separados la anchura de los hombros.

Entrecruzamos los dedos de las manos y las situamos detrás de la nuca.
Acción de los brazos: Ninguna.
Movimiento de preparación: Ninguno.
Movimiento ascendente: Salto explosivo hasta la máxima altura posible.
Movimiento descendente: Se aterriza en la postura de la sentadilla e inmediatamente se repite el salto.



18.4 SALTO VERTICAL Y ALCANZAR

Nivel de intensidad: Bajo.
Dirección del salto: Vertical.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda, con los pies separados la anchura de los hombros.
Acción de los brazos: Se mueven ambos brazos, que acaban por encima de la cabeza y totalmente extendidos.
Movimiento de preparación: Se empieza con un contramovimiento.

Movimiento ascendente: Salto explosivo para alcanzar un objeto o una diana.
Movimiento descendente: Se aterriza en la postura inicial e inmediatamente se repite el salto.
Nota: El énfasis se pone en la altura vertical con un mínimo tiempo intermedio entre saltos.
Nota: Este ejercicio se practicará con mínimo desplazamiento horizontal (adelante o atrás) o lateral.





18.5 SALTO VERTICAL CON LAS DOS PIERNAS Y RODILLAS AL PECHO

Nivel de intensidad: Medio.
Dirección del salto: Vertical.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda, con los pies

separados la anchura de los hombros.
Acción de los brazos: Se mueven ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Se empieza con un contramovimiento.
Movimiento ascendente: Salto vertical explosivo. Se llevan las rodillas al pecho, asiendo rápidamente las rodillas con ambas manos y soltándolas antes de tocar los pies el suelo.
Movimiento descendente: Se aterriza en la postura inicial e inmediatamente se repite el salto.



18.6 SENTADILLA ELONGADA Y SALTO VERTICAL

Nivel de intensidad: Medio.
Dirección del salto: Vertical.
Postura inicial: Se adopta la postura de una tijera, con una pierna adelantada (y la cadera y la rodilla flexionadas aproximadamente 90°) y la otra detrás de la línea media del cuerpo.
Acción de los brazos: Ninguna o se mueven ambos brazos al unísono.

Movimiento de preparación: Se empieza con un contramovimiento.
Movimiento ascendente: Salto vertical explosivo usando los brazos para impulsarse. Se intentará alcanzar la máxima altura y potencia.
Movimiento descendente: Al aterrizar, se mantiene la postura de la tijera (con la misma pierna adelantada) e inmediatamente se repite el salto.
Nota: Después de completar una tanda, se descansa y se repite cambiando la posición de las piernas.



18.7 SENTADILLA ELONGADA Y SALTO VERTICAL CON PEDALEO

Nivel de intensidad: Alto.
Dirección del salto: Vertical.
Postura inicial: Se adopta la postura de una tijera, con una pierna adelantada (y la cadera y la rodilla flexionadas aproximadamente 90°) y la otra detrás de la línea media del cuerpo.
Acción de los brazos: Ninguna o se mueven ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Se empieza con un contramovimiento.
Movimiento ascendente: Salto vertical explosivo usando los brazos para impulsarse. Durante el instante que el cuerpo está en el aire, cambiamos la posición de las piernas. Se intentará alcanzar la máxima altura y potencia.
Movimiento descendente: Al aterrizar, se mantiene la postura de la tijera (con la pierna contralateral adelantada) e inmediatamente se repite el salto.

Nota: Hay que asegurarse de que la tijera no sea demasiado profunda (como en la fotografía), ya que el CEA tal vez no sea tan eficaz para contribuir en los saltos subsiguientes.



18.8 SALTO VERTICAL A UNA PIERNA Y RODILLA AL PECHO

Nivel de intensidad: Alto.
Dirección del salto: Vertical.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda sobre un pie. La pierna en el aire adopta una posición estática, con la rodilla flexionada durante el ejercicio.
Acción de los brazos: Se mueven ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Se empieza con un contramovimiento.
Movimiento ascendente: Salto vertical explosivo. Se lleva al pecho la rodilla de la pierna del salto, asiéndola rápidamente con ambas manos y soltándola antes de tocar los pies el suelo.
Movimiento descendente: Se aterriza en la postura inicial e inmediatamente se repite el salto usando la misma pierna.
Se repite con la pierna contralateral después de un breve descanso.




18.9 SALTO DE CARPA

Nivel de intensidad: Alto.
Dirección del salto: Vertical.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda sobre un pie. La pierna en el aire adopta una posición estática, con la rodilla flexionada durante el ejercicio.
Acción de los brazos: Se mueven ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Se empieza con un contramovimiento.
Movimiento ascendente: Salto vertical explosivo. Manteniendo las piernas rectas y juntas, se intenta levantarlas hacia delante tratando de tocar las puntas de los pies con las manos.
Movimiento descendente: Se aterriza en la postura inicial e inmediatamente se repite el salto.




Saltos de pie

18.10 SALTO VERTICAL CON LOS PIES JUNTOS

Nivel de intensidad: Bajo.
Dirección del salto: Vertical.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda, con los pies separados la anchura de los hombros.
Acción de los brazos: Se mueven ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Se empieza con un contramovimiento.
Movimiento ascendente: Salto vertical explosivo, impulsándose con los brazos, que se levantan y tratan de alcanzar una diana.
Movimiento descendente: Se aterriza en la postura inicial e inmediatamente se repite el salto. Se permite un tiempo de recuperación entre saltos.



18.11 SALTO VERTICAL A UNA PIERNA

Nivel de intensidad: Alto.
Dirección del salto: Vertical.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda sobre una sola pierna. La pierna en el aire adopta una posición estática, con la rodilla flexionada durante el ejercicio.
Acción de los brazos: Se mueven ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Se empieza con un contramovimiento.
Movimiento ascendente: Salto vertical explosivo, impulsándose con los

brazos, que se levantan y tratan de alcanzar una diana.
Movimiento descendente: Se aterriza en la postura inicial e inmediatamente se repite el salto usando la misma pierna. Se permite un tiempo de recuperación entre saltos.
Se repite con la pierna contralateral después de un breve descanso.



18.12 SALTO DE OBSTÁCULO CON LOS PIES JUNTOS

Nivel de intensidad: Medio.
Dirección del salto: Horizontal y vertical.
Equipamiento: Un obstáculo, como un cono o una minivalla.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda, con los pies separados la anchura de los hombros.

Acción de los brazos: Se mueven ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Se empieza con un contramovimiento.
Movimiento ascendente: Salto sobre un obstáculo con ambas piernas, recurriendo sobre todo a la flexión de las caderas y las rodillas para superar el obstáculo. Se mantienen las rodillas y los pies juntos sin desviación lateral.
Movimiento descendente: Se aterriza en la postura inicial y se repite el salto. Se permite un tiempo de recuperación entre saltos.
Nota: La altura del obstáculo se va incrementando progresivamente (p. ej., de un cono a una valla).



18.13 SALTO DE LONGITUD SIN CARRERILLA

Nivel de intensidad: Bajo.
Dirección del salto: Horizontal.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda, con los pies separados la anchura de los hombros.
Acción de los brazos: Se mueven ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Se empieza con un contramovimiento.
Movimiento ascendente: Salto explosivo hacia arriba y adelante, impulsándose con los brazos, con el objetivo de salvar la máxima distancia horizontal.
Movimiento descendente: Se aterriza sobre ambos pies y se repite el salto. Se permite un tiempo de recuperación entre saltos.



Saltos múltiples

18.14 SALTO DE LONGITUD CON LOS PIES JUNTOS

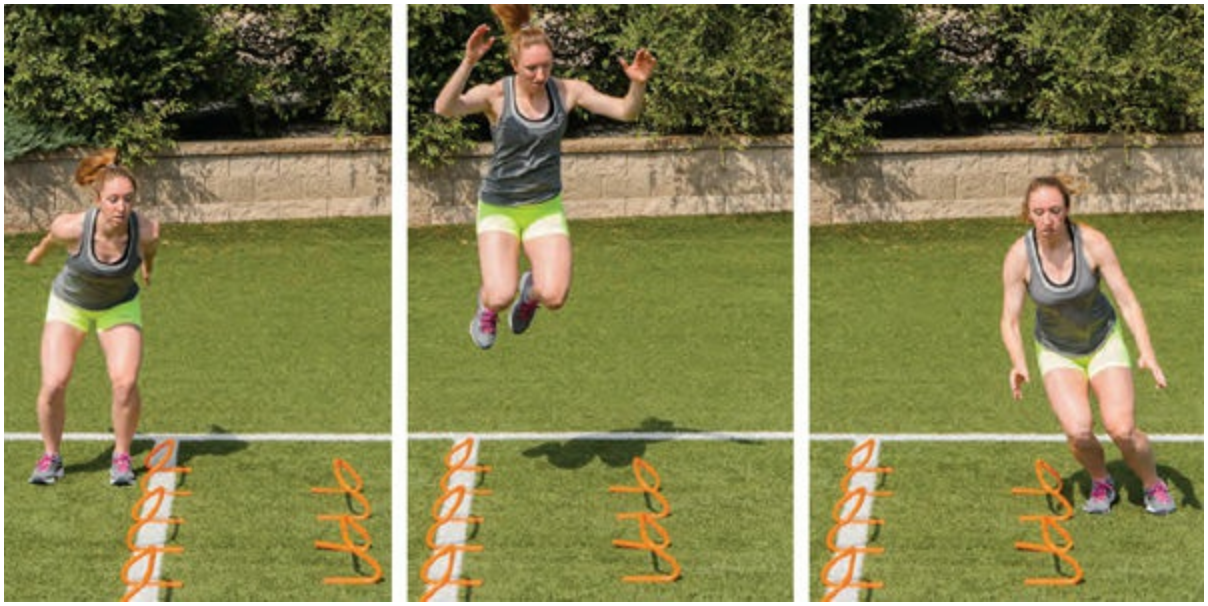
Nivel de intensidad: Medio.
Dirección del salto: Horizontal y vertical.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda, con los pies separados la anchura de los hombros.
Acción de los brazos: Se mueven ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Se empieza con un contramovimiento.
Movimiento ascendente: Salto explosivo hacia arriba y adelante, impulsándose con los brazos, con el objetivo de salvar la máxima distancia horizontal.
Movimiento descendente: Se aterriza sobre ambos pies y se repite el salto. Se permite un tiempo de recuperación entre saltos.



18.15 SALTOS EN ZIGZAG CON LOS PIES JUNTOS

Nivel de intensidad: Alto.
Dirección del salto: Diagonal.
Equipamiento: Colocamos 10 minivallas separadas 45-60 cm siguiendo un patrón en zigzag.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda, con los pies separados la anchura de los hombros. Nos situamos de perfil junto a la primera valla. Los codos se deben flexionar 90° y situarse junto a los costados del cuerpo.
Acción de los brazos: Se mueven ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Se empieza con un contramovimiento.
Movimiento ascendente: Salto lateral desde el exterior de la primera valla hasta el lateral de la segunda valla, manteniendo los hombros perpendiculares a una línea imaginaria que atraviesa el centro de todas las vallas.
Movimiento descendente: Nada más aterrizar al lado de la segunda valla, se invierte la dirección y se salta en diagonal sobre la segunda valla hasta el

lateral de la tercera valla.
Se prosigue saltando en zigzag todas las vallas.
Nota: Para una versión menos intensa de este ejercicio, se colocan las vallas en línea recta y se salta una valla cada vez. La intensidad del salto en zigzag con los pies juntos se puede incrementar practicando los saltos a una pierna.



18.16 SALTO DE LONGITUD A UNA PIERNA

Nivel de intensidad: Alto.
Dirección del salto: Horizontal y vertical.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda sobre una sola pierna. La pierna en el aire está en posición estática, con la rodilla flexionada durante el ejercicio.
Acción de los brazos: Se mueven ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Se empieza con un contramovimiento.
Movimiento ascendente: Salto explosivo hacia delante, impulsándose con los brazos.
Movimiento descendente: Se aterriza en la postura inicial e inmediatamente se repite el salto usando la misma pierna.
Se repite con la pierna contralateral después de un breve descanso.



18.17 SALTO DE VALLA CON LOS PIES JUNTOS

Nivel de intensidad: Medio.
Dirección del salto: Horizontal y vertical.
Equipamiento: Dos obstáculos, como dos conos o dos vallas.
Postura inicial: De cara al primer obstáculo, se adopta una postura erguida y cómoda, con los pies separados la anchura de los hombros.
Acción de los brazos: Se mueven ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Se empieza con un contramovimiento.
Movimiento ascendente: Salto del primer obstáculo con los pies juntos, recurriendo sobre todo a la flexión de las caderas y las rodillas para superar el obstáculo. Se mantienen las rodillas y los pies juntos sin desviación lateral.
Movimiento descendente: Se aterriza en la postura inicial y se repite el salto sobre el segundo obstáculo.
Nota: El nivel de intensidad del salto del obstáculo se incrementa de medio a alto aumentando progresivamente la altura del obstáculo (p. ej., desde un cono hasta una valla) o practicando los saltos con una sola pierna.



18.18 SALTO LATERAL DE OBSTÁCULOS CON LOS PIES JUNTOS

Nivel de intensidad: Medio.
Dirección del salto: Lateral y vertical.
Equipamiento: Un obstáculo como un cono o valla.
Postura inicial: Con el obstáculo a un lado, se adopta una postura erguida y cómoda, con los pies separados la anchura de los hombros.
Acción de los brazos: Se mueven ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Se empieza con un contramovimiento.
Movimiento ascendente: Salto del obstáculo con los pies juntos, recurriendo sobre todo a la flexión de las caderas y las rodillas para superar el obstáculo. Se mantienen rodillas y pies juntos.
Movimiento descendente: Se aterriza al otro lado del obstáculo e inmediatamente se repite el salto al lado inicial.
Nota: El nivel de intensidad del salto del obstáculo se incrementa de medio a alto elevando progresivamente la altura del obstáculo (p. ej., desde un cono hasta una valla) o practicando los saltos con una sola pierna.



18.19 EJERCICIO DE SALTO CON CUATRO OBSTÁCULOS

Nivel de intensidad: Alto.
Dirección del salto: Lateral y vertical.
Equipamiento: Cuatro minivallas: dos pares de vallas. Cada par de vallas se separan 30 cm. Cada pareja está separada 46 cm.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda sobre el pie derecho; la línea de cuatro vallas se situará a la izquierda del atleta. La pierna en el aire adopta una posición estática, con la rodilla flexionada durante el ejercicio.
Acción de los brazos: Se mueven ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Se empieza con un contramovimiento.



Movimientos:

1. Salto explosivo a la izquierda sobre el primer obstáculo con el pie derecho, ayudándose con ambos brazos.
2. Se aterriza sobre el pie derecho e inmediatamente se repite sobre el siguiente obstáculo usando la misma pierna.
3. Se aterriza sobre el pie derecho e inmediatamente se repite el salto sobre las siguientes **dos** vallas usando la misma pierna.
4. Se aterriza sobre el pie izquierdo e inmediatamente se salta sobre la primera valla con el pie izquierdo, usando ambas piernas.
5. Se aterriza sobre el pie izquierdo e inmediatamente se repite el salto sobre la siguiente valla, usando la misma pierna.
6. Se aterriza sobre el pie izquierdo e inmediatamente se repite el salto sobre las siguientes **dos** vallas usando la misma pierna.
7. Se aterriza sobre el pie derecho.

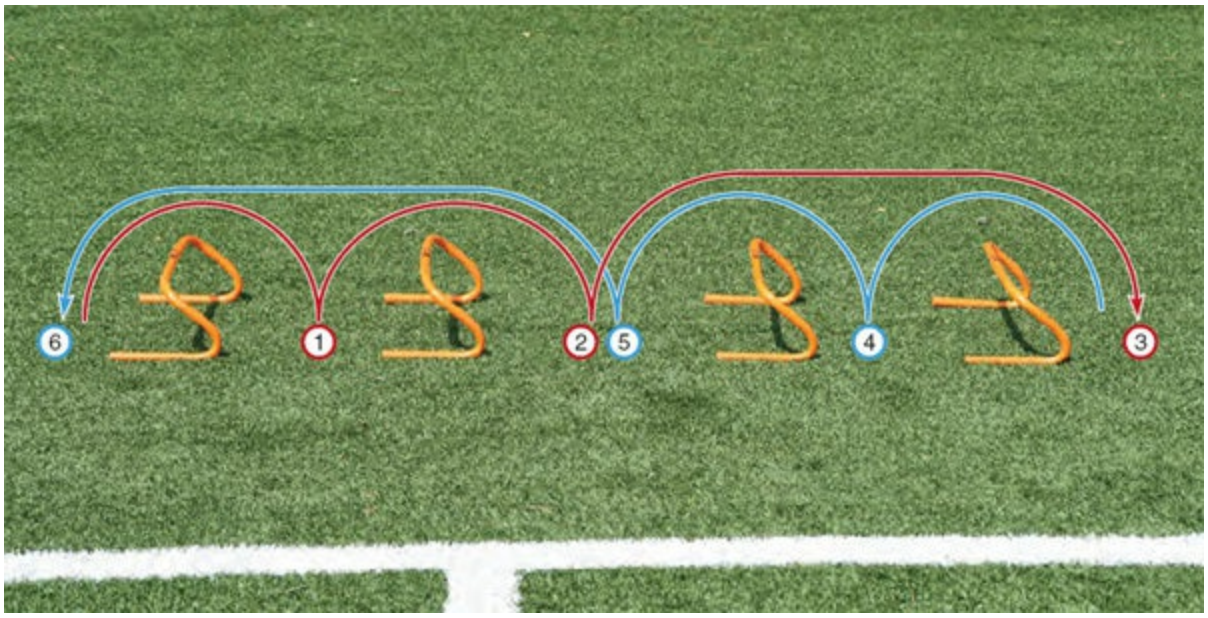


FIGURA 18.5 Disposición de las vallas y patrón de movimiento del ejercicio con cuatro obstáculos.

Botes

18.20 *SKIPPING*

Nivel de intensidad: Bajo.
Dirección del salto: Horizontal y vertical.
Postura inicial: Se levanta una pierna hasta alcanzar aproximadamente 90° de flexión de cadera y rodilla.
Acción de los brazos: Recíproca (mientras una pierna se levanta, también lo hace el brazo contralateral).
Movimiento de preparación: Se empieza con el contramovimiento de una pierna.
Movimiento ascendente: Salto hacia arriba y adelante con una pierna. La pierna contralateral se debe mantener flexionada en la posición inicial hasta el aterrizaje.
Movimiento descendente: Se aterriza en la postura inicial sobre la misma pierna. Se repite inmediatamente el ejercicio con la pierna contralateral.



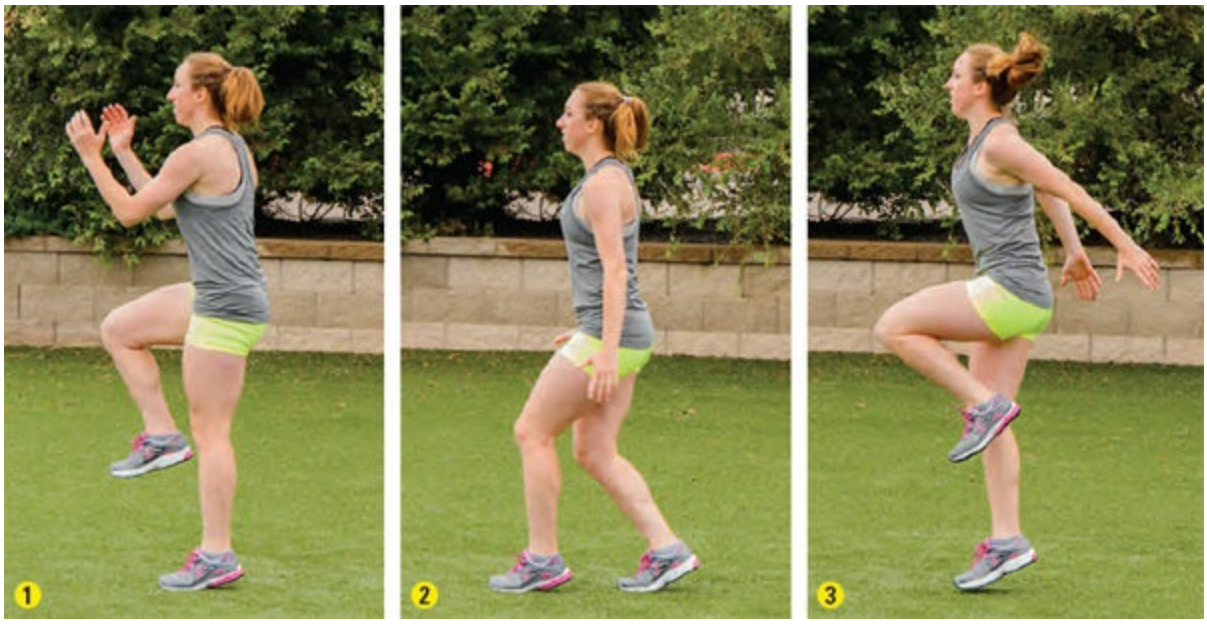
18.21 *SKIPPING* DE POTENCIA

Nivel de intensidad: Bajo.
Dirección del salto: Vertical y horizontal.
Postura inicial: Se levanta una pierna hasta alcanzar aproximadamente 90° de flexión de cadera y rodilla.
Acción de los brazos: Ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Se empieza con el contramovimiento de una pierna.
Movimiento ascendente: Salto hacia arriba y adelante con una pierna. La pierna contralateral flexionada se mueve hacia arriba aumentando la flexión de la rodilla y la cadera durante el salto. Se usan ambos brazos para impulsarse durante el movimiento ascendente.
Movimiento descendente: Se aterriza en la postura inicial sobre la misma pierna. Se repite inmediatamente el ejercicio con la pierna contralateral.
Nota: El énfasis se pone en la eficacia del ejercicio de *skipping*.



18.22 *SKIPPING* HACIA ATRÁS

Nivel de intensidad: Bajo.
Dirección del salto: Hacia atrás, horizontal y vertical.
Postura inicial: Se levanta una pierna hasta alcanzar aproximadamente 90° de flexión de cadera y rodilla.
Acción de los brazos: Ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Se empieza con el contramovimiento de una pierna.
Movimiento ascendente: Salto hacia atrás con una pierna, mientras la pierna en el aire flexiona la cadera y la rodilla hasta alcanzar aproximadamente 90° de flexión. Se usan ambos brazos para impulsarse durante el movimiento.
Movimiento descendente: Se aterriza en la postura inicial sobre la misma pierna. Se repite inmediatamente el ejercicio con la pierna contralateral.



18.23 *SKIPPING* LATERAL

Nivel de intensidad: Medio.
Dirección del salto: Vertical y lateral.
Postura inicial: Se levanta una pierna hasta alcanzar aproximadamente 90° de flexión de cadera y rodilla.
Acción de los brazos: Recíproca (mientras una pierna se levanta, se eleva el brazo contralateral).
Movimiento de preparación: Se empieza con el contramovimiento de una pierna.
Movimiento ascendente: Salto vertical hacia un lado con una pierna. La pierna contralateral se mantiene flexionada en el aire hasta el aterrizaje.
Movimiento descendente: Se aterriza en la postura inicial sobre la misma pierna. Se repite inmediatamente el ejercicio con la pierna contralateral.



18.24 BOTES ALTERNANDO PIERNAS Y BRAZOS CONTRALATERALES

Nivel de intensidad: Medio.
Dirección del salto: Horizontal y vertical.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda, con los pies separados la anchura de los hombros.
Acción de los brazos: Un brazo cada vez.
Movimiento de preparación: Se trota a un ritmo cómodo; se empieza el ejercicio adelantando el pie izquierdo.
Movimiento ascendente: Se inicia el despegue del salto con el pie izquierdo al entrar en contacto con el suelo. Durante el despegue, se adelanta la pierna derecha flexionando el muslo hasta quedar casi paralelo al suelo y la rodilla flexionada 90°. Durante esta fase del salto, el brazo derecho se extiende hacia delante.
Movimiento descendente: Se aterriza sobre el pie derecho y de inmediato se repite la secuencia aterrizando sobre el pie contralateral.
Nota: Un bote no es sino la exageración del movimiento de las piernas al correr; el objetivo es cubrir la máxima distancia posible en cada zancada.



18.25 BOTES ALTERNANDO PIERNAS Y A DOS BRAZOS

Nivel de intensidad: Medio.
Dirección del salto: Horizontal y vertical.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda, con los pies separados la anchura de los hombros.
Acción de los brazos: Ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Se trota a un ritmo cómodo; se empieza el ejercicio adelantando el pie izquierdo.
Movimiento ascendente: Se inicia el despegue del salto con el pie izquierdo al entrar en contacto con el suelo. Durante el despegue, se adelanta la pierna derecha flexionando el muslo hasta quedar casi paralelo al suelo y la rodilla flexionada 90°.
Durante esta fase del salto se extienden ambos brazos hacia delante.
Movimiento descendente: Se aterriza sobre el pie derecho y de inmediato se repite la secuencia aterrizando sobre el pie contralateral.
Nota: Un bote no es sino la exageración del movimiento de las piernas al correr; el objetivo es cubrir la máxima distancia posible en cada zancada.



Ejercicios con cajón

18.26 DESPEGUE VERTICAL A UNA PIERNA SOBRE UN CAJÓN

Nivel de intensidad: Bajo.
Dirección del salto: Vertical.
Equipamiento: Cajón pliométrico, de 15 a 46 cm de altura.
Postura inicial: De pie mirando el cajón con un pie en el suelo y el otro sobre el cajón. El talón del pie situado sobre el cajón debe estar próximo al borde.
Acción de los brazos: Ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Ninguno.
Movimiento ascendente: Salto vertical usando el pie situado sobre el cajón para el despegue.
Movimiento descendente: Se aterriza con el mismo pie sobre el cajón; este pie debe aterrizar justo antes que el pie que aterriza en el suelo. De inmediato se repite el movimiento.
Nota: La intensidad se incrementa aumentando la altura del cajón. Se empieza con una altura de 15 cm.



18.27 DESPEGUE VERTICAL A UNA PIERNA SOBRE UN CAJÓN Y ALTERNANDO PIERNAS

Nivel de intensidad: Bajo.
Dirección del salto: Vertical.
Equipamiento: Cajón pliométrico, de 15 a 46 cm de altura.
Postura inicial: De pie mirando el cajón con un pie en el suelo y el otro sobre el cajón. El talón del pie situado sobre el cajón debe estar próximo al borde del mismo.
Acción de los brazos: Ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Ninguno.
Movimiento ascendente: Salto vertical usando el pie situado sobre el cajón para el despegue.
Movimiento descendente: Se aterriza con el pie contralateral sobre el cajón; este pie debe aterrizar justo antes que el pie que aterriza en el suelo. De inmediato se repite el movimiento, invirtiendo el papel de los pies en cada repetición.
Nota: La intensidad se incrementa aumentando la altura del cajón. Se empieza con una altura de 15 cm.



18.28 DESPEGUE VERTICAL A UNA PIERNA APOYADA DE LADO SOBRE UN CAJÓN

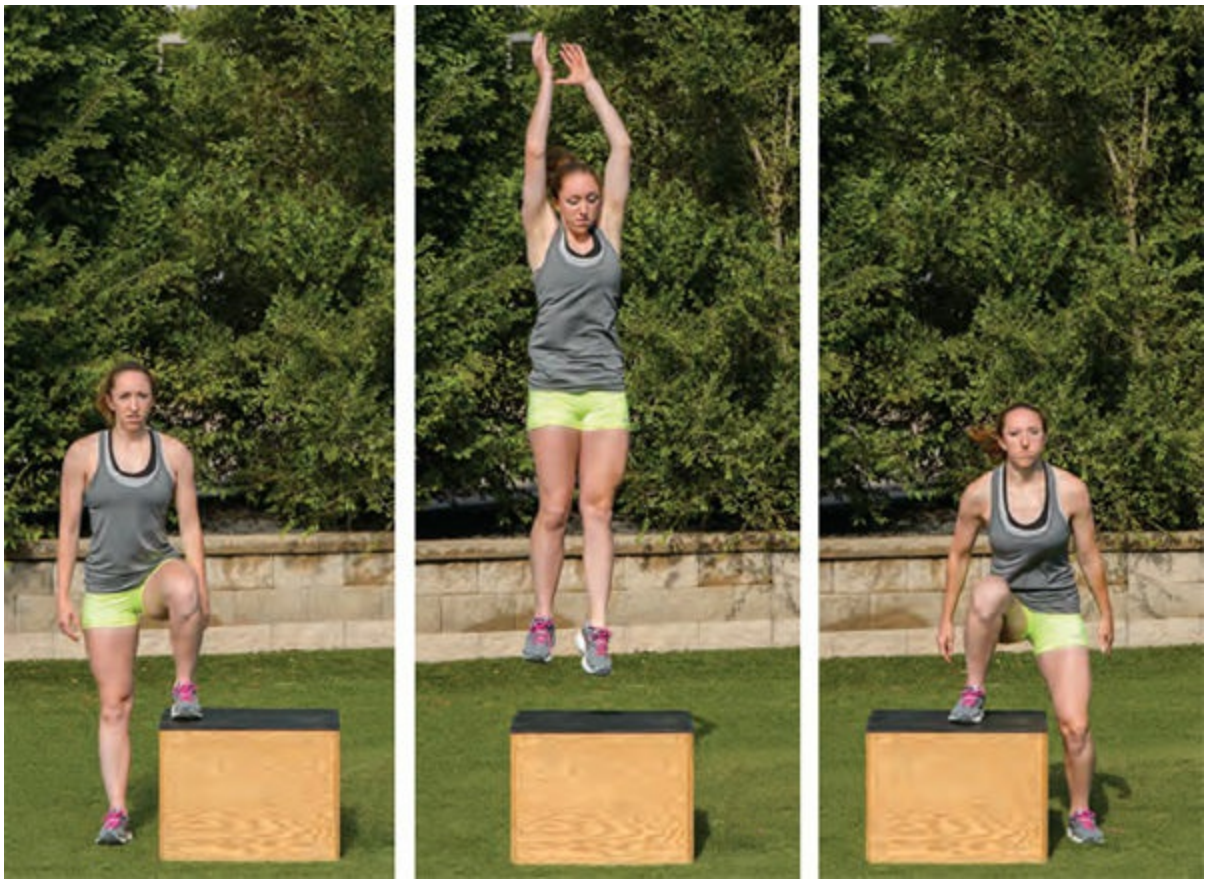
Nivel de intensidad: Bajo.
Dirección del salto: Vertical.
Equipamiento: Cajón pliométrico, de 15 a 46 cm de altura.
Postura inicial: De pie a un lado del cajón con un pie en el suelo y el otro sobre el cajón. El interior del pie situado encima del cajón debe estar próximo al borde.
Acción de los brazos: Ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Ninguno.
Movimiento ascendente: Salto vertical usando el pie situado sobre el cajón para el despegue.
Movimiento descendente: Se aterriza con el mismo pie sobre el cajón; este pie debe aterrizar justo antes que el pie que aterriza en el suelo. De inmediato se repite el movimiento.
Nota: La intensidad se incrementa aumentando la altura del cajón. Se empieza con una altura de 15 cm.



18.29 DESPEGUE VERTICAL CON APOYO LATERAL SOBRE BANCO ALTERNANDO PIERNAS

Nivel de intensidad: Medio.
Dirección del salto: Vertical.
Equipamiento: Cajón pliométrico, de 15 a 46 cm de altura.
Postura inicial: De pie a un lado del cajón, con un pie en el suelo y el otro sobre el cajón. El interior del pie situado encima del cajón debe estar próximo al borde.
Acción de los brazos: Ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Ninguno.
Movimiento ascendente: Salto vertical por encima del cajón usando el pie situado sobre el mismo para el despegue.
Movimiento descendente: Se aterriza con el pie contralateral sobre el cajón pero en su otro extremo; este pie debe aterrizar justo antes que el pie que

aterriza en el suelo. De inmediato se repite el movimiento hacia el lado opuesto.
Nota: La intensidad se incrementa aumentando la altura del cajón. Se empieza con una altura de 15 cm.



18.30 SALTO VERTICAL SOBRE UN CAJÓN CON LOS PIES JUNTOS

Nivel de intensidad: Bajo.
Dirección del salto: Vertical y ligeramente horizontal.
Equipamiento: Cajón pliométrico, de 15 a 107 cm de altura.
Postura inicial: De pie y mirando el cajón, se adopta una postura erguida y cómoda, con los pies separados la anchura de los hombros.
Acción de los brazos: Ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Se empieza con un contramovimiento.
Movimiento ascendente: Salto vertical encima del cajón usando ambas piernas.

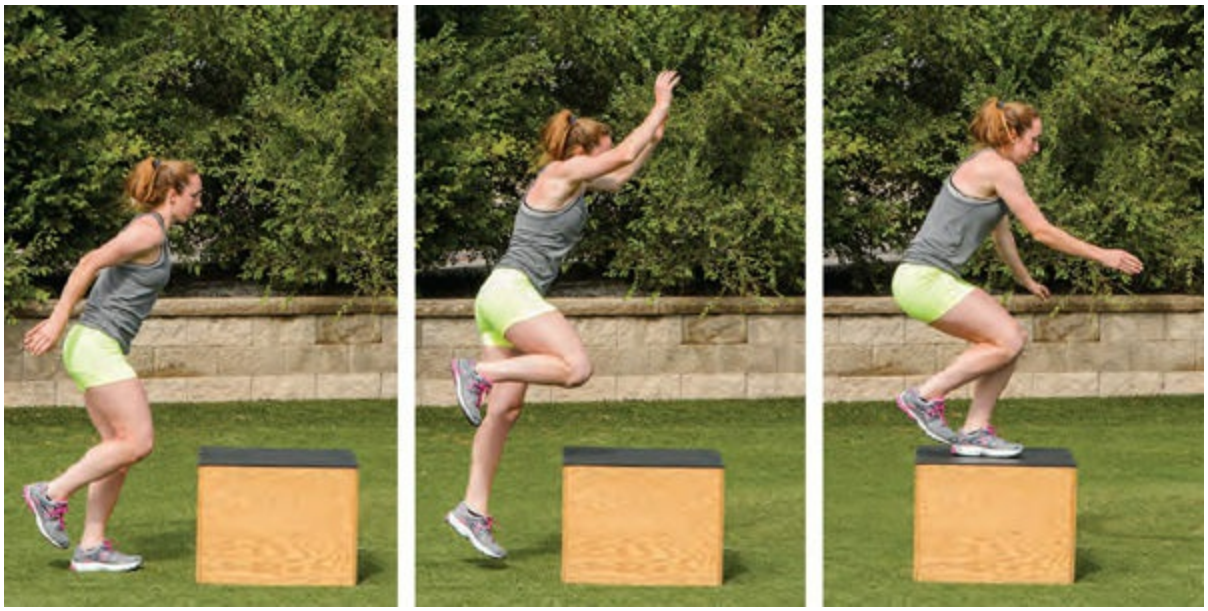
Movimiento descendente: Se aterriza sobre ambos pies adoptando una media sentadilla, se baja del cajón y se repite.
Nota: La intensidad se incrementa aumentando la altura del cajón. Se empieza con una altura de 15 cm.



18.31 SALTO VERTICAL SOBRE UN CAJÓN A UNA PIERNA

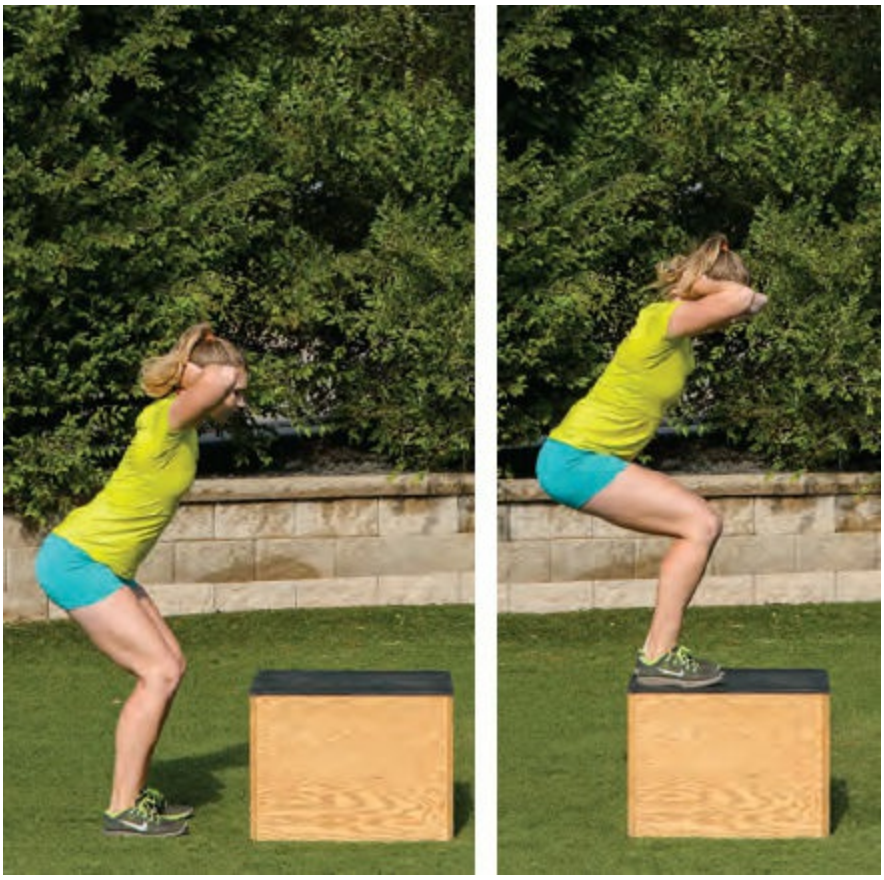
Nivel de intensidad: Alto.
Dirección del salto: Vertical y ligeramente horizontal.
Equipamiento: Cajón pliométrico, de 15 a 107 cm de altura.
Postura inicial: De pie y mirando el cajón, se adopta una postura erguida y cómoda sobre un solo pie. La pierna en el aire se mantiene en una posición estática, con la rodilla flexionada durante el ejercicio.
Acción de los brazos: Ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Se empieza con un contramovimiento.
Movimiento ascendente: Salto vertical encima del cajón usando una pierna.
Movimiento descendente: Se aterriza sobre el mismo pie usado para saltar y

se adopta una media sentadilla. Se baja del cajón y se repite.
Nota La intensidad se incrementa aumentando la altura del cajón. Se empieza con una altura de 15 cm.



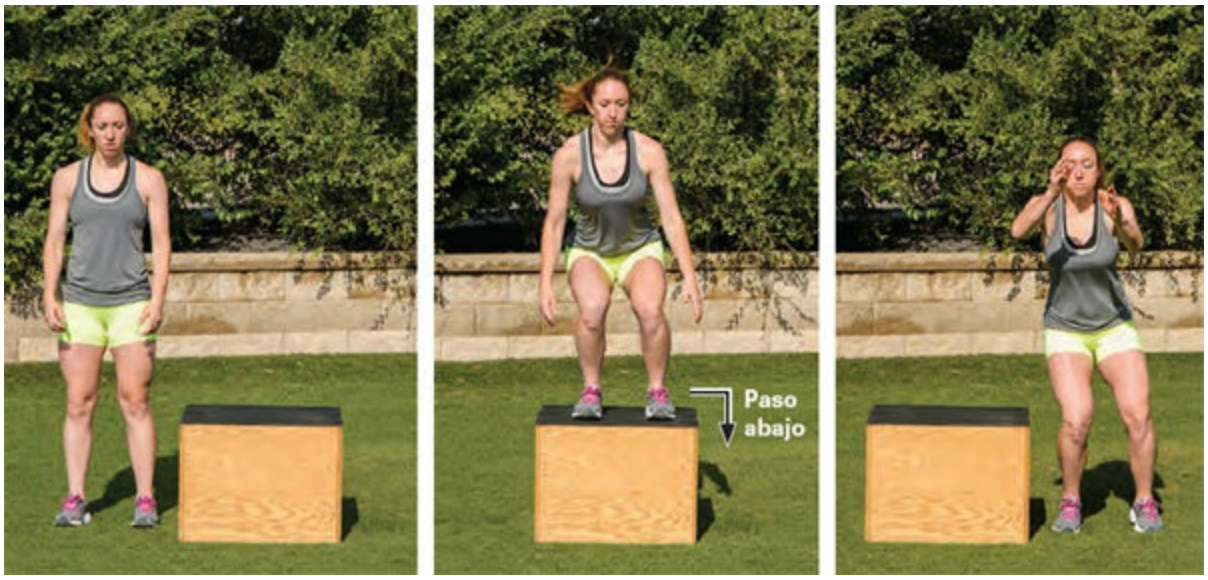
18.32 SENTADILLA CON SALTO VERTICAL SOBRE UN CAJÓN

Nivel de intensidad: Medio.
Dirección del salto: Vertical y ligeramente horizontal.
Equipamiento: Cajón pliométrico, de 15 a 107 cm de altura.
Postura inicial: De pie y mirando el cajón, con las manos entrelazadas y detrás de la nuca, se adopta una postura erguida y cómoda con los pies separados la anchura de los hombros.
Acción de los brazos: Ninguna.
Movimiento de preparación: Se empieza con un contramovimiento.
Movimiento ascendente: Salto vertical encima del cajón usando ambas piernas.
Movimiento descendente: Se aterriza sobre ambos pies realizando una media sentadilla, se baja del cajón y se repite.
Nota: La intensidad se incrementa aumentando la altura del cajón. Se empieza con una altura de 15 cm.



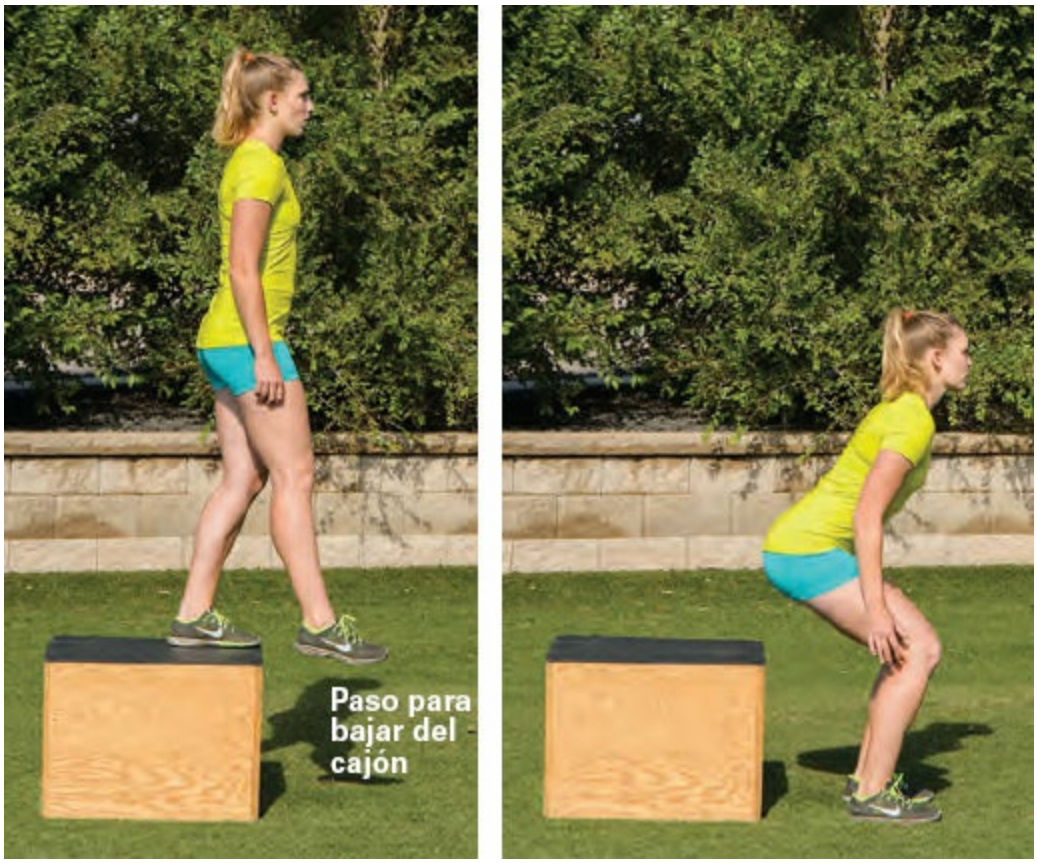
18.33 SALTO LATERAL SOBRE UN CAJÓN CON LOS PIES JUNTOS

Nivel de intensidad: Medio.
Dirección del salto: Vertical y ligeramente horizontal.
Equipamiento: Cajón pliométrico, de 15 a 107 cm de altura.
Postura inicial: De pie a un lado del cajón, se adopta una postura erguida y cómoda con los pies separados la anchura de los hombros.
Acción de los brazos: Ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Se empieza con un contramovimiento.
Movimiento ascendente: Salto vertical encima del cajón usando ambas piernas.
Movimiento descendente: Se aterriza sobre ambos pies realizando una media sentadilla, se baja del cajón y se repite en dirección opuesta.
Nota: La intensidad se incrementa aumentando la altura del cajón. Se empieza con una altura de 15 cm.



18.34 CAER DESDE UN CAJÓN Y ATERRIZAJE CONGELADO

Nivel de intensidad: Medio.
Dirección del salto: Vertical.
Equipamiento: Cajón pliométrico, de 30 a 107 cm de altura.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda encima del cajón, con los pies separados la anchura de los hombros. Las puntas de los pies deben estar próximas al borde del cajón.
Acción de los brazos: Ninguna.
Movimiento de preparación: Se da un paso para bajar del cajón.
Movimiento descendente: Se aterriza en el suelo sobre ambos pies, amortiguando rápidamente el impacto del aterrizaje.
Se sube de nuevo al cajón y repite.
Nota: La intensidad se incrementa aumentando la altura del cajón. Se empieza con una altura de 30 cm.



SALTOS DE PROFUNDIDAD

18.35 CAER DESDE UN CAJÓN Y SALTO VERTICAL CON LOS PIES JUNTOS

Nivel de intensidad: Alto.
Dirección del salto: Vertical.
Equipamiento: Cajón pliométrico, de 30 a 107 cm de altura.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda encima del cajón, con los pies separados la anchura de los hombros. Las puntas de los pies deben estar próximas al borde del cajón
Acción de los brazos: Ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Se da un paso para bajar del cajón.
Movimiento descendente: Se aterriza en el suelo sobre ambos pies.
Movimiento ascendente: Al aterrizar, inmediatamente se da un salto vertical lo más alto posible.

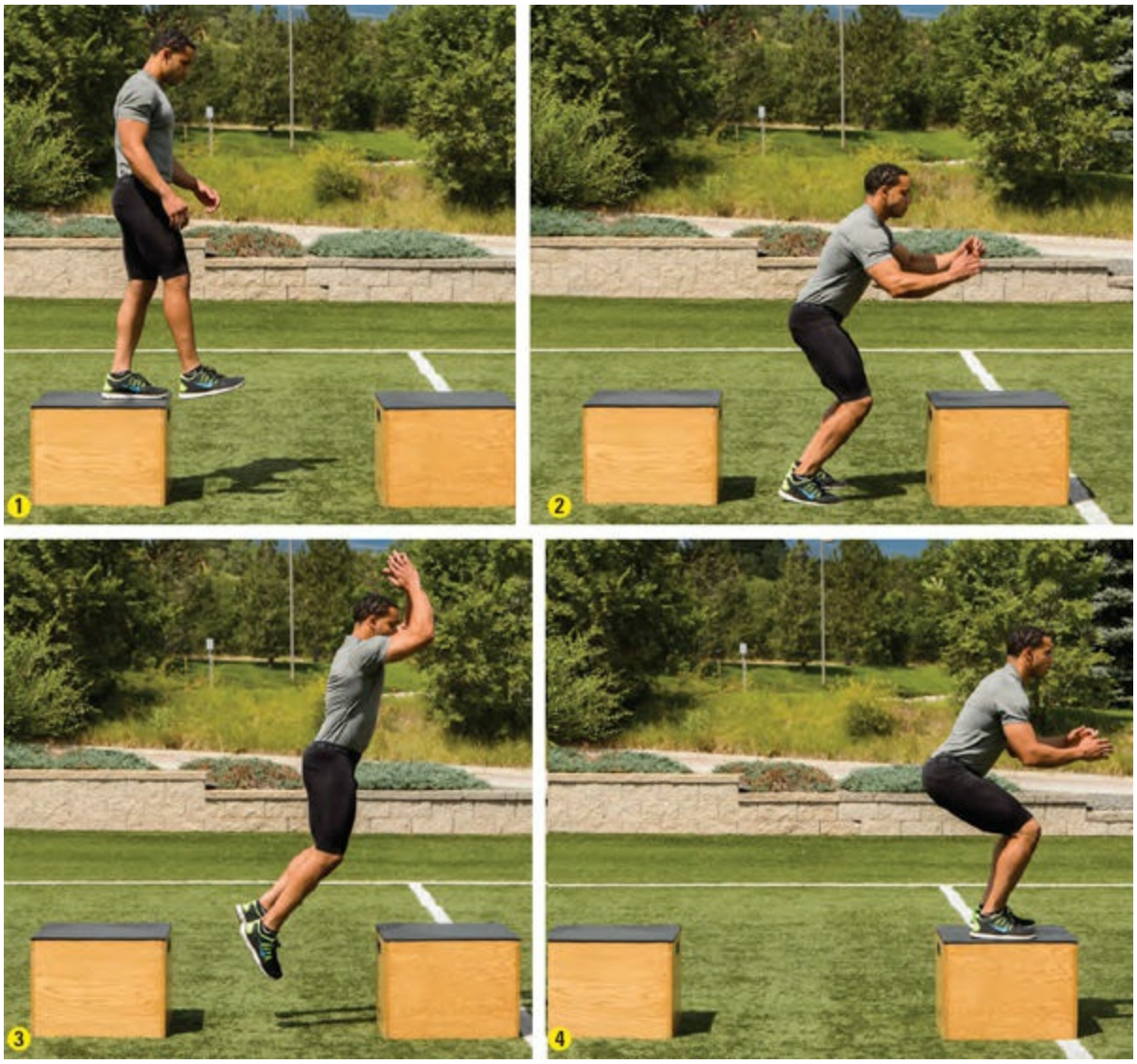
Nota: Al bajar del cajón, se hace sin impulso alguno. No hay que saltar ni bajar el centro de gravedad del cuerpo al dar el paso, ya que esos ajustes cambiarían la altura desde la que se practica el ejercicio.
Nota: El tiempo que el atleta permanece en el suelo será el mínimo posible. La intensidad se incrementa aumentando la altura del cajón. Se empieza con una altura de 30 cm.
Nota: Al aterrizar, el énfasis se pone en el salto vertical, con el mínimo desplazamiento horizontal. La tercera fotografía muestra un movimiento excesivo hacia delante.



18.36 CAER DESDE UN CAJÓN Y SALTO VERTICAL CON LOS PIES JUNTOS A UN SEGUNDO CAJÓN

Nivel de intensidad: Alto.
Dirección del salto: Vertical y horizontal.
Equipamiento: Cajón pliométrico, de 30 a 107 cm de altura.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda encima del cajón, con los pies separados la anchura de los hombros. Las puntas de los pies deben estar próximas al borde del cajón
Acción de los brazos: Ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Se da un paso para bajar del cajón.

Movimiento descendente: Se aterriza en el suelo sobre ambos pies.
Movimiento ascendente: Al aterrizar, se salta inmediatamente sobre el segundo cajón.
Nota: Al bajar del cajón, se hace sin impulso alguno. No hay que saltar ni bajar el centro de gravedad del cuerpo al dar el paso, ya que esos ajustes cambiarían la altura desde la que se practica el ejercicio.
Nota: El tiempo que el atleta permanece en el suelo será el mínimo posible. La intensidad se incrementa aumentando la altura del cajón. Se empieza con una altura de 30 cm.
Nota: La distancia entre los cajones depende de la experiencia y la capacidad; cuanto mayor sea la distancia entre los cajones, mayor será la intensidad del salto. Se empieza con los cajones separados 61 cm.



18.37 CAER DESDE UN CAJÓN, SENTADILLA Y SALTO VERTICAL CON LOS PIES JUNTOS

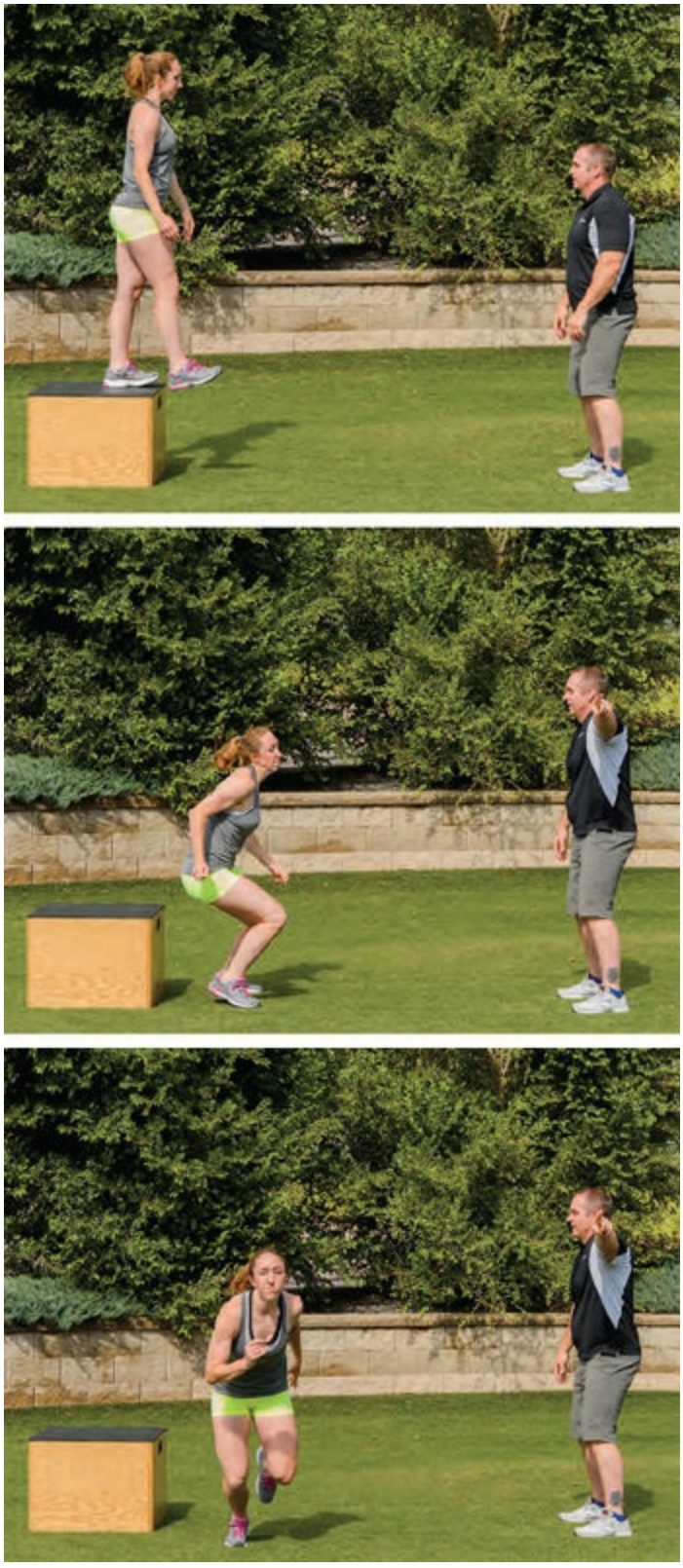
Nivel de intensidad: Alto.
Dirección del salto: Vertical.
Equipamiento: Cajón pliométrico, de 30 a 107 cm de altura.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda encima del cajón, con los pies separados la anchura de los hombros. Las puntas de los pies deben estar próximas al borde del cajón
Acción de los brazos: Ambos brazos al unísono o ninguna.
Movimiento de preparación: Se da un paso para bajar del cajón.
Movimiento descendente: Se aterriza en el suelo sobre ambos pies realizando una sentadilla (90° de flexión de caderas y rodillas). (El saltador de la segunda fotografía debería asumir una mayor flexión de caderas y rodillas).
Movimiento ascendente: Al aterrizar, inmediatamente se da un salto vertical lo más alto posible; se aterriza adoptando la misma sentadilla.
Nota: Al bajar del cajón, se hace sin impulso alguno. No hay que saltar ni bajar el centro de gravedad del cuerpo al dar el paso, ya que esos ajustes cambiarían la altura desde la que se practica el ejercicio.
Nota: El tiempo que el atleta permanece en el suelo será el mínimo posible. La intensidad se incrementa aumentando la altura del cajón. Se empieza con una altura de 30 cm.
Nota: Al aterrizar, el énfasis se pone en el salto vertical, con el mínimo desplazamiento horizontal.



18.38 CAER DESDE UN CAJÓN Y MOVIMIENTO LATERAL

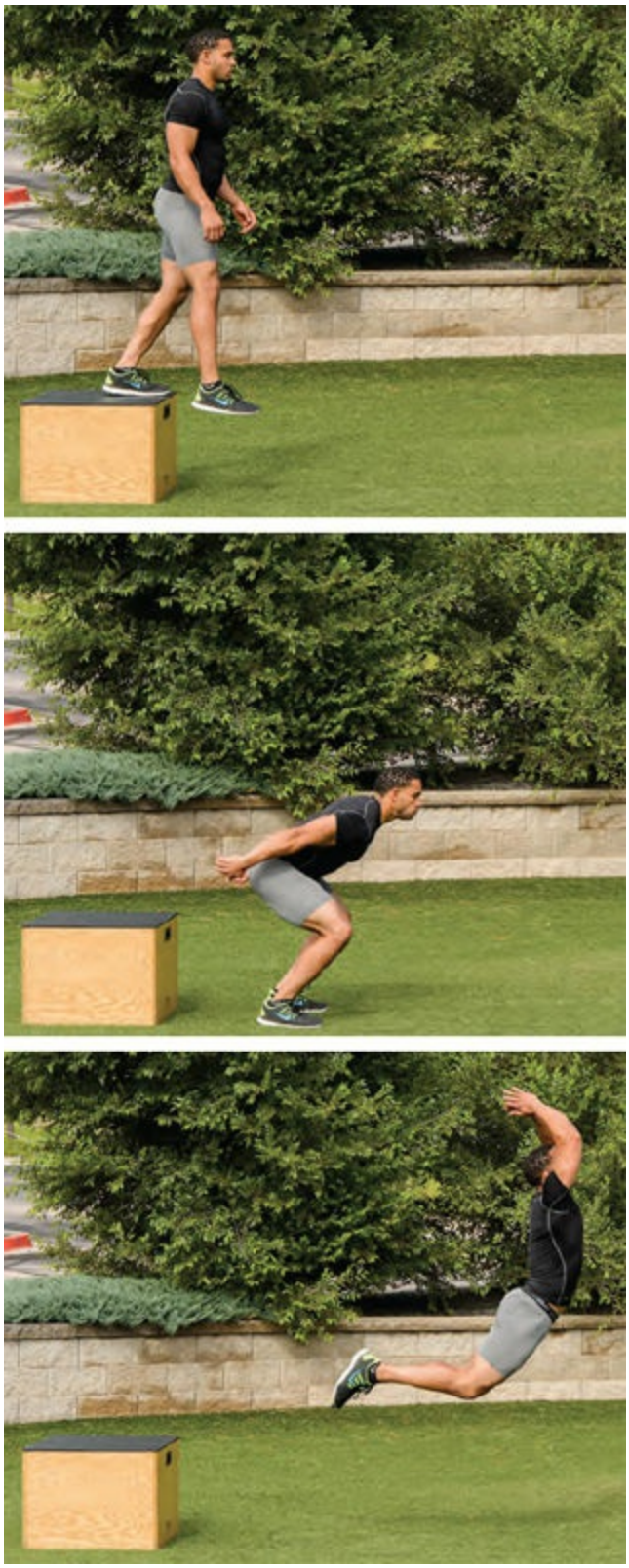
Nivel de intensidad: Alto.
Dirección del salto: Vertical y lateral.
Equipamiento: Cajón pliométrico, de 30 a 107 cm de altura; un compañero.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda encima del cajón, con los pies separados la anchura de los hombros. Las puntas de los pies deben estar próximas al borde del cajón
Acción de los brazos: Ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Se da un paso para bajar del cajón.
Movimiento descendente: Se aterriza en el suelo sobre ambos pies. El compañero señalará a derecha o izquierda justo antes de que aterricemos.
Movimiento ascendente: Al aterrizar, se esprinta inmediatamente en la dirección indicada por el compañero.
Nota: Al bajar del cajón, se hace sin impulso alguno. No hay que saltar ni bajar el centro de gravedad del cuerpo al dar el paso, ya que esos ajustes cambiarían la altura desde la que se practica el ejercicio.
Nota: El tiempo que el atleta permanece en el suelo será el mínimo posible. La intensidad se incrementa aumentando la altura del cajón. Se empieza con

una altura de 30 cm.



18.39 CAER DESDE UN CAJÓN Y SALTO DE LONGITUD SIN CARRERILLA CON LOS PIES JUNTOS

Nivel de intensidad: Alto.
Dirección del salto: Vertical y horizontal.
Equipamiento: Cajón pliométrico, de 30 a 107 cm de altura.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda encima del cajón, con los pies separados la anchura de los hombros. Las puntas de los pies deben estar próximas al borde del cajón
Acción de los brazos: Ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Se da un paso para bajar del cajón.
Movimiento descendente: Se aterriza en el suelo sobre ambos pies.
Movimiento ascendente: Al aterrizar, inmediatamente se salta con ambos pies lo más lejos posible hacia delante.
Nota: Al bajar del cajón, se hace sin impulso alguno. No hay que saltar ni bajar el centro de gravedad del cuerpo al dar el paso, ya que esos ajustes cambiarían la altura desde la que se practica el ejercicio.
Nota: El tiempo que el atleta permanece en el suelo será el mínimo posible. La intensidad se incrementa aumentando la altura del cajón. Se empieza con una altura de 30 cm.



18.40 CAER DESDE UN CAJÓN, ATERRIZAR Y GIRAR

EL CUERPO 180°

Nivel de intensidad: Alto.
Dirección del salto: Vertical y horizontal.
Equipamiento: Cajón pliométrico de 30 a 107 cm de altura.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda encima del cajón, con los pies separados la anchura de los hombros. Las puntas de los pies deben estar próximas al borde del cajón
Acción de los brazos: Ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Se da un paso para bajar del cajón.
Movimiento descendente: Se aterriza en el suelo sobre ambos pies.
Movimiento ascendente: Al aterrizar, inmediatamente se da un salto vertical con ambos pies lo más alto posible. Mientras el atleta está en el aire, gira el cuerpo 180° para aterrizar mirando en dirección opuesta.
Nota: Al bajar del cajón, se hace sin impulso alguno. No hay que saltar ni bajar el centro de gravedad del cuerpo al dar el paso, ya que esos ajustes cambiarían la altura desde la que se practica el ejercicio.
Nota: El tiempo que el atleta permanece en el suelo será el mínimo posible. La intensidad se incrementa aumentando la altura del cajón. Se empieza con una altura de 30 cm.
Nivel de intensidad: Alto.



18.41 CAER DESDE UN CAJÓN SOBRE UN PIE Y

SALTO VERTICAL CON ESE MISMO PIE

Dirección del salto: Vertical.
Equipamiento: Cajón pliométrico de 30 a 107 cm de altura.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda encima del cajón, con los pies separados la anchura de los hombros. Las puntas de los pies deben estar próximas al borde del cajón
Acción de los brazos: Ambos brazos al unísono.
Movimiento de preparación: Se da un paso para bajar del cajón.
Movimiento descendente: Se aterriza en el suelo sobre un pie.
Movimiento ascendente: Al aterrizar, inmediatamente se da un salto vertical lo más alto posible con el pie sobre el que se ha aterrizado.
Nota: Al bajar del cajón, se hace sin impulso alguno. No hay que saltar ni bajar el centro de gravedad del cuerpo al dar el paso, ya que esos ajustes cambiarían la altura desde la que se practica el ejercicio.
Nota: El tiempo que el atleta permanece en el suelo será el mínimo posible. La intensidad se incrementa aumentando la altura del cajón. Se empieza con una altura de 30 cm.
Nota: Este es un ejercicio de nivel muy avanzando dentro de los saltos de profundidad, solo apto para aquellos atletas cuya experiencia y capacidad hayan quedado demostradas en otras versiones de los saltos de profundidad.







EJERCICIOS PLIOMÉTRICOS CON EL HEMICUERPO SUPERIOR

Lanzamientos

18.42 PASE DE PECHO

Nivel de intensidad: Bajo.
Dirección del lanzamiento: Adelante.
Equipamiento: Balón medicinal o pliométrico de 0,9 a 3,6 kg de peso; un compañero o una superficie donde rebote el balón.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda, con los pies separados la anchura de los hombros, de cara al compañero o la superficie donde rebota el balón, aproximadamente a 3 metros de distancia. Se levanta el balón hasta la altura del pecho con los codos flexionados.
Movimiento de preparación: Se empieza con un contramovimiento. (Un contramovimiento en los lanzamientos pliométricos requiere el armado de los brazos, es decir, que los brazos se echen un poco hacia atrás antes del lanzamiento).
Acción de los brazos: Usando ambos brazos al unísono, se lanza el balón a la pared o al compañero extendiendo los codos. Cuando la pared o el compañero devuelvan el balón, se recupera en el aire, se vuelve a la postura inicial e inmediatamente se repite el movimiento.
Nota: La intensidad se incrementa aumentando el peso del balón medicinal. Se empieza con un balón de 0,9 kilogramos.

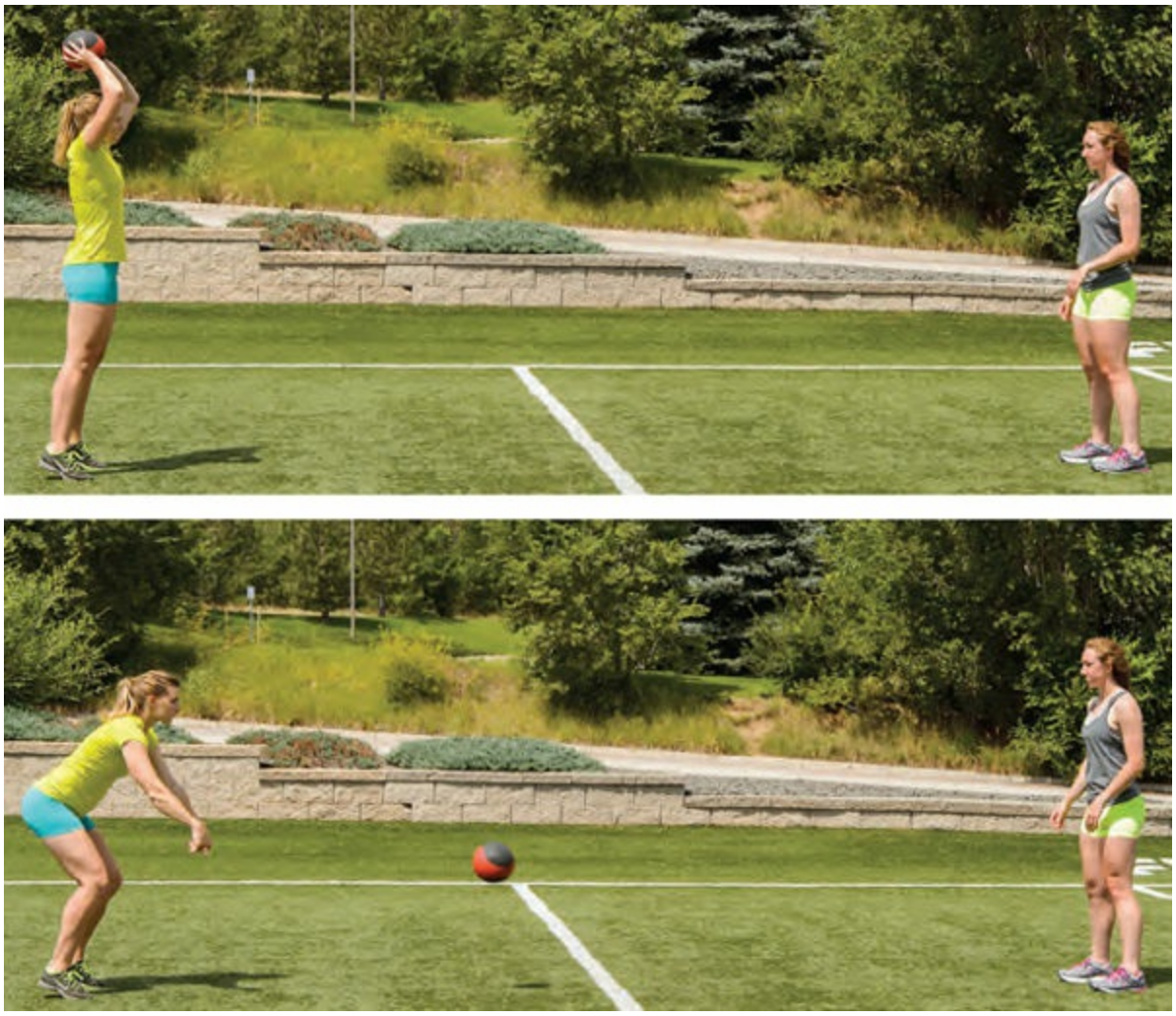




18.43 LANZAMIENTO CON LAS DOS MANOS POR ENCIMA DE LA CABEZA

Nivel de intensidad: Bajo.
Dirección del lanzamiento: Adelante y abajo.
Equipamiento: Balón medicinal o pliométrico de 0,9 a 3,6 kg de peso; un compañero o una superficie donde rebote el balón.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda, con los pies separados la anchura de los hombros, de cara al compañero o la superficie donde rebota el balón, aproximadamente a 3 metros de distancia. Se eleva el balón por encima de la cabeza.
Movimiento de preparación: Se empieza con un contramovimiento. (Un contramovimiento en los lanzamientos pliométricos requiere el armado de los brazos, es decir, que los brazos se echen un poco hacia atrás antes del lanzamiento).

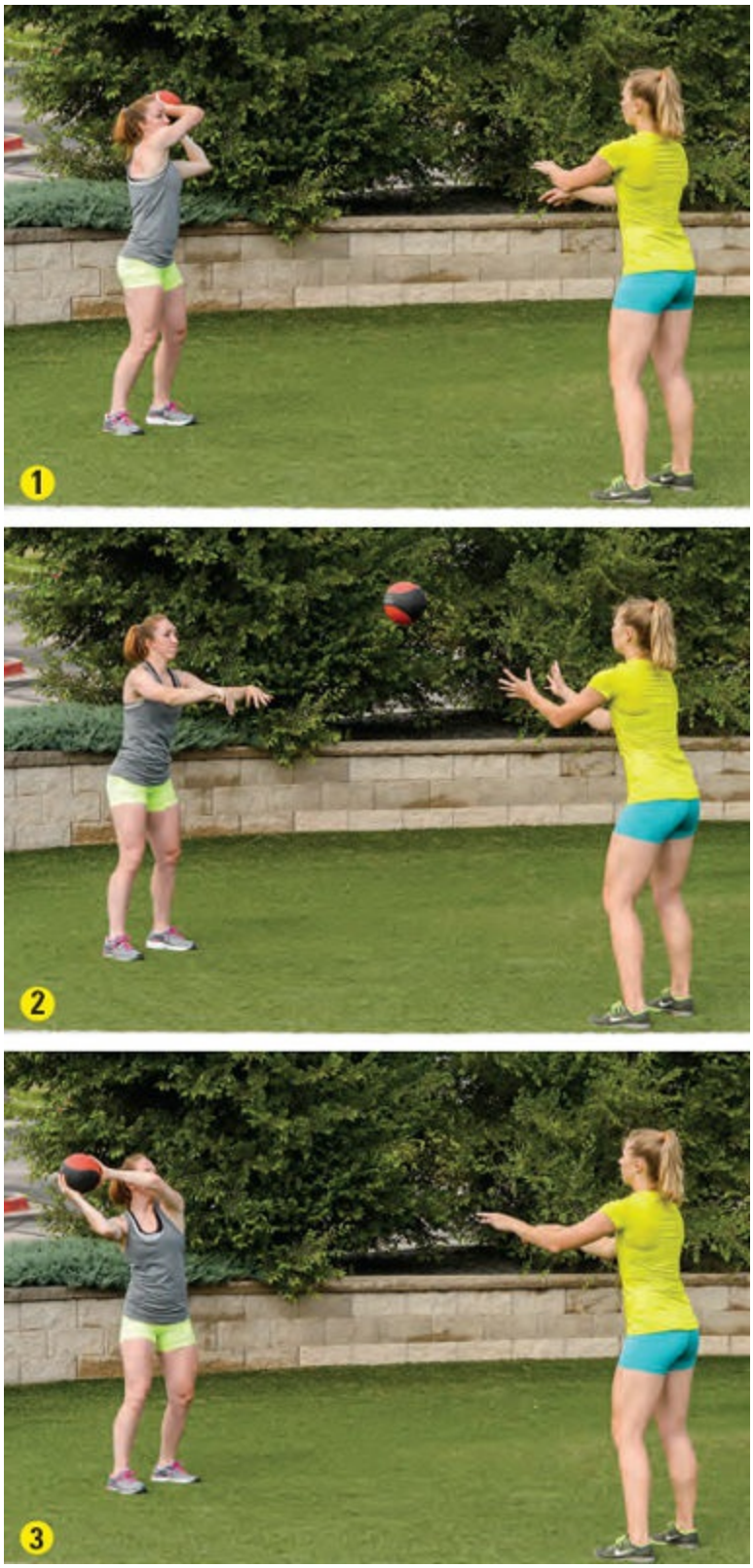
Acción de los brazos: Usando ambos brazos al unísono, se lanza el balón a la pared o al compañero manteniendo los codos extendidos. Cuando la pared o el compañero devuelvan el balón, se atrapa por encima de la cabeza e inmediatamente se repite el movimiento. Los compañeros también pueden botar el balón en el suelo entre ellos, para generar un movimiento descendente y atrapar el balón tras el rebote (véanse las fotos).
Nota: La intensidad se incrementa aumentando el peso del balón medicinal. Se empieza con un balón de 0,9 kilogramos.



18.44 LANZAMIENTO LATERAL A DOS MANOS

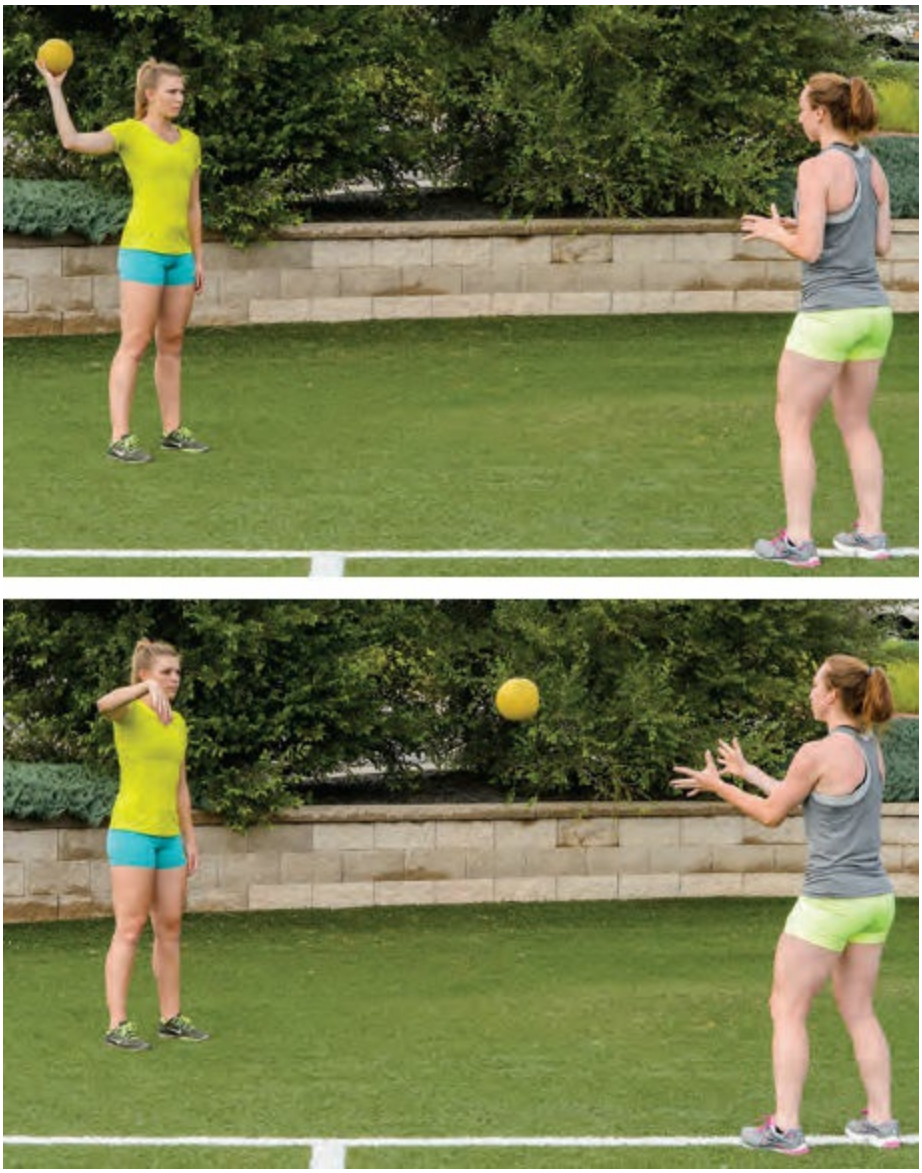
Nivel de intensidad: Bajo.
Dirección del lanzamiento: Adelante y en diagonal.
Equipamiento: Balón medicinal o pliométrico de 0,9 a 3,6 kg de peso; un

compañero o una superficie donde rebote el balón.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda, con los pies separados la anchura de los hombros, de cara al compañero o la superficie donde rebota el balón, aproximadamente a 3 metros de distancia. Se eleva el balón con las dos manos situándolo encima de un hombro y con los codos flexionados.
Movimiento de preparación: Se empieza con un contramovimiento. (Un contramovimiento en los lanzamientos pliométricos requiere el armado de los brazos, es decir, que los brazos se echen un poco hacia atrás antes del lanzamiento).
Acción de los brazos: Usando ambos brazos al unísono, se lanza el balón a la pared o al compañero extendiendo los codos. Cuando la pared o el compañero devuelvan el balón, se atrapa por encima del hombro contralateral e inmediatamente se repite el lanzamiento.
Nota: La intensidad se incrementa aumentando el peso del balón medicinal. Se empieza con un balón de 0,9 kilogramos.



18.45 LANZAMIENTO A UNA MANO

Nivel de intensidad: Medio.
Dirección del lanzamiento: Adelante.
Equipamiento: Balón medicinal o pliométrico de 0,5 a 2,3 kg de peso; un compañero o una superficie donde rebote el balón.
Postura inicial: Se adopta una postura erguida y cómoda, con los pies separados la anchura de los hombros, de cara al compañero o la superficie donde rebota el balón, aproximadamente a 3 metros de distancia. Se eleva el balón a una mano con abducción del hombro y 90° de flexión del codo, con el brazo en rotación de modo que el antebrazo se encuentre perpendicular al suelo.
Movimiento de preparación: Se empieza con un contramovimiento. (Un contramovimiento en los lanzamientos pliométricos requiere el armado de los brazos, es decir, que los brazos se echen un poco hacia atrás antes del lanzamiento).
Acción de los brazos: Usando un solo brazo, se lanza el balón a la pared o al compañero extendiendo los codos. Cuando la pared o el compañero devuelvan el balón, se atrapa en la posición inicial; se permite que el hombro asuma una ligera rotación externa, e inmediatamente se repite el lanzamiento.
Nota: La intensidad se incrementa aumentando el peso del balón medicinal. Se empieza con un balón de 0,5 kilogramos.
Nota: Este ejercicio también se puede practicar usando un movimiento natural para el lanzamiento.



18.46 LANZAMIENTO VERTICAL DE UN BALÓN MEDICINAL DEJADO CAER DESDE UNA ALTURA

Nivel de intensidad: Alto.
Dirección del lanzamiento: Hacia arriba.
Equipamiento: Balón medicinal o pliométrico de 0,9 a 3,6 kg de peso; un compañero; un cajón pliométrico de 30 a 107 cm de altura.
Postura inicial: Tumbado en el suelo en decúbito supino con los codos extendidos y ambos hombros en aproximadamente 90° de flexión; la cabeza

tiene que estar cerca de la base del cajón. El compañero se sube al cajón con el balón medicinal justo encima de los brazos del atleta tumbado.
Movimiento de preparación: Ninguno.
Acción de los brazos: Cuando el compañero situado en el cajón deje caer el balón, se atrapa con las dos manos e inmediatamente se lanza hacia arriba de vuelta al compañero.
Nota: La intensidad se incrementa aumentando el peso del balón medicinal o la altura del cajón. Se empieza con un balón de 0,9 kilogramos y una altura de 30 cm.



Flexiones pliométricas de brazos

18.47 FLEXIONES DE PROFUNDIDAD

Nivel de intensidad: Medio.
Dirección del movimiento: Vertical.
Equipamiento: Balón medicinal o pliométrico de 2,3 a 3,6 kg de peso.
Postura inicial: Tumbado en el suelo en la postura para hacer flexiones de brazos, con las manos apoyadas en el balón medicinal y los codos extendidos.
Movimiento de preparación: Ninguno.
Movimiento descendente: Se sueltan rápidamente las manos del balón medicinal y caen al suelo. El contacto con el suelo se hace con las manos separadas un poco más que la anchura de los hombros y con los codos ligeramente flexionados. Se permite que el pecho casi toque el balón medicinal al dejar que los codos se flexionen.
Movimiento ascendente: Al instante se inicia un empuje vertical y explosivo de los brazos, para lo cual se extienden los codos. Se apoyan rápidamente las manos en el balón medicinal y se repite el ejercicio.
Nota: Cuando el hemicuerpo superior alcanza la altura máxima durante el movimiento ascendente, las manos deben estar por encima del balón medicinal.
Nota: La intensidad se incrementa aumentando el tamaño del balón medicinal. Se empieza con un balón de 2,3 kilogramos.







EJERCICIOS PLIOMÉTRICOS CON EL TRONCO

18.48 FLEXIONES DE ABDOMINALES HASTA 45°

Nivel de intensidad: Medio.
Equipamiento: Balón medicinal o pliométrico de 0,9 a 3,6 kg de peso; un compañero.
Postura inicial: Sentado en el suelo con el tronco inclinado y adoptando un ángulo aproximado de 45°. El compañero se sitúa delante del atleta con el balón medicinal en las manos.
Movimiento de preparación: El compañero lanza el balón medicinal al atleta sentado en el suelo, que tiene los brazos extendidos hacia delante.
Movimiento descendente: Una vez que el compañero suelta el balón, se atrapa con ambas manos, permitiendo la mínima extensión del tronco, e inmediatamente se devuelve el balón al compañero.
Nota: La intensidad se incrementa aumentando el peso del balón medicinal. Se empieza con un balón de 0,9 kilogramos.
Nota: La fuerza empleada para devolver el balón al compañero debe proceder predominantemente de los músculos abdominales.





TÉRMINOS CLAVE

bote
ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA)
componente elástico en serie (CES)
ejercicio con cajón
entrenamiento completo
equilibrio
fase
    concéntrica

de amortización
excéntrica
flexión de brazos
huso muscular
lanzamiento
múltiples saltos
potencia
potenciación
reflejo de estiramiento
salto
de pie
de profundidad
sin desplazamiento

PREGUNTAS DE REPASO

(respuestas en la página 657)

1. ¿Cuál de las siguientes NO es una fase del ciclo de estiramiento-acortamiento?
   a. Fase de amortización.
   b. Fase concéntrica.
   c. Fase excéntrica.
   d. Fase isométrica.

2. ¿Cuál de las siguientes estructuras detecta movimientos rápidos e inicia el reflejo de estiramiento?
   a. Los órganos tendinosos de Golgi.
   b. Los husos musculares.
   c. Las fibras musculares extrafusales.
   d. Los corpúsculos de Pacini.

3. ¿Cuál de los siguientes elementos se debería evaluar antes de empezar un programa de entrenamiento pliométrico con el hemicuerpo inferior?
   I. Equilibrio.
   II. Fuerza.
   III. Historia del entrenamiento.
   IV. Masa muscular magra.
   a. Solo I y III.

b. Solo II y IV.
c. Solo I, II y III.
d. I, II, III y IV.

4. ¿Cuál de los siguientes tipos de ejercicios pliométricos se suele considerar el MÁS intenso?
   a. Saltos sin desplazamiento.
   b. Botes.
   c. Saltos de profundidad.
   d. Saltos verticales sobre un cajón con los pies juntos.

5. ¿Cuál de las siguientes relaciones entre trabajo y descanso es la MÁS apropiada para asignarla a una sesión de entrenamiento pliométrico?
   a. 1:5.
   b. 1:4.
   c. 1:3.
   d. 1:2.

CAPÍTULO 19

Diseño de programas y técnica para el entrenamiento de la velocidad y la agilidad

Brad H. DeWeese y Sophia Nimphius*

A la conclusión del capítulo, el lector:

- Describirá los conceptos biomecánicos subyacentes de los esprines, los cambios de dirección y la agilidad.
- Aplicará principios seguros del movimiento a la enseñanza de los modos y técnicas de locomoción.
- Analizará las capacidades y destrezas necesarias para ejecutar tareas específicas del movimiento.
- Monitorizará con eficacia el desarrollo del esprín, los cambios de dirección y las destrezas de la agilidad.
- Asignará medios y métodos seguros para desarrollar la velocidad, los cambios de dirección y la agilidad.
- Diseñará y aplicará programas de entrenamiento para potenciar al máximo el rendimiento atlético.

* Los autores agradecen la significativa aportación de Steven S. Plisk en la redacción de este capítulo. Gracias así mismo a Matt L. Sams, Chris Bellon, Satoshi Mizuguchi, N. Travis Triplett, Jared M. Porter, Adam Benz y Tania Spiteri.

El tema de este capítulo es el desarrollo de la rapidez, los cambios de dirección y las capacidades coordinativas de la agilidad. Aunque el término *rapidez* se emplea a menudo cuando un atleta despliega alguno o todos estos aspectos del rendimiento físico, es vital entender que el desarrollo del atleta requiere trabajar las distintas capacidades y destrezas físicas de resultas de los

distintos requisitos biomecánicos. Estos tres importantes aspectos del rendimiento físico se definen del siguiente modo:

- Rapidez: Destrezas y capacidades necesarias para alcanzar velocidades de movimiento elevadas.
- Cambios de dirección: Destrezas y capacidades necesarias para cambiar de forma explosiva la dirección del movimiento, la velocidad o el modo.
- Agilidad: Destrezas y capacidades necesarias para cambiar de dirección, la velocidad o el modo como respuesta a un estímulo.

La capacidad de superarse en la competición es un hito de la mayoría de los esfuerzos atléticos. Además, la capacidad de cambiar rápidamente de dirección durante una actividad puede anular el efecto de la rapidez de un oponente y lograr ventajas físicas y tácticas sobre el terreno de juego. Aunque parezca que en todos estos casos interviene la «rapidez» de un atleta, est¡ «rapidez» percibida tal vez sea el resultado de una cualidad o una combinación de las tres cualidades enumeradas. En el deporte, la locomoción del ser humano a gran velocidad se puede dividir en dos categorías: lineal o multidirecciónal. Generar altas velocidades lineales, lo que todos conocemos como esprintar, es el requisito fundamental para el éxito en muchas especialidades de atletismo, así como para las carreras en campo abierto en contextos basados en el juego. Aunque la velocidad lineal sea importante en los deportes de equipo, el juego es sobre todo multidirecciónal. Como resultado, el éxito de estos atletas depende parcialmente de su respuesta a las situaciones siempre cambiantes del juego por medio de rápidos y eficaces cambios de dirección, mientras que la **rapidez** requiere la capacidad de acelerar y alcanzar una velocidad máxima.

Debido a la naturaleza de la mayoría de los deportes, hay casos en los que los atletas asumen cambios predeterminados de dirección y están solo limitados por su capacidad física para practicar esa actividad (p. ej., un itinerario, un partido o un patrón determinado). La capacidad física para cambiar de dirección mientras se desacelera y luego se vuelve a acelerar, a veces usando un modo diferente de desplazamiento, es la capacidad para los **cambios de dirección**, mientras que la **agilidad** exige el uso de la capacidad perceptivo-cognitiva en combinación con la capacidad para cambiar de dirección. Quedan patentes las cualidades parecidas y opuestas de la velocidad, los cambios de dirección y la agilidad. Por ejemplo, la aceleración

forma parte de la capacidad para cambiar de dirección y también de la agilidad; sin embargo, aspectos adicionales como la capacidad para desacelerar y el modo de movimiento diferencian el entrenamiento de la rapidez del entrenamiento de los cambios de dirección y la agilidad. La capacidad física para cambiar de dirección tal vez sea un componente de la agilidad, mientras que la capacidad perceptivo-cognitiva influye en las exigencias físicas de la agilidad. Por tanto, durante la lectura de este capítulo es necesario entender que, si bien hay un solapamiento de estas cualidades, se requiere un distinto desarrollo físico, técnico o perceptivo-cognitivo para mejorar cualquiera de estos aspectos del rendimiento físico.

Cuando los atletas están esprintando o cambiando de dirección, su despliegue de actividad es una función de la capacidad física y de la perfección técnica. Aunque la eficacia biomecánica y metabólica respalde el rendimiento en los deportes aeróbicos, una aplicación eficaz de la fuerza limita la velocidad, los cambios de dirección y la agilidad. Es decir, el éxito de un atleta en estos movimientos explosivos es producto de su capacidad de generar fuerza, combinada con la capacidad para usar esa fuerza pese a las restricciones de esa actividad. La **fuerza** se suele asociar con la capacidad del atleta para producir fuerza, pero es importante entender que, aunque unos niveles altos de fuerza máxima sean atributos deseables en el deporte, sin embargo, los esprines, los cambios de dirección y las manifestaciones de la agilidad ocurren en períodos que impiden a los atletas producir y expresar su fuerza máxima.

Durante los esprines, la aplicación de fuerza permite al atleta acelerar, alcanzar velocidades elevadas y tratar de mantenerlas. Además de la aplicación de fuerza asociada con la aceleración y el mantenimiento de la velocidad durante el esprín, la capacidad para cambiar de dirección requiere una aplicación eficaz de fuerza para desacelerar y luego volver a acelerar en otra dirección. Por lo demás, la agilidad se considera una función de la capacidad del atleta para no solo cambiar de dirección, sino también para cambiar específicamente de dirección como respuesta a un estímulo (4), por ejemplo, la presencia de un defensor o de la pelota. Por est¡ razón, los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico deben ser conscientes de sus opciones en la elección de un entrenamiento para desarrollar las características físicas que ayuden a mejorar la rapidez, los cambios de dirección y la agilidad en el atletismo.

La rapidez exige la capacidad de acelerar y alcanzar velocidades máximas, mientras que la agilidad requiere el uso de la capacidad perceptivo-cognitiva combinada con la capacidad para desacelerar y luego volver a acelerar en una dirección determinada.

Mecánica de la rapidez y la agilidad

Con el fin de ejecutar técnicas de movimiento, los atletas deben aplicar fuerza, es decir, el producto de la masa por la aceleración. Debido al limitado tiempo disponible para generar fuerza durante la mayoría de las actividades atléticas, existen dos variables que describen la fuerza respecto al tiempo disponible para producir fuerza:

- **Índice de desarrollo de la fuerza (IDF).** Es el desarrollo de fuerza máxima en el menor tiempo posible, que se suele usar como un índice de la fuerza explosiva (3).
- **Impulso.** Es el producto de la fuerza generada y el tiempo requerido para su producción, y se mide como el área situada por debajo de la curva de fuerza-tiempo. Según la relación entre impulso e inercia, el impulso dicta la magnitud del cambio de inercia de un objeto.

Física de los esprines, los cambios de dirección y la agilidad

La **fuerza** representa la interacción de dos objetos físicos. La fuerza es una magnitud vectorial, es decir, tiene tanto magnitud (tamaño) como dirección. Tradicionalmente, la fuerza se describe como el empuje o tracción ejercidos sobre un objeto por otro, lo cual impide que ambos objetos ocupen el mismo espacio. Este movimiento de la masa cambia la velocidad de un objeto y genera **aceleración**.

Dentro de la profesión de la fuerza y el acondicionamiento físico, **velocidad** y *rapidez* se usan a menudo como sinónimos. Para una exposición correcta de la agilidad y el esprín, hay que diferenciar ambos términos. La rapidez es una cantidad escalar, lo que significa que solo describe lo rápido que se mueve un objeto. La rapidez es el ritmo al que un objeto cubre una distancia. Como la fuerza, la velocidad es una cantidad vectorial. La velocidad describe tanto lo rápido que viaja un objeto como su dirección. En resumen, velocidad es rapidez con una dirección.

Aceleración se refiere al ritmo al que cambia la velocidad de un objeto en el tiempo. Una vez que una fuerza actúa sobre un objeto físico, la masa cambiará de dirección y dejará el espacio que estaba ocupando. La aceleración del objeto continuará mientras que fuerzas externas sigan cambiando la velocidad. En un marco práctico, *desaceleración* remplaza al término *aceleración negativa* para describir un cambio de mayor a menor velocidad.

Índice de desarrollo de la fuerza

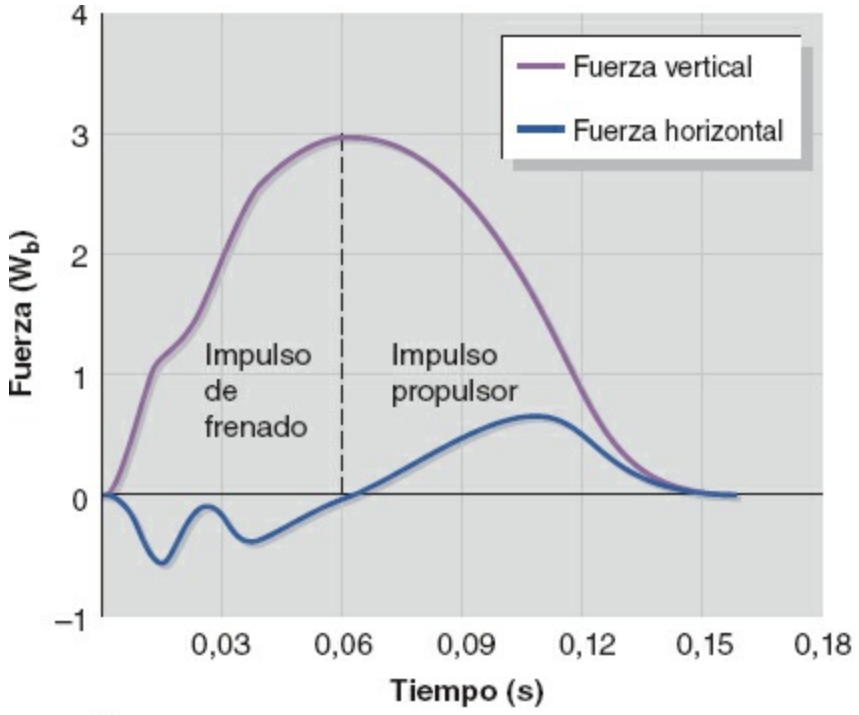
En el ámbito deportivo, la capacidad de producir fuerza con rapidez es posiblemente un rasgo más deseable que la producción de fuerza máxima (89). Aunque la capacidad para generar niveles altos de fuerza máxima haya demostrado mejorar el rendimiento en la altura de los saltos y otras distancias atléticas, los casos más competitivos no ocurren en un marco temporal que permita a los atletas generar fuerza máxima (19). Específicamente, la generación de una fuerza de contracción máxima requiere al menos 300 ms, mientras que muchas actividades deportivas consumen de 0 a 200 ms (1). Por est¡ razón, en el ámbito deportivo, donde el éxito se restringe a la sincronía del movimiento, el IDF tal vez sea una medida más útil de la capacidad explosiva de un atleta (5). El índice de desarrollo de la fuerza se puede describir como el cambio en la fuerza dividido por el cambio en el tiempo (89).

La capacidad de acelerar una masa depende de un cambio en la velocidad, producto de la aplicación de una fuerza externa. Por tanto, desde un punto de vista práctico, un atleta que quiera alcanzar una mayor capacidad de aceleración deberá aplicar fuerzas a un ritmo mayor (73).

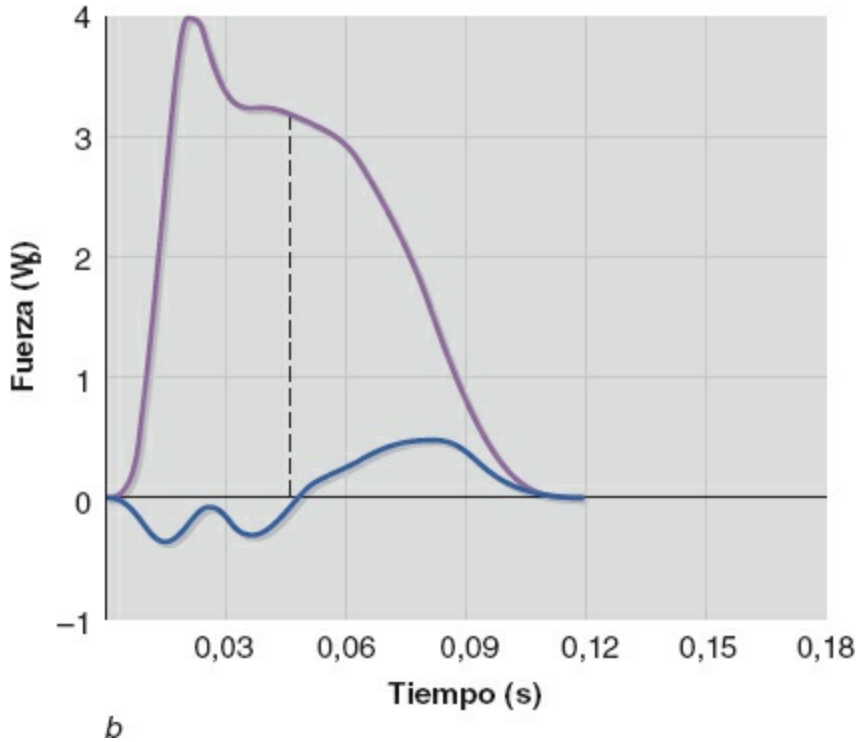
Impulso

Con el fin de que un objeto cambie su ubicación, se deben aplicar fuerzas para producir un cambio en la velocidad. Los atletas que intentan aumentar su rapidez mediante la producción de fuerza nunca aplican fuerzas simultáneamente. De hecho, la fuerza se aplica sobre la superficie por la que se corre durante cierto período de la fase estática del esprín (figura 19.1) o en la fase de apoyo de un cambio de dirección. El tiempo que los atletas están en est¡ fase estática o de apoyo se denomina *tiempo de contacto con el suelo*. El producto del tiempo que se aplica la fuerza contra el suelo y la cantidad de

fuerza aplicada se denomina impulso, y se representa gráficamente como el área situada debajo de la curva de fuerza-tiempo. Los cambios en el impulso causan cambios en la cantidad de movimiento del atleta y, por tanto, en su capacidad para acelerar o desacelerar.



a



b

FIGURA 19.1 Fuerza de reacción contra el suelo e impulso de un esprín durante (*a*) la fase de aceleración y (*b*) la fase de velocidad máxima. W_b = peso corporal.

La figura 19.1 muestra el modo en que las fuerzas verticales y horizontales difieren en magnitud cuando se compara la fase de aceleración (figura 19.5) con la fase de velocidad máxima (figura 19.6), lo cual refleja las dos posiciones distintas del cuerpo empleadas para producir fuerza durante la extensión máxima. Además, estos dos diagramas muestran el concepto de impulso (representado como el área situada por debajo de la curva de fuerza-tiempo) durante la fase de frenado, revelado por una fuerza horizontal negativa, o durante la fase de propulsión, que ocurre en caso de que haya una fuerza horizontal positiva. Estas dos fases del impulso se representan con la línea vertical de puntos suspensivos. Hay que reparar en que, durante las fases de fuerza máxima, hay una producción asimétrica de fuerza y el IDF es muy alto, lo cual se traduce en que el tiempo de contacto con el suelo es mucho más corto en comparación con la fase de aceleración.

El **momento** se define como la relación entre la masa de un objeto y la velocidad de movimiento. Durante un esprín, la masa corporal de un atleta se mantiene constante. Por tanto, si el marco temporal no cambia, la única forma de conseguir un mayor impulso es generar una fuerza mayor. Este aumento del impulso deriva en un aumento o disminución del momento, dependiendo de si el atleta pretende acelerar o volver a acelerar o desacelerar antes de un cambio de dirección. Dicho de otro modo, un cambio en el impulso causa un cambio en el momento y es la causa del movimiento de un objeto.

En la locomoción del ser humano, la magnitud de la fuerza junto con su duración durante un paso individual es vital para el éxito. Los cambios en estas fuerzas aumentan o disminuyen el momento del atleta, razón por la que el entrenamiento se debe centrar en el impulso —el área situada debajo de la curva de fuerza-tiempo— además de en el IDF.

No hemos hablado aquí de la potencia, porque deriva de la fuerza y la velocidad. Por tanto, la potencia se considera un concepto mecánico que no revela realmente el rendimiento explosivo máximo (32). En términos prácticos, un valor de la potencia no mejora nuestro conocimiento del rendimiento de un modo que resulte útil para los especialistas, ya que no está claro si el valor de la potencia se ha conseguido como resultado de la fuerza o de la velocidad. Para comprender esa fuerza, el IDF y el impulso son mediciones directas; no se requiere un valor derivado más complejo para aumentar el conocimiento adicional.

Implicaciones prácticas para la rapidez

Con el fin de desplazar su masa corporal por una pista o un terreno de juego, los atletas deben producir fuerzas suficientes para superar los efectos de la gravedad y crear un cambio positivo en la velocidad. En un esprín corto, la fuerza es el esfuerzo necesario para que el atleta acelere hasta alcanzar su máxima velocidad, en gran medida determinada por factores fisiológicos. Estas fuerzas o esfuerzos se producen con rapidez, con restricciones temporales que a menudo son más cortas que el tiempo necesario para la producción de una fuerza voluntaria máxima. Por est¡ razón, el índice de producción de fuerza tal vez sea un factor más importante para el éxito del esprín. Además, como este depende en gran medida de la producción de fuerzas en un tiempo muy corto, el impulso es un factor inicial importante.

Implicaciones prácticas para la agilidad y el cambio de dirección

Además del requisito de la aceleración, la producción de fuerzas de frenado durante ciertos períodos de tiempo, el llamado *impulso de frenado*, se debe tener en cuenta durante las maniobras de agilidad y los cambios de dirección. El grado de impulso requerido para cambiar el momento con eficacia y eficiencia es un reflejo directo de los requisitos físicos para el cambio de dirección. Por ejemplo, a medida que aumenta el ángulo de cambio direcciónal requerido o la velocidad de entrada en el cambio de dirección, lo mismo sucede con el impulso requerido para cambiar el momento; por tanto, físicamente es más exigente practicar esas actividades. Además, las restricciones de tiempo impuestas al atleta debido a los aspectos perceptivo-cognitivos de la agilidad pueden influir en las exigencias físicas al limitar el tiempo disponible para producir la fuerza requerida (y el impulso) y cambiar de dirección con éxito en respuesta a un estímulo.

Base neurofisiológica de la velocidad

Los esprines, la agilidad y los cambios de dirección son manifestaciones dinámicas de la producción de fuerza en el marco de la actividad atlética. Como a menudo se pide a los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico que ayuden a desarrollar estas cualidades ventajosas desde el punto de vista competitivo, es necesaria una revisión para ver cómo

se producen estas mediciones de la fuerza durante el movimiento.

Sistema nervioso

La función neuromuscular es vital para la ejecución de esprines, dado que la actividad y la interacción del sistema nervioso central con los músculos influyen en último término en el índice y en la fuerza de contracción de los músculos. Los estudios han demostrado que la combinación de fuerza, pliometría y entrenamiento con esprines produce varias adaptaciones en el sistema neuromuscular que tal vez contribuyan a mejorar el rendimiento en los esprines. El entrenamiento de la fuerza mejora el *impulso neuronal*, a saber, el índice y amplitud de los impulsos que se envían del sistema nervioso a los músculos de destino (1). Los incrementos del impulso neuronal, que revelan un aumento del ritmo al que se producen los potenciales de acción, se relacionan con aumentos de la producción de fuerza muscular y con el índice de producción de fuerza. De forma similar, el entrenamiento pliométrico muestra incrementos en la excitabilidad de las motoneuronas de umbral excitatorio alto. El aumento de la excitabilidad mejora en último término el impulso neuronal. En conjunto, los incrementos del impulso neuronal contribuyen seguramente a que aumenten el IDF y la generación de impulsos del atleta.

Ciclo de estiramiento-acortamiento

Muchas tareas funcionales comienzan con contramovimientos preparatorios que implican acciones similares a las de un muelle y se engloban en el **ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA)**, es decir, un fenómeno de acoplamiento excéntrico-concéntrico en donde los complejos musculotendinosos se elongan con rapidez y forzadamente, o se estiran bajo una carga, e inmediatamente se acortan de forma elástica o reactiva. En términos prácticos, el CEA se manifiesta en los movimientos en que se produce una rápida transición de una acción excéntrica a otra concéntrica. Por tanto, las acciones del CEA son prevalentes en particular en deportes en que hay carreras, saltos y otros cambios explosivos en la velocidad. Su ejecución es una capacidad diferenciada e independiente de la fuerza máxima en los atletas de elite (35, 45, 46, 71, 72, 80, 87, 99).

Las acciones del ciclo de estiramiento-acortamiento aprovechan dos fenómenos: (1) el comportamiento intrínseco de la unión musculotendinosa,

y (2) la retroalimentación refleja de la fuerza y su duración para el sistema nervioso (3, 4, 9, 14, 25). A nivel agudo, las acciones del CEA tienden a aumentar la eficacia mecánica y los impulsos por medio de la recuperación de la energía elástica, mientras que a nivel crónico regulan al alza la rigidez muscular y mejoran la activación neuromuscular (35, 45, 46, 71, 72).

Las actividades de entrenamiento destinadas a mejorar la actuación del CEA deben cumplir dos criterios (36, 71, 72, 80, 87):

- Deben implicar movimientos habilidosos y poliarticulares que transmitan fuerzas por la cadena cinética y aprovechen los mecanismos elástico-reflejos.
- Para superar el cansancio y hacer hincapié en la calidad y técnica del trabajo, se deben estructurar alrededor de tandas cortas de trabajo, separadas por frecuentes pausas para descansar.

En la práctica, una combinación de métodos pliométricos progresivos y con grandes resistencias permite alcanzar estos objetivos. Un ejemplo sorprendente de est¡ estrategia es el **entrenamiento complejo**, en el cual la alternancia de tareas para el CEA con ejercicios de gran resistencia en la misma sesión mejora su efecto. La base de este método es un fenómeno secundario agudo, denominado **potenciación posactivación** (37, 66, 69). Esta modalidad de entrenamiento es cada vez más popular como medio para mejorar el rendimiento de los atletas de nivel avanzado, aunque quizá también sea apropiado para novatos y jóvenes.

Modelo resorte masa

La exposición a un entrenamiento de la fuerza y la rapidez tal vez se vincule con una elevación de la preactivación de la musculatura empleada al esprintar (43, 46). El inicio de la pretensión tal vez esté relacionado con un aumento de la sensibilidad de los husos musculares asociados. La mejora del tiempo necesario para la retroalimentación de los husos musculares se traduce en una mayor rigidez muscular y una mayor distensibilidad tendinosa (44, 48, 68). Este estado fisiológico sustenta el CEA, el cual respalda el **modelo resorte masa (MRM)**. El MRM es un modelo matemático que describe el esprín como un tipo de locomoción en que el desplazamiento de una masa corporal es el efecto secundario de la energía producida y liberada mediante las acciones colectivas tipo resorte de retroceso y extensión dentro de la

arquitectura muscular (10, 21, 27, 29). Durante un ciclo completo en carrera, un resorte se comprime e impulsa el cuerpo de atleta hacia delante. Simultáneamente, el otro resorte se balancea hacia delante como preparación para el contacto con el suelo.

Dentro de un esprín con el cuerpo erguido, la compresión del resorte comienza durante la fase de golpeo del pie, que genera fuerzas horizontales de frenado. Esta repentina y breve desaceleración ayuda a impulsar la pierna que se balancea hacia delante en preparación para el siguiente paso. A medida que el centro de masa se desplaza por delante del pie, el velocista se halla en la estática media. Dentro del MRM, el resorte se comprime hasta el punto más bajo, lo cual coincide con un centro de masa más bajo durante la estática media. Por último, el modelo describe el segmento del despegue del pie durante la fase estática como el retorno de la energía a través de la extensión del resorte retraído. Esta energía resultante y la vuelta de la fuerza proyectan al velocista hacia delante.

Mientras que el MRM proporciona un marco conceptual para destacar las acciones implicadas en la elevada rapidez al correr erguidos, recientes investigaciones sugieren que hay limitaciones en la capacidad del modelo para describir la fase estática de los velocistas de elite. Como se muestra en la figura 19.1, durante la fase de máxima velocidad, los velocistas de elite tienden a desviarse del MRM clásico al generar gran parte de su fuerza vertical en la primera mitad del contacto con el suelo. En contraste, la mayoría de los velocistas cuyo nivel no es de elite, como los que participan en muchos deportes de equipo o que se desarrollan en un terreno de juego, despliegan fases estáticas que se describen según el MRM (17), donde la curva de la fuerza vertical es más simétrica. Como tal, el MRM se debe usar como un medio para describir la relación entre el CEA, la rigidez muscular y el esprín. De hecho, a medida que aumenta la frecuencia de zancada a una velocidad dada en carrera, una de las características más importante del resorte de las piernas es un incremento de la rigidez muscular (29).

Como el esprín exige al atleta moverse a gran velocidad, los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico deben hacer hincapié en la prescripción de ejercicios que hayan demostrado aumentar el impulso neuronal mientras se sobrecarga la musculatura de las áreas de la cadera y la rodilla implicadas en el CEA.

Consideraciones neurofisiológicas adicionales para el

desarrollo de la agilidad y los cambios de dirección

Además de los aspectos neurofisiológicos de la rapidez antes expuestos, hay que considerar otros factores sobre la agilidad y los cambios de dirección. Durante la fase de apoyo, descrita en la figura 19.2, la duración del contacto con el suelo de un movimiento de agilidad (0,23 a 0,25 segundos) o un cambio de dirección (0,44 a 0,722 segundos) (8, 39, 54) supera el tiempo habitual de contacto con el suelo de la fase de aceleración del esprín (0,17 a 0,2 segundos) (4) y la fase de máxima velocidad del esprín (0,09 a 0,11 segundos) (92, 93). En vista de ello, la mayoría de los cambios de dirección requieren actividades cuyo CEA sea más largo.

Como frenar con eficacia es importante para la agilidad (83, 84), hay que tener en cuenta por dos razones el desarrollo neuromuscular con respecto a la alta velocidad y las contracciones excéntricas de mucha fuerza. En primer lugar, las adaptaciones de las vías de reclutamiento de las unidades motoras que se activan durante una contracción excéntrica son distintas de las que se activan durante las contracciones concéntricas (28). En segundo lugar, las adaptaciones al entrenamiento excéntrico parecen ser específicas de la velocidad de la carga excéntrica (62). Además, el entrenamiento de los atletas para que manifiesten una agilidad eficaz requiere conocer las exigencias perceptivo-cognitivas por encima de los requisitos neurofisiológicos para cambiar de dirección. No solo las exigencias perceptivo-cognitivas para los atletas están relacionadas con sus capacidades en las áreas del barrido visual, la anticipación, la toma de decisiones y el tiempo de reacción (76), sino también con la situación táctica (ataque frente a defensa), para la que se requiere que el cerebro procese cambios de estrategia (82, 85).

El entrenamiento requerido para mejorar la agilidad queda más claro una vez que se empiezan a entender las diversas exigencias necesarias para cambiar de dirección y obrar con agilidad respecto a los factores neurofisiológicos, como el CEA, el entrenamiento neuromuscular de las acciones musculares excéntricas y las implicaciones de tiempo o el grado de exigencia de la maniobra de cambio de dirección en el MRM. Además, los requisitos neurofisiológicos de la agilidad van más allá de los requisitos físicos, hasta los requisitos perceptivo-cognitivos que son específicos de la situación táctica.



FIGURA 19.2 Fase de apoyo del pie, denominada *fase estática* en el contexto del esprín, durante un movimiento de cambio de dirección. Este es el punto en un cambio de dirección que representa la transición entre el paso de desaceleración y el paso de aceleración. Son críticas para su ejecución la posición del cuerpo y la capacidad para mantener la postura del tronco durante la desaceleración del momento y la reorientación del cuerpo para correr en una nueva dirección.

Velocidad en carrera

Un **esprín** es una serie de fases emparejadas de suspensión en el aire y apoyo en el suelo, conocidas como zancadas, que se orquestan en un intento por desplazar el cuerpo del atleta por una pista con la máxima aceleración y velocidad (o ambas), por lo general sobre distancias cortas y durante tiempos muy breves. Los esprines se han descrito como el acto de correr con rapidez, sin un ritmo marcado y con un esfuerzo máximo durante 15 segundos o menos (67). Sin embargo, la definición clásica de la velocidad del esprín atañe a la relación entre la longitud y la frecuencia de las zancadas (53).

Basándonos en lo anterior, la velocidad en el esprín se eleva al aumentar la longitud de zancada o al aumentar la frecuencia de las zancadas (figura 19.3). Aunque estos cambios en las variables del rendimiento son lógicas, el componente principal para aumentar al máximo la longitud o la frecuencia de las zancadas está relacionado con la producción de fuerza rápida.

- Las diferencias entre velocistas de elite y novatos se reducen a un solo componente. Gran parte de la literatura actual sobre los esprines (13, 52, 93, 94) sugiere que la cantidad de fuerza vertical aplicada contra el suelo durante la fase estática tal vez sea el componente más crítico para mejorar la rapidez. Además, estas fuerzas superiores se deben aplicar contra el suelo en el tiempo más corto posible (IDF).
- Se necesita aplicar fuerza para desplazar una masa. Al esprintar, la longitud de zancada representa el desplazamiento de la masa. Los velocistas masculinos de elite logran una longitud de zancada de 2,70 m, mientras que en los velocistas novatos es de 2,56 m a velocidad máxima (figura 19.4*a*) (52).
- Como se necesita el contacto con el suelo para seguir produciendo fuerza y causando alteraciones en la velocidad, aumentar el ritmo de las zancadas en teoría potenciará al máximo el tiempo disponible para producir fuerza. Los velocistas masculinos de elite muestran ritmos de zancada de casi 4,63 pasos por segundo comparados con los velocistas novatos, cuyo ritmo es inferior: 4,43 pasos por segundo (figura 19.4*b*) (52). Dicho de otro modo, un velocista de elite necesita menos tiempo de contacto con el suelo para ejercer el esfuerzo necesario para desplazar su masa. Por tanto, estos velocistas más rápidos pasan más tiempo en el aire debido a su mayor frecuencia de zancada. Lo interesante es que los velocistas de elite despliegan tiempos para recolocar la pierna en fase de balanceo que son parecidos a los de sus pares más lentos (52, 94).

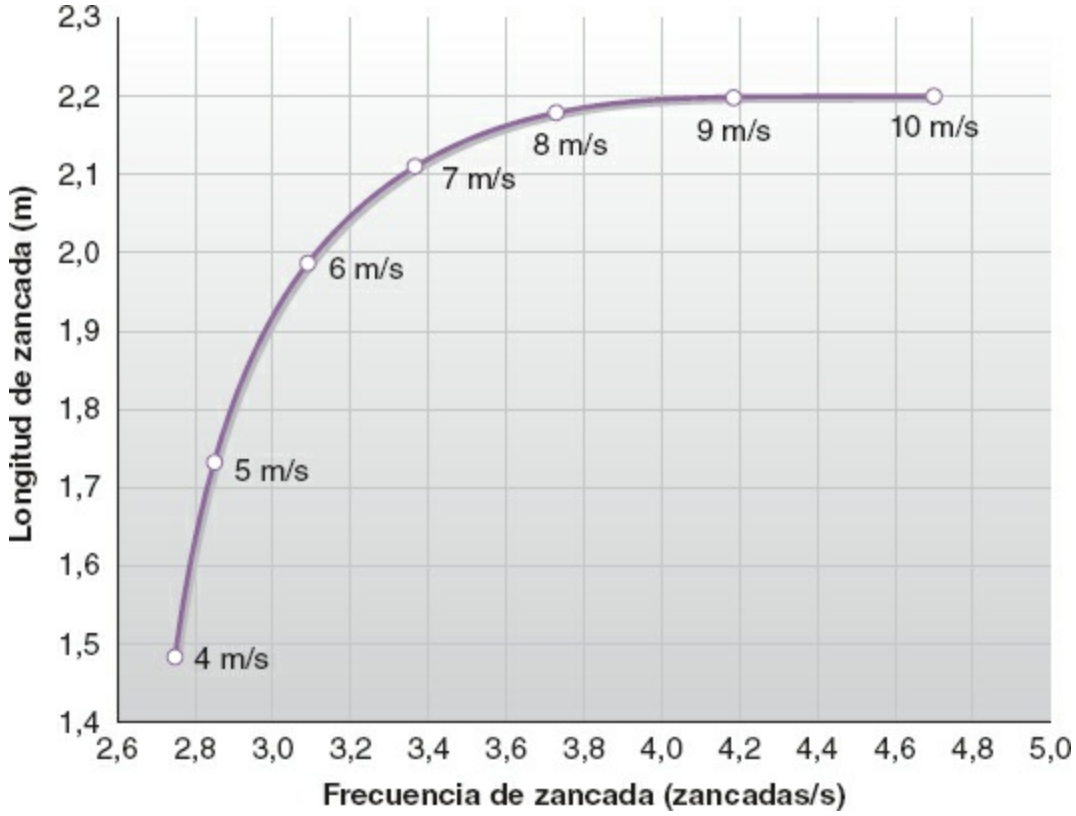


FIGURA 19.3 Interacción entre longitud y frecuencia de zancada como una función de la velocidad en carrera. Fuente: Adaptado de Dillman, 1975 (26).

Aunque el tiempo requerido para aplicar el siguiente contacto con el suelo sea similar entre los velocistas de elite y los novatos, los primeros son capaces de impulsarse más lejos por la pista debido a las fuerzas verticales correctamente dirigidas. Mann (52) sugiere que esas fuerzas verticales están mejor dirigidas hacia la pista debido a la optimización de la altura de la rodilla durante la flexión máxima de la pierna en fase de recuperación. Esta posición más alta de la rodilla aporta un período de tiempo más largo para la producción de fuerza y la permanencia en el aire. Esta ventaja técnica tal vez revele por qué los velocistas de elite tienden a producir la mayor parte de la fuerza durante la primera mitad de la fase estática.

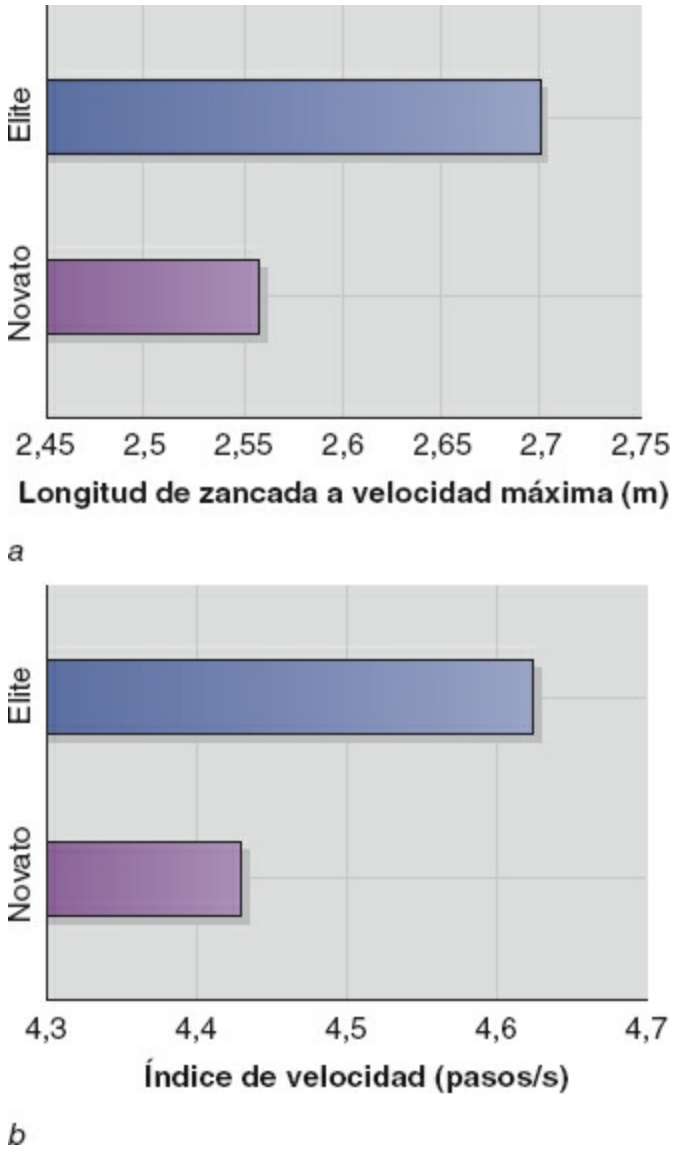


FIGURA 19.4 (*a*) Longitud de zancada y (*b*) frecuencia de las zancadas de los velocistas con distintas calificaciones.

Fuente: Datos de Mann (52).

>Además, los velocistas más rápidos son capaces de alcanzar velocidades más altas mediante la continua aplicación de grandes fuerzas en una fase estática corta, lo cual se traduce en zancadas más largas a un ritmo más rápido. En el marco de los atletas de elite, esto consigue que los velocistas masculinos logren velocidades cercanas a 12,55 m/s, mientras que los velocistas novatos se limitan a 11,25 m/s. Aunque la producción de fuerza seguramente sea el factor limitador, la eficacia técnica y el diseño de entrenamientos correctos también limitan la rapidez en los esprines.

La velocidad del esprín está determinada por la longitud y la frecuencia de las zancadas del atleta; los velocistas de más éxito tienden a presentar una longitud de zancada más larga como resultado de fuerzas correctamente dirigidas hacia el suelo, y también muestran una frecuencia de zancada mayor. Estos datos sugieren que el IDF y una biomecánica correcta son dos de los principales factores limitadores que influyen en los resultados de los esprines.

Pautas de la técnica del esprín

Los esprines lineales se componen de una serie de subtareas que se dividen en la salida, la aceleración (figura 19.5) y la velocidad máxima (figura 19.6). Aunque estas fases del esprín sean técnicamente distintas, todas requieren que el atleta mueva voluntariamente las extremidades inferiores a velocidades máximas mediante una serie de fases estáticas y de permanencia en el aire. La fase estática se divide a su vez en un período de frenado excéntrico, seguido por un período de propulsión concéntrica. En contraste, la fase de permanencia en el aire se compone de los segmentos de **recuperación** y **preparación del contacto con el suelo** de la pierna en fase de balanceo.



FIGURA 19.5 Técnica del esprín durante la aceleración inicial (salida) y la aceleración.



FIGURA 19.6 Técnica del esprín a velocidad máxima: desde el final del período de permanencia en el aire hasta el inicio de la fase estática; contacto inicial; estática media;

estática terminal, y despegue del pie.

La figura 19.7 es un recuadro con una lista de verificación de la técnica de esprín que acompaña a las figuras 19.5 y 19.6. Estas recomendaciones se basan en el esprín lineal y tal vez resulten útiles para la instrucción y evaluación de los movimientos. La figura 19.8 describe en un recuadro los movimientos fundamentales que se producen durante un esprín a velocidad máxima.

Errores técnicos e instrucción deportiva

La tabla 19.1 saca a la luz muchos de los errores habituales al esprintar, así como las causas posibles y las correcciones durante la instrucción deportiva. Con bastante frecuencia estos errores son el resultado de la aplicación equivocada de fuerzas debido a que las indicaciones de la instrucción no son las adecuadas, por una movilidad insuficiente o por la interrupción de la marcha normal del atleta causada por interferencias externas. Por ejemplo, un atleta puede mostrar un balanceo anterior excesivo de la pierna, adquirido durante un ejercicio de aprendizaje (como estirarse para alcanzar marcas sucesivamente más alejadas en la pista con el fin de ganar rapidez) o la creencia de que el incremento de la longitud de zancada permitirá cazar a un competidor en una carrera. Con independencia de la razón, el objetivo de los entrenadores debe ser mejorar la velocidad de los atletas mediante la correcta transmisión de fuerzas contra el suelo, lo cual optimizará el ciclo de la marcha.

Objetivos del entrenamiento

El objetivo general de esprintar es alcanzar una longitud y frecuencia de zancada óptimas mediante la correcta aplicación de fuerza contra el suelo. La transmisión de grandes fuerzas se debe producir durante una fase estática corta, también conocida como tiempo de contacto con el suelo. Durante la fase de aceleración, fuerzas de propulsión ayudan a elevar las caderas por encima del suelo hasta un punto en que la velocidad ya no aumenta a un gran ritmo. Esta porción del esprín, conocida como velocidad máxima, recurre al CEA (regulando la rigidez) para impulsar horizontalmente el centro de masa del atleta por la pista.

Los siguientes objetivos fundamentales del entrenamiento respecto a la

mejora de las actuaciones y la prevención de lesiones se deben tener en cuenta durante el desarrollo de la velocidad en las prácticas:

- *Subrayar la corta duración de los tiempos de contacto con el suelo como medio para conseguir una mayor frecuencia de zancadas*. Como se mencionó previamente, se requieren niveles altos de fuerza explosiva. Esta cualidad se desarrolla sistemáticamente mediante una continua exposición al entrenamiento de la velocidad, así como a programas correctamente diseñados para el entrenamiento de la fuerza.
- *Hacer hincapié en continuar con el desarrollo del CEA como medio para incrementar la amplitud del impulso en cada paso del esprín*. Específicamente, los que alcanzan las mayores velocidades esprintando generan las mayores fuerzas durante una fase estática más corta usando el CEA. Los movimientos completos de la halterofilia y sus derivados son ejercicios clave para sobrecargar el CEA con fuerzas superiores a las producidas durante los esprines.

Agilidad y capacidad para cambiar de dirección

Tanto en los deportes de pista como en los de campo, existe un número sustancial de movimientos planificados para cambiar de dirección, así como cambios de dirección como respuesta al movimiento de la pelota, al juego o a los oponentes. En deportes como el béisbol, el softball, el fútbol americano y el baloncesto, los atletas toman una decisión antes de iniciar el movimiento sobre el trayecto que van a correr. Estos patrones a menudo incluyen cambios rápidos o repentinos de dirección, por ejemplo, el inicio de un esprín explosivo tras un desplazamiento con pasos laterales de una base, o correr siguiendo una trayectoria antes de la recepción del balón. Sin embargo, muchos deportes incluyen también rápidos cambios de dirección en respuesta a los contrarios o a situaciones tácticas. Estas respuestas ocurren en jugadas tanto ofensivas como defensivas, y el movimiento físico y los aspectos perceptivo-cognitivos de esas acciones imponen distintas exigencias al atleta. Por lo tanto, hay que entender perfectamente los factores asociados con la agilidad desde un punto de vista físico (capacidad para los cambios de dirección) en combinación con los aspectos perceptivo-cognitivos (agilidad).

Los atletas mejoran la capacidad para los cambios de dirección mediante el desarrollo de varios factores físicos y destrezas técnicas con diversas

velocidades y modos de movimiento. El desarrollo de la agilidad también requiere mejorar las capacidades perceptivo-cognitivas en relación con las exigencias del deporte.

Factores que influyen en los cambios de dirección y en la capacidad perceptivocognitiva

Cada vez está más claro que el tiempo de contacto con el suelo y la fuerza de reacción contra el suelo durante la fase de apoyo (figura 19.2) de un movimiento aportan un valioso conocimiento sobre los factores físicos que influyen en la ejecución de los cambios de dirección, al igual que hay que tener en cuenta los factores perceptivo-cognitivos en lo referente a la agilidad. Los cambios de dirección y los movimientos de agilidad ejecutando recortes con ángulos agudos (menos de 75°) y asociados con tiempos más cortos de contacto con el suelo (menos de 250 ms) (83) se benefician de un entrenamiento similar al de velocidad en lo referente a las exigencias físicas, aunque, sin embargo, requieren entrenamiento perceptivo-cognitivo adicional. Por otra parte, cuando un cambio de dirección implica un ángulo más agresivo en los recortes (equivalente o mayor de 75°), la duración del tiempo de contacto supera a menudo los 250 ms (8, 38, 54) debido a que se necesita una mayor fuerza de frenado. Por tanto, hay que plantearse aumentar el énfasis en la fuerza excéntrica y en la fuerza máxima junto con la explosividad concéntrica requerida durante la reaceleración. La figura 19.9 ofrece un ejemplo del modo en que diversos requisitos (el ángulo del cambio de dirección o el requisito perceptivo-cognitivo de la agilidad) tal vez influyan en la fuerza de reacción contra el suelo y en los tiempos de contacto con el suelo de los atletas. De especial interés es el efecto de diversos métodos de cambio de dirección (con recortes del mismo grado) sobre la fuerza de reacción contra el suelo y los tiempos de contacto con el suelo. El efecto del método de los cambios de dirección se aprecia en la figura 19.9. El test 505 se practicó con un cambio de dirección ejecutado con una sola pierna (giro con la pierna externa) o con un «salto con giro» que se puede practicar durante un test, pero que no es habitual en el terreno de juego. No obstante, esto demuestra que la técnica elegida dicta las exigencias; por tanto, si se intenta evidenciar una adaptación específica en un atleta, habrá que aportar antes instrucciones específicas.

Lista de verificación de la técnica de esprín: Salida, aceleración y velocidad máxima

Salida (figura 19.5)

El atleta debe intentar distribuir el peso del cuerpo de forma equilibrada mediante una posición fija (en los bloques de salida, postura de salida con tres o cuatro puntos de apoyo) que emplee ángulos segmentarios críticos para la producción de las fuerzas necesarias para alcanzar fuerzas explosivas desde la salida.

- El ángulo del área sural de la pierna adelantada es ~90° en los velocistas de elite.
- El ángulo del área sural de la pierna retrasada es ~133° en los velocistas de elite.

Extensión agresiva con ambas piernas:

- El objetivo debe ser generar velocidades horizontales elevadas mediante un esfuerzo máximo (empuje) contra los tacos o contra el suelo.
- Durante la salida de los tacos (0,28 segundos), las piernas se combinan para producir ~905 N de fuerza.
- Con el fin de superar la postura inicial estática, el velocista depende de la producción de fuerzas verticales para sostener el peso del cuerpo, además de desplazar el centro de gravedad del cuerpo hasta asumir una posición erguida al correr.
- La velocidad vertical es máxima durante la salida de los tacos y los dos pasos siguientes debido a la necesidad de conseguir una elevación apropiada del centro de gravedad del cuerpo.

La salida de los tacos ocurre una vez que la pierna situada en el taco más adelantado se aproxima a la extensión de la articulación de la rodilla.

- El ángulo de salida de la extensión de la pierna adelantada (medido en la rodilla) durante la salida de los tacos es ~160° en los velocistas masculinos de elite.
- La longitud óptima del contacto con el suelo del primer paso es 0,5 m desde la línea de salida.
- La velocidad inicial de salida de los velocistas de elite llega a alcanzar 5 m/s.

Aceleración (figura 19.5)

Pasos iniciales:

- Tanto durante la salida de los tacos como durante los pasos iniciales de aceleración, la recuperación de las piernas en fase de balanceo debe ser baja respecto al suelo hasta un punto en que las puntas de los pies apenas se levanten del suelo.
- Los velocistas masculinos de elite despliegan una frecuencia de zancada de 5,26 pasos/segundo durante el segundo paso en comparación con los velocistas novatos, que se mueven con una frecuencia de 3,45 pasos/segundo.
- Los velocistas masculinos de elite muestran una longitud de zancada de 1,13 a 1,15 m durante los primeros dos pasos de salida de los tacos comparados con los novatos, que promediaron de 1,21 a 1,50 metros.
- La longitud de zancada es más corta en los velocistas masculinos de elite por la necesidad de estar menos tiempo en el aire, por lo que la velocidad horizontal aumenta durante los momentos más frecuentes de contacto con el suelo.
- Los velocistas masculinos de elite promedian un tiempo de contacto con el suelo de ~0,123 segundos durante el segundo paso de la salida inicial de los tacos, mientras que los velocistas novatos promedian 0,223 segundos.

A los ~20 metros, el centro de gravedad del cuerpo se ha elevado hasta un punto en que el esprín se desarrolla con el cuerpo casi erguido. La cabeza asume una postura neutra y relajada que se alcanza al unísono con el torso.

Velocidad máxima (figura 19.6)

El velocista mantiene las articulaciones alineadas, con los hombros aparentemente situados justo encima de las caderas, que se encuentran justo encima de los pies durante la fase estática. La cabeza sigue en una posición neutra y relajada, con la vista hacia delante. Los hombros se mantienen abajo y relajados para que los brazos se muevan al mismo ritmo que el ciclo de las piernas durante las fases estática y de balanceo.

- Los velocistas masculinos de elite alcanzan velocidades horizontales de ~12,55 m/s comparados con los velocistas novatos, que llegan a velocidades de 11,25 m/s.
- A velocidad máxima, los mejores velocistas despliegan una frecuencia de zancada superior a la de sus competidores. Específicamente, los velocistas masculinos de elite muestran una frecuencia de zancada de 4,63 pasos/segundo, mientras que los velocistas novatos dan 4,43 pasos/segundo.
- Los velocistas masculinos de elite alcanzan una longitud de zancada de 2,70 m a velocidad máxima, en comparación con sus pares novatos, que alcanzan 2,56 m por zancada.
- Los velocistas masculinos de elite reducen el tiempo de contacto con el suelo a 0,087 segundos, mientras que los velocistas novatos mantienen tiempos de contacto con el suelo de 0,101 segundos durante su velocidad máxima.

FIGURA 19.7 Lista de verificación del esprín en la salida, aceleración y velocidad máxima.

Fuente: Adaptado, con autorización, de Mann, 2011 (52).

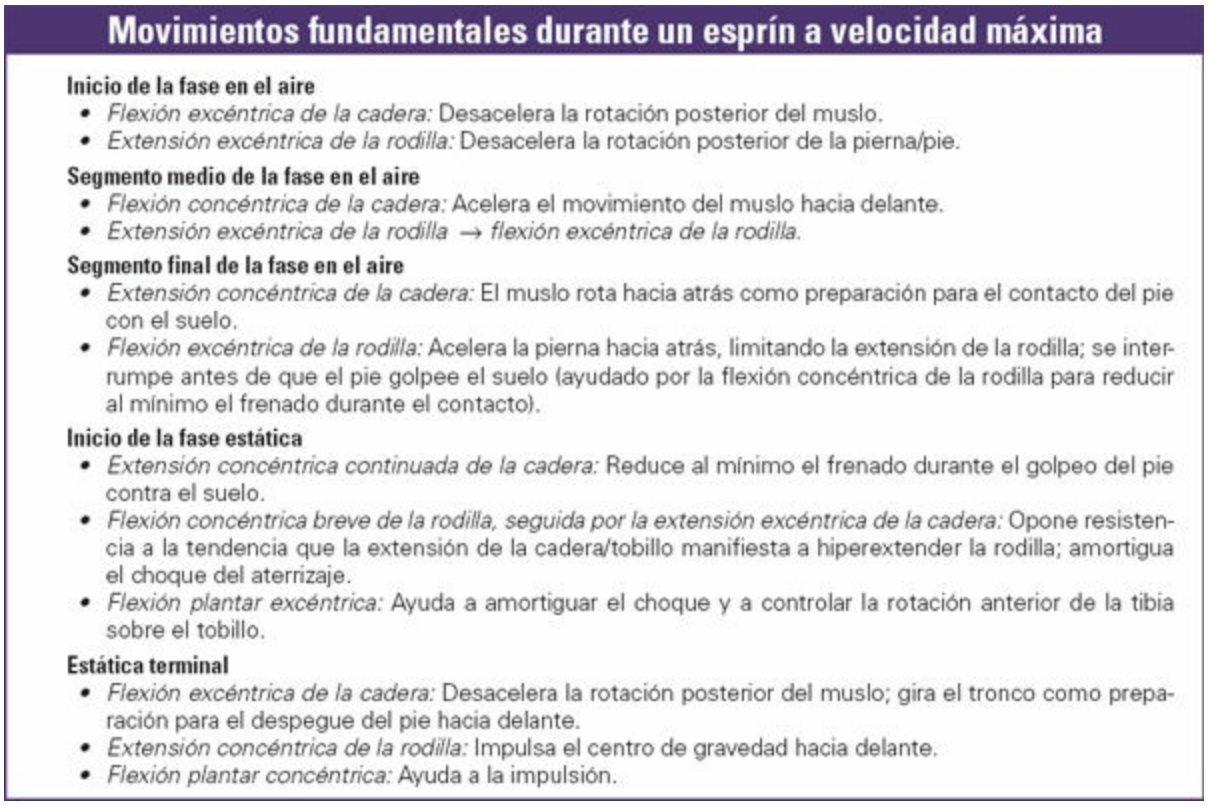


FIGURA 19.8 Lista de los movimientos fundamentales durante las fases de permanencia en el aire y de apoyo en el suelo durante un esprín a velocidad máxima.

Fuente: Putnam y Kozey, 1989 (65); Wood, 1987 (95).

TABLA 19.1 Errores técnicos habituales al esprintar, causas y correcciones

Error	Causa	Recomendaciones del entrenador
SALIDA Y ACELERACIÓN		
Caderas demasiado altas durante la salida en la posición agachada	Error de comprensión de la configuración de la salida	Se enseña al atleta a espaciar los pies 1,5 a 2 veces la longitud de los pies, para luego adoptar la posición de salida bajando la espinilla de la pierna retrasada para que esté más paralela con la superficie de la pista
El atleta se desvía lateralmente al inicio de la fase de impulsión	Distribución incorrecta de las fuerzas	Se enseña al atleta a empujar o impulsarse contra el suelo para iniciar el esprín
El movimiento de los brazos es anormalmente corto y tenso	Error de comprensión del balanceo natural de los brazos	Se enseña al atleta (a) a echar los codos hacia abajo y atrás o (b) a bajar las manos y desplazarlas hacia atrás simulando que está tirando de una cuerda. Además, se indica al atleta que permita que las manos sobrepasen ampliamente la cintura, además de dejar que los brazos se recuperen en la línea media del cuerpo (línea invisible que parte de la nariz y atraviesa el

		ombligo)
Tensión innecesaria en los músculos dorsales; hiperextensión del cuello	Error de comprensión del movimiento	Se enseña al atleta a que mantenga la cabeza alineada con la columna vertebral, mientras el torso y la cabeza se elevan al unísono durante las fases de aceleración y transición del esprín
El atleta «salta» en la primera zancada o da un paso por encima de la rodilla de la pierna de apoyo	El ángulo de despegue del pie es demasiado alto; el impulso ascendente es excesivo	Se enseña al atleta a iniciar el movimiento impulsándose contra el suelo y dejando que la pierna en fase de balanceo «corte» horizontalmente la espinilla de la pierna de apoyo, en vez de avanzar por encima de ella. Además, se puede indicar al atleta que mantenga cerca del suelo el pie de la pierna en fase de balanceo para iniciar una correcta fase de aceleración
Postura erguida prematura	Fuerza insuficiente para la fase de despegue del pie; postura incorrecta de la cabeza	Se ordena al atleta que continúe empujando contra el suelo mientras mantiene una inclinación natural del tronco. También se indica al atleta que mantenga la cabeza alineada con la columna vertebral, ya que levantar la cabeza puede conllevar una repentina incorporación del torso, lo cual termina afectando a los patrones de aceleración
VELOCIDAD MÁXIMA		
El atleta intenta superficialmente mantener una fase de aceleración cuando las espinillas están claramente verticales	Conocimiento incorrecto de los patrones de movimiento	Se ordena al atleta que, a medida que las espinillas y las caderas se aproximen a la vertical, también lo hagan el torso y la cabeza. Se anima al atleta a que experimente la elevación de las caderas, para que las articulaciones (de los hombros a las caderas y a los tobillos) se mantengan alineadas. Esta postura permite la correcta transmisión de fuerzas contra la superficie sobre la que se corre
El atleta no muestra una mecánica anterior óptima respecto a la altura de la rodilla de la pierna en fase de balanceo	Insuficiente producción de fuerza	Se recuerda al atleta que la altura de la pierna en fase de balanceo (tradicionalmente denominada mecánica anterior) no es nada más que una manifestación de las fuerzas de reacción contra el suelo. Indicar incorrectamente a un atleta que levante las rodillas tal vez cause un deterioro de la transmisión correcta de fuerzas y, en definitiva, un cambio de la musculatura que se usa naturalmente durante el esprín
El atleta genera un excesivo balanceo anterior de la pierna	Conocimiento erróneo de la aplicación de fuerza	El éxito en las pruebas de velocidad es producto de la habilidad para generar elevadas fuerzas verticales en muy poco tiempo. Un atleta que genere un excesivo balanceo anterior de la pierna estará intentando aumentar la velocidad alargando el tiempo de contacto con el suelo, lo cual, en último término, frustra los

		efectos del ciclo de estiramiento-acortamiento. Hay que pedir a los atletas que «corran por su calle» y mantengan el ciclo natural de la marcha
El atleta refiere una lesión o dolor crónico de los isquiotibiales	Movilidad insuficiente, posición incorrecta de la pelvis	Hay muchas posibilidades de que se produzca una lesión de isquiotibiales durante la fase de balanceo de la pierna en la prueba de velocidad debido a las fuerzas excéntricas (elongación). El atleta se ve más comprometido incluso cuando manifiesta inclinación anterior de la pelvis durante la carrera. Antes de entrenar o competir, se tiene que intervenir con terapia de movilidad y terapia para los tejidos blandos con el fin de estabilizar la pelvis en una posición neutra
El atleta intenta la acción de cambio de posición de las piernas, con lo cual aumenta el tiempo para completar la fase de balanceo de la pierna. Esto resulta aparente por el hueco entre las rodillas durante la fase estática	Aplicación incorrecta de fuerza	Se ordena al atleta que lleve el pie hacia abajo y atrás sobre la pista, en vez de «rasparla». Debido al movimiento aparentemente horizontal del pie durante el esprín, los entrenadores a veces dan la orden errónea de restregar el pie en la pista. Restregar el pie horizontalmente contra la pista impide que el atleta aproveche las fuerzas verticales, sobrecargando el ciclo de estiramiento-acortamiento para que incida sobre la pista
El atleta muestra un movimiento erróneo de los brazos en el plano transverso	Conocimiento incorrecto del patrón de movimiento	Aunque tradicionalmente los entrenadores hayan afirmado que el movimiento errático de los brazos es un síntoma de cansancio, muchos estudios de la literatura sugieren que la velocidad queda limitada por la aplicación de fuerza mecánica, no por la eficacia metabólica. Según este nuevo modelo, los entrenadores deben hacer hincapié en mover los brazos hacia abajo y atrás mientras se mantiene el torso erguido. Además, el entrenador debe recomendar al atleta que la recuperación del brazo que se balancea se sitúe cerca de la línea media del cuerpo con el fin de aprovechar el arco natural de movilidad de la articulación glenohumeral

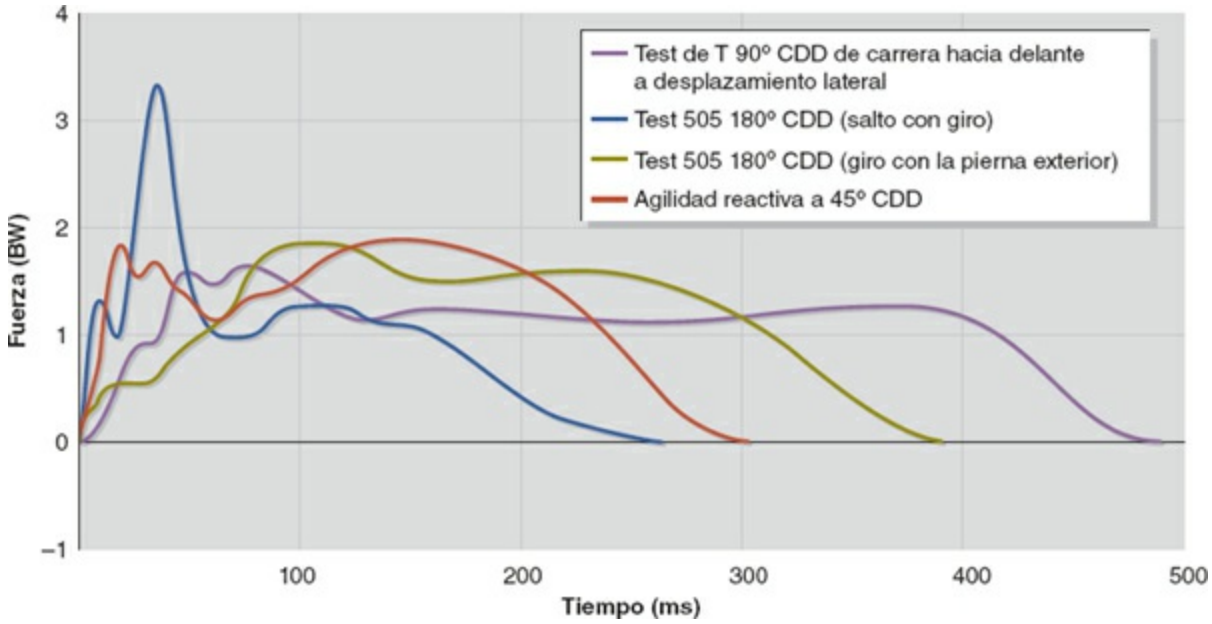


FIGURA 19.9 Comparación de la fuerza de reacción contra el suelo y los instantes de contacto durante diversas maniobras de agilidad y cambios de dirección (CDD).

La prueba empleada para la evaluación de la agilidad tendrá un impacto sobre la percepción de est¡ capacidad del atleta. Se emplea una plétora de test para evaluar la «agilidad», si bien los test en los que interviene la reacción del atleta se deben considerar pruebas de cambio de dirección, y toda prueba que contenga un estímulo de reacción es hoy en día, por definición, una prueba de agilidad en la mayoría de los deportes. Además, los requisitos del test tal vez comprendan una evaluación previa de factores distintos a la capacidad para los cambios de dirección o los requisitos perceptivo-cognitivos. Por lo tanto, hay que informarse y ser crítico respecto a las pruebas usadas para evaluar la «agilidad» o los «requisitos perceptivo-cognitivos». Por ejemplo, si el test de agilidad de Illinois, que se utiliza a menudo con futbolistas (91), se emplease después del entrenamiento de pretemporada, las mejoras en el rendimiento durante est¡ prueba podrían deberse a la mejora de la capacidad metabólica y no necesariamente a una mejora de la capacidad para cambiar de dirección. Esto es atribuye a la duración del test de Illinois, que impone una mayor exigencia metabólica que otras pruebas más cortas.

Sin embargo, hay que reparar en que incluso pruebas de longitud similar, como el test 505 tradicional, el test 505 modificado (el 505 sin la carrera de aproximación de 10 m) y el test en carrera de L usado con los mismos atletas mantienen solo una relación moderada (31), lo cual revela que no todas evalúan la misma capacidad para los cambios de dirección ni todas apuntan a

los mismos requisitos físicos. Esto resulta más evidente cuando uno se apercibe que algunas pruebas requieren un rápido cambio de dirección mientras que otras precisan múltiples cambios de dirección. Las pruebas con múltiples cambios de dirección requieren a menudo mayor capacidad para rodear un objeto o cono manteniendo la máxima velocidad posible, en comparación con un cambio brusco de dirección, que exige una rápida desaceleración. Por lo tanto, pruebas como el test de agilidad de Illinois o el test en carrera de L que requieren tomar una curva para mantener la velocidad en lugar de dar un cambio agresivo de dirección se podrían considerar pruebas de maniobrabilidad (58). Una vez dicho esto, la tabla 19.2 nos aporta ejemplos de pruebas y ejercicios de agilidad, así como para los cambios de dirección que contemplan los distintos requisitos físicos dentro del ámbito de la «agilidad». Se debe tener en cuenta el aspecto más importante del deporte en cuestión al determinar la agilidad y la capacidad para los cambios de dirección, así como plantearse el someter a prueba y monitorizar diversos tipos de cambios de dirección y capacidades perceptivo-cognitivas necesarios durante las verdaderas pruebas de agilidad.

Capacidad para los cambios de dirección

Tal y como se acaba de afirmar, hay que entender que la capacidad mensurable de un atleta para los cambios de dirección tal vez varíe dependiendo de la exigencia impuesta por la prueba elegida para los cambios de dirección. En consecuencia, tal vez resulte beneficioso elegir distintas pruebas que midan est¡ capacidad con distintas velocidades de frenado, con múltiples cambios de dirección, o, como se expondrá, como reacción a un escenario, un oponente o un estímulo. Otra consideración sobre la capacidad para los cambios de dirección es la orientación del cuerpo, que permite la desaceleración durante la fase de transición mientras el atleta se detiene, y luego la postura mientras vuelve a acelerar al terminar el cambio de dirección. Por tanto, la posición del tronco influye en la ejecución del cambio de dirección, por lo que es una combinación de la capacidad para desacelerar, reorientar el cuerpo y encarar o encarar parcialmente la dirección del siguiente recorrido y luego volver a acelerar explosivamente, lo que realmente determina la capacidad para los cambios de dirección. No se tratarán aquí otras mediciones antropométricas ni su relación con la capacidad para los cambios de dirección, dado que aspectos como la altura y la longitud de las extremidades no son modificables por el especialista de la

fuerza y el acondicionamiento físico. En cambio, la altura del centro de masa del cuerpo está relacionada con la mejora de la ejecución de cambios laterales de dirección (78), y es un aspecto que se puede trabajar activamente durante el entrenamiento.

TABLA 19.2 Aspectos de la agilidad que se ponen a prueba o se entrenan en distintos ejercicios y test

	Velocidad de los cambios de dirección	Maniobrabilidad	Capacidad perceptivo-cognitiva	Requisito metabólico* (duración media del test)
Prueba de agilidad reactiva	✓		✓	< 3 s
Test 505	✓			< 3 s
Prueba de agilidad de 10 × 5 metros	✓			< 5 s
Test de T	✓	✓		< 12 s*
Test de agilidad de Illinois		✓		< 12 s*
Test en carrera de L		✓		< 6 s

*La duración de la prueba tiene mucha influencia en los requisitos metabólicos y en si los cambios en la ejecución de la prueba se pueden convertir en una función de la condición física mejorada en vez de estar directamente relacionados con mejoras en la agilidad para los cambios de dirección.

Fuente: Datos de las referencias bibliográficas 31, 60, 63, 75, 79, 90, 91 y 97.

En general, ha quedado demostrado que la capacidad para los cambios de dirección entre distintos patrones de movimiento (recortes de diverso grado) mejora al aumentar la capacidad de extensión de las caderas (la rápida aplicación de fuerza por los músculos extensores de cadera), con un centro bajo de altura de masa, con un aumento del impulso de frenado y el impulso de propulsión, con un aumento de la flexión de las rodillas que inician el cambio de dirección, con la reducción del desplazamiento angular del tronco que inicia el cambio de dirección (fase de desaceleración) y con un aumento de la inclinación lateral del tronco (durante cambios de dirección de 180°) (15, 70, 78, 83, 84, 86). Al igual que la capacidad para desacelerar, mantener la postura del cuerpo y luego volver a acelerar es importante en las tareas de cambio de dirección descritas por los requisitos cinéticos y cinemáticos de las acciones de agilidad y los cambios de dirección más rápidos, queda claro que se necesita un enfoque bien planteado para el desarrollo de la fuerza que contemple las capacidades de fuerza dinámica, isométrica y sobre todo excéntrica para mejorar la ejecución de cambios de dirección (41, 86). En

contraste con el desarrollo de la capacidad de esprintar, se recomienda que los atletas se sometan a un entrenamiento que permita al sistema neuromuscular adaptarse eficazmente a las cargas requeridas durante la fase de frenado, habiendo asimilado que los requisitos neuromusculares para poder frenar se deben entrenar específicamente usando contracciones excéntricas de gran velocidad (28), como las que ocurren al aterrizar después de caer desde una altura, al aterrizar de un salto soportando una carga, o en la fase de recepción de una cargada de potencia o una arrancada de fuerza. Todas estas acciones imponen distintas exigencias de carga excéntrica a las caderas, rodillas y tobillos (56).

Capacidad perceptivo-cognitiva

Cuando existe la capacidad física para cambiar de dirección con rapidez, nos podemos centrar en los componentes de la capacidad perceptivo-cognitiva que se deben desarrollar para aunar la capacidad de actuar física y mentalmente sobre el terreno de juego. La capacidad perceptivo-cognitiva contiene varios componentes: el barrido visual, la anticipación, el reconocimiento de patrones, la percepción de la realidad, la toma de decisiones, la sincronización y la precisión, y el tiempo de reacción (75, 77, 83, 97, 98). Muchos de estos aspectos del desarrollo son específicos del deporte, y una exposición generalista queda fuera del alcance de este manual. Sin embargo, los ejercicios generales para mejorar estas destrezas se exponen en la sección sobre los métodos para desarrollar la agilidad.

Pautas técnicas e instrucción deportiva

En comparación con los esprines, la agilidad y los cambios de dirección tienen un mayor número de grados de libertad debido a la multitud de movimientos que ocurren durante un cambio de dirección. Además, la agilidad, restringida o determinada por los oponentes u otras restricciones tácticas, no se puede entrenar mediante una sola técnica. No obstante, las siguientes son algunas pautas técnicas y sugerencias de instrucción.

Foco visual

- Al cambiar de dirección como respuesta a la presencia de un contrario (sea en ataque o en defensa), el atleta se debe centrar en los hombros, el

tronco y las caderas.
- Después de la anticipación de la acción, a menos que se intente una finta, el atleta debe reconducir rápidamente la atención a una nueva área para ayudar a dirigir la transición del cuerpo.

Posición del cuerpo durante el frenado y la nueva aceleración

- Control del tronco encaminado a la desaceleración (disminución del movimiento del tronco) (70).
- Durante la fase estática, se reorienta el tronco y las caderas en la dirección pretendida del nuevo movimiento para permitir una nueva y más eficaz aceleración (15).
- Al igual que con la mecánica de la aceleración, la inclinación del cuerpo es fundamental para la correcta aplicación de fuerza contra el suelo con la poderosa alineación de los tobillos, rodillas y caderas, y a través del tronco y los hombros.
- El inicio y final de los cambios de dirección se debe producir con un centro de masa más bajo; al practicar cambios de dirección con pasos laterales, es vital mantener bajo este centro de masa (78).

Acción de las piernas

- Se garantiza que el atleta pueda disipar eficazmente o tolerar las cargas excéntricas de la acción de frenado en todo un arco eficaz de movimiento de la rodilla para evitar un estilo de frenado con las piernas rígidas (81, 83).
- Se hace hincapié en «ejercer fuerza para alejarse del suelo» con el fin de mejorar el rendimiento, sobre todo durante el aprendizaje en ejercicios cerrados. El foco externo de atención —mediante instrucciones para centrarse en el suelo en vez de en una parte del cuerpo— ha demostrado mejorar la ejecución de los cambios de dirección (64).

Acción de los brazos

- Se deben usar acciones poderosas con los brazos para facilitar la impulsión con las piernas.
- Se garantizará que la acción de los brazos no sea contraproducente (es decir, que no cause una disminución de la velocidad o eficacia), sobre

todo durante la transición entre cambios complicados de dirección (p. ej., de correr de espaldas a esprintar hacia delante).

Objetivos del entrenamiento

Los tres objetivos de la agilidad son mejorar la capacidad perceptivo-cognitiva en diversas situaciones y escenarios tácticos, frenar con rapidez y eficacia del propio momento, y volver a acelerar con rapidez en la nueva dirección. Para cumplir esos objetivos, hay que hacer hincapié en lo siguiente:

- Dirigir el foco visual hacia los hombros, tronco y caderas del contrario con el fin de aumentar la capacidad perceptiva para anticipar el movimiento de un contrario en ataque o defensa (75).
- Orientar el cuerpo en una posición que permita una eficaz aplicación de fuerzas contra el suelo para potenciar al máximo la capacidad de frenado y aumentar la velocidad a la que se consigue frenar con rapidez, así como la dirección de movimiento contra la que hay que frenar (correr hacia delante, correr hacia atrás o desplazarse con pasos laterales) (15, 70, 78, 83, 84, 86).
- La capacidad de mantener una buena postura después de frenar, reorientar el cuerpo en una postura que esté de cara a la nueva dirección y aplicar eficazmente la mecánica de la aceleración para reacelerar (58).

Métodos para desarrollar la rapidez

Desde un punto de vista práctico, la demostración de la rapidez correcta es el resultado de una buena programación que desarrolle de manera orgánica y madure una serie de destrezas en el atleta. Este enfoque orgánico respecto al entrenamiento del esprín es producto de un esquema de desarrollo y se basa en poner el énfasis y en rebajar la importancia de ciertas cualidades, como la aceleración y la velocidad máxima, dentro de cada fase del entrenamiento. Además, el plan de entrenamiento debe coordinar estas cualidades singulares por medio de una progresión de una fase a la siguiente. Un plan de entrenamiento bien elaborado destaca los componentes específicos que ayudarán a potenciar al máximo el potencial de movimiento del atleta.

Esprines

Aunque la variedad de estímulos del entrenamiento sea importante para optimizar el rendimiento atlético, también se puede argumentar que ningún ejercicio mejora tanto la velocidad al correr como los esprines a velocidad máxima. La capacidad de esprintar de un atleta depende de la generación de fuerzas elevadas en períodos cortos de tiempo (52, 93). Las adaptaciones neurológicas producto de planes de entrenamiento a largo plazo que hacen hincapié en la fuerza máxima y en la velocidad de movimiento mejoran tanto el IDF como la generación de impulso (1, 89). En el marco de la fuerza y el acondicionamiento físico, se prescriben los movimientos de halterofilia y el entrenamiento con saltos para desarrollar el IDF y el impulso con diversas cargas, puesto que estos movimientos aprovechan el CEA. De forma parecida, los esprines con el cuerpo erguido también usan el CEA, definiéndolo como un movimiento pliométrico. La exposición crónica a movimientos que activan el CEA puede aumentar la rigidez muscular, lo cual es una ventaja fisiológica potencial para esprintar (29).

Además, esprintar requiere una activación muscular máxima o casi máxima, lo cual depende de una elevada actividad del sistema nervioso central. Esta actividad se denomina a menudo *codificación del índice* (47, 68). Cuando la frecuencia de las señales alcanza un umbral, el músculo esquelético ya no se relaja por completo entre estímulos (47). Esa relajación incompleta conlleva contracciones más forzadas y un mayor IDF en las siguientes contracciones (57). Además, la exposición crónica a esprines tal vez consiga mejoras en el control musculoesquelético gracias al sistema nervioso central. Esto se traduciría en una relación cíclica de dosis-respuesta, ya que las adaptaciones neurofisiológicas de las sesiones previas potenciarían el entrenamiento subsiguiente. En un esfuerzo por mejorar la fuerza requerida o conseguir potenciales adaptaciones neuromusculares para mejorar el esprín, se suelen emplear técnicas de entrenamiento con esprines resistidos o asistidos. Los beneficios propuestos, los inconvenientes potenciales y las consideraciones referentes a la instrucción técnica se ponen de manifiesto en la tabla 19.3.

Fuerza

Tal y como se ha puesto de manifiesto en este capítulo, la rapidez en los esprines se apuntala con la capacidad del atleta para producir grandes fuerzas en un breve período de tiempo. Estas fuerzas deben ser lo bastante grandes

como para: (*a*) sostener el peso del cuerpo en presencia de la gravedad, y (*b*) desplazar el cuerpo por medio de un incremento de la velocidad (52). Por eso, muchos especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico son conscientes de la importancia del entrenamiento con pesas para el desarrollo de atletas especializados en esprines. Un aspecto central en la exposición sobre el entrenamiento de la fuerza es la mejor forma de transferir las cualidades de la fuerza recientemente adquiridas de la sala de pesas a la pista de atletismo (96). La transferencia de las mejoras de la fuerza al esprín tal vez exija poner el énfasis en la especificidad del entrenamiento. Esta transferencia del efecto del entrenamiento contempla el grado de adaptación del rendimiento y tal vez sea producto de las similitudes entre los patrones de movimiento, los picos de fuerza, el IDF, la aceleración y los patrones de velocidad de un ejercicio y el entorno deportivo (87).

Aunque el entrenamiento de la fuerza máxima pueda ser beneficioso, el entrenamiento debe dar prioridad a que se manifiesten las cualidades de la rapidez-fuerza y la fuerza máxima (34). La selección de ejercicios y movimientos que briden oportunidades para desplegar fuerzas y velocidades similares a las de los esprines tal vez obtenga los máximos beneficios a la hora de mejorar la codificación del índice y la frecuencia de activación, además de las alteraciones de las fibras musculares tipo II, como el área transversal y la longitud de los fascículos (30, 33). Por ejemplo, las evidencias sugieren que los movimientos de halterofilia y sus derivados como la cargada, la arrancada y los tirones hasta mitad del muslo tal vez mejoren el rendimiento en el esprín por medio de adaptaciones fisiológicas como rigidez muscular, mejora del IDF y coactivación de la musculatura que rodea las caderas y las rodillas (6, 18, 24).

Movilidad

Aunque no sea una variable cinética, la manipulación de los tejidos blandos se ha convertido en una práctica de creciente uso para el desarrollo de los atletas de velocidad. Entrenadores y preparadores físicos dependen de herramientas como estiramientos, atención quiropráctica, masajes y técnicas de liberación miofascial para lograr una movilidad óptima del estado dinámico. La movilidad es la libertad de la extremidad de un atleta para moverse en un arco de movilidad deseado, mientras que la flexibilidad es el arco de movilidad total de una articulación. Sabiendo que las características

posicionales se encuentran entre diversos factores limitadores del rendimiento, los entrenadores se deben asegurar primero de que se garantiza la integridad ortostática correcta antes del inicio de los entrenamientos o la competición.

Basándose en los conceptos teóricos previamente descritos de la rapidez, el modelo actualmente aceptado de esprín se basa en la capacidad del atleta para producir y superar las fuerzas de reacción contra el suelo en un corto período de tiempo. Además, mientras que estas fuerzas de reacción contra el suelo ayudan a alcanzar la longitud óptima de zancada mediante la propulsión hacia delante, la posición del velocista en el aire tal vez esté limitada por una insuficiente movilidad. Específicamente, el atleta tal vez posea las características físicas necesarias para generar grandes índices de fuerza en poco tiempo, pero el compromiso con la libertad de movimiento de las articulaciones se traducirá en fuerzas extraviadas. La proyección incorrecta de fuerzas debido a un contacto erróneo con el suelo frenará la velocidad del esprín y aumentará la posibilidad de una lesión.

Métodos para desarrollar la agilidad

Como se ha explicado a lo largo de este capítulo, se precisa un enfoque multifactorial para desarrollar los aspectos físicos y perceptivo-cognitivos necesarios para una mejora continua de la agilidad. Por tanto, hay que plantearse un plan que aborde el afianzamiento de las capacidades físicas usando diversas estrategias para desarrollar la fuerza, la competencia técnica en un ámbito de ejercicios cerrados para las destrezas con acciones específicas del movimiento (la capacidad para cambiar de dirección) y la mejora de la capacidad perceptivo-cognitiva mediante ejercicios de agilidad y aspectos inherentes de la práctica de destrezas (58).

TABLA 19.3 Entrenamiento asistido y resistido para el desarrollo de la rapidez

Tipo de entrenamiento	Ejemplo de modalidades de ejercicio	Beneficios potenciales	Desventajas potenciales	Sugerencia de uso práctico
Entrenamiento asistido (p. ej., entrenamiento de hipervelocidad)	Comprende modalidades como remolcar un lastre con cuerdas, desplazamientos con gomas a favor, correr cuesta abajo con la intención de que el atleta corra a velocidades supramáximas	Teóricamente, estas herramientas para el entrenamiento se usan con la esperanza de exponer al atleta a mayores velocidades que la que puede alcanzar sin asistencia, introduciendo para ello una mayor frecuencia de zancada. La hipótesis es que esto puede lograr adaptaciones neuromusculares para aumentar la velocidad máxima en los esprines	Los esprines asistidos tal vez anticipen prematuramente la fase estática de la marcha, restando tiempo necesario para ejercer fuerzas apropiadas, y se ha demostrado que disminuyen la activación muscular y la producción de fuerza propulsiva en comparación con correr al máximo (55). Por tanto, con frecuencia se observa lo que se puede describir como pasos «entrecortados» Los ejercicios que dependen de remolcar a los atletas tal vez aumenten las fuerzas de frenado en comparación con correr al máximo (55), ya que los atletas intentan tolerar fuerzas que no pueden generar o acomodar naturalmente como resultado de la eficacia biomecánica, del estado de entrenamiento o ambos. Esprintar cuesta abajo expone al atleta a fuerzas excéntricas innecesarias por la modificación de la pierna en apoyo debido a tener que «encontrar el suelo». Esto tal vez también afecte al CEA, que se optimiza si el apoyo del pie ocurre justo delante del centro de masa durante el contacto con el suelo al esprintar erguidos por una superficie lisa (55) Hasta la fecha, muy pocos estudios respaldan la implementación del entrenamiento de hipervelocidad, ya que el éxito en los esprines es producto de la capacidad del atleta para generar grandes fuerzas en un corto tiempo de contacto con el suelo	El esprín a velocidad máxima se debe desarrollar con herramientas de entrenamiento más naturales y seguras, que tengan en cuenta el estado de entrenamiento del atleta y respalden una biomecánica óptima Los entrenadores deben evaluar cuidadosamente las implicaciones de las modalidades de asistencia antes de usarlas
Entrenamiento resistido	Comprende modalidades de entrenamiento como remolcar un trineo, aprovechar la resistencia del viento, esprintar por terreno inclinado y empujar un trineo con la intención de mejorar la capacidad de aceleración del atleta	Acentúa la biomecánica de la fase de aceleración al poner al atleta en una posición que favorece ángulos más bajos del torso, las caderas y las espinillas El esprín resistido tal vez mejore la capacidad del atleta para recorrer con rapidez distancias cortas al sobrecargar la fase de aceleración, con lo que los tiempos de contacto con el suelo producen mayores fuerzas de propulsión Mejorar la aceleración, que es un cambio en la velocidad, tal vez logre un aumento de la rapidez máxima al mejorar el índice de desarrollo de la fuerza	Acentúa la biomecánica de la fase de aceleración al poner al atleta en una posición que favorece ángulos más bajos del torso, las caderas y las espinillas El esprín resistido tal vez mejore la capacidad del atleta para recorrer con rapidez distancias cortas al sobrecargar la fase de aceleración, con lo que los tiempos de contacto con el suelo producen mayores fuerzas de propulsión Mejorar la aceleración, que es un cambio en la velocidad, tal vez logre un aumento de la rapidez máxima al mejorar el índice de desarrollo de la fuerza	Entrenadores y atletas que intentan mejorar la fase de aceleración de un esprín tal vez adopten modalidades de entrenamiento resistido que mantengan la biomecánica normal implicada en los esprines sin resistencia Las cargas se deben elegir basándose en el contexto deportivo, pero teniendo también en cuenta el estado físico del atleta. Por ejemplo, los velocistas tal vez usen cargas que no reduzcan la velocidad en carrera más de un 10-12% (2, 39, 51, 42). Por el contrario, los atletas de deportes de campo que superan resistencias externas mientras practican bloqueos, placajes y melés pueden usar cargas equivalentes al 20% o al 30% del peso corporal para mejorar los 5-10 m iniciales de movimiento (20, 42)

CEA = ciclo de estiramiento-acortamiento.

Fuente: Datos de las referencias bibliográficas 2, 20, 40, 42, 49, 51 y 55.

Fuerza

De forma parecida a los aspectos del desarrollo de la fuerza para la rapidez, el desarrollo de la fuerza para la agilidad debe hacer hincapié en la fuerza relativa y en distintas cualidades de la fuerza-velocidad, junto con el espectro de la fuerza-velocidad. Sin embargo, hay que tener en cuenta el desarrollo adicional de la fuerza excéntrica del atleta debido a las grandes fuerzas de frenado que se producen durante los movimientos de agilidad y los cambios de dirección. Esto significa que los ejercicios de entrenamiento incluirán todo un espectro de perfiles de carga-velocidad en la sala de pesas (32), así como diversas actividades del perfil de carga-velocidad en el terreno de juego, como las sentadillas con salto, los saltos de contramovimiento, y caer desde una altura y salto de diversas alturas en combinación con los mismos ejercicios de agilidad y cambio de dirección. La naturaleza multifactorial de la agilidad garantiza un abordaje bien organizado del desarrollo de la fuerza. La tabla 19.4 ofrece un ejemplo del modo en que el entrenamiento en la sala de pesas y en el terreno de juego satisface los requisitos de la fuerza necesarios para la agilidad. Entender que los atletas desarrollarán los requisitos físicos antes de ser capaces de transferir la fuerza recientemente adquirida a la competencia técnica ayuda a entrenadores y atletas a darse cuenta de que las mejoras del rendimiento se situarán por detrás de los requisitos físicos fundamentales para una destreza técnica dada (88).

Capacidad para cambiar de dirección

De forma parecida a la progresión de las actividades pliométricas basada en la intensidad y dificultad de cada ejercicio, los ejercicios cerrados de cambio de dirección pueden avanzar de nivel principiante a intermedio y luego avanzado basándose en las exigencias de la carga física que se han expuesto en este capítulo. La tabla 19.5 presenta un ejemplo de progresión de ejercicios para la capacidad del cambio de dirección (ambos cambios rápidos de dirección y otros asociados con la maniobrabilidad), así como un plan de progresión para los ejercicios de agilidad. La carga física durante los ejercicios de agilidad será mayor que los ejercicios de cambio de dirección para principiantes. Por lo tanto, la tabla 19.5 aporta a los practicantes una serie de ejercicios y una pauta para la seguridad y el eficaz avance de los atletas, para que se puedan basar en los atributos físicos y técnicos mientras mejoran.

Capacidad perceptivo-cognitiva

Durante años de entrenamiento de las destrezas (en el deporte), los atletas mejoran continuamente el barrido visual y el reconocimiento de patrones y de la situación, mientras que en los ejercicios para mejorar la agilidad (aparte de la práctica de las destrezas) se centran sobre todo en mejorar la anticipación, el tiempo para la toma de decisiones y la precisión. Del mismo modo que uno aumenta las exigencias de una tarea física para mejorar continuamente el rendimiento, se puede entrenar la capacidad perceptivo-cognitiva (tabla 19.5). Por tanto, las actividades de agilidad deben comenzar añadiendo un componente perceptivo-cognitivo a los habituales ejercicios cerrados para los cambios de dirección. Por ejemplo, las desaceleraciones o el ejercicio en Z se convierten en ejercicios de agilidad si se incluye un estímulo genérico como un silbato, una orden del entrenador, una flecha de luz parpadeante o una luz (76, 97). Después del éxito de los ejercicios de agilidad antes mencionados, la progresión exige actividades que presenten estímulos específicos del deporte, como ejercicios de evasión y partidos de entrenamiento en campo pequeño, de los cuales se ha dicho que consiguen una mejor transferencia del rendimiento (76, 97). Tanto los estímulos genéricos como los específicos aumentan la dificultad de un ejercicio dado de agilidad mediante un incremento progresivo del esfuerzo temporal o espacial del deportista.

Diseño de programas

El diseño de programas comprende la planificación a diversos niveles, cada cual con sus propias consideraciones: microciclos (a corto plazo), mesociclos (a medio plazo) y macrociclos (a largo plazo). El proceso se denomina periodización. La **periodización** es la manipulación estratégica de la preparación de un atleta mediante el empleo de una secuencia de fases de entrenamiento definidas por ciclos y fases de sobrecarga. Estas sobrecargas planificadas varían en orden para facilitar la integración de tácticas de programación que armonizarán la relación entre el cansancio inducido por el entrenamiento y la acomodación (22). Además, el proceso de periodización se dirige con la información recabada durante el proceso de monitorización del atleta. Específicamente, mientras el atleta avanza durante una fase del entrenamiento, la información contrastada que se adquiere mediante diversas estrategias de monitorización ayuda a mostrar cómo está respondiendo a corto plazo al estímulo del entrenamiento y cómo debe seguir su desarrollo a

a largo plazo; es decir, cómo hay que modificar el programa de entrenamiento original para que refleje las respuestas al entrenamiento.

En cada nivel del desarrollo del plan de entrenamiento, los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico deben manipular ciertas variables. Aunque son útiles para caracterizar el programa y calendario de entrenamiento, así como para cuantificar las sobrecargas, los entrenadores también deben tener presente que hay que considerar cada variable individualmente, así como su influencia en el sistema colectivo. Además, se deben usar las respuestas del atleta al entrenamiento, que revelan su monitorización, para la manipulación de estas variables.

TABLA 19.4 Comparación del interés por el desarrollo de la agilidad en atletas novatos y de nivel avanzado

Requisitos de fuerza	Atletas novatos (asociados con la sala de pesas)	Atletas novatos (ejercicios en cancha y en el terreno de juego)	Atletas de nivel avanzado (asociados con la sala de pesas)	Atletas de nivel avanzado (ejercicios en cancha y en el terreno de juego)
Fuerza dinámica Necesaria para aportar fuerza base para todo el entrenamiento posterior, así como para garantizar una movilidad adecuada durante el entrenamiento en carga y con el peso del cuerpo	Ejercicios con el peso del cuerpo	Trabajo de «conciencia corporal», como ejercicios de inclinación	Sentadilla (y variaciones) Tirones (y variaciones)	Diversos ejercicios de cambio de dirección
Fuerza explosiva concéntrica (Tal vez incluya trabajo de fuerza isométrica) Necesaria para reacelerar con eficacia después de la fase de frenado o para mantener una posición de fuerza durante la fase de transición en el cambio de dirección o en los movimientos de agilidad	Saltos a un cajón	Ejercicios de aceleración	Saltos a un cajón Levantamientos olímpicos Sentadillas con salto (con carga)	Ejercicios avanzados de aceleración (p. ej., empujar un trineo)
Fuerza excéntrica Necesaria para desarrollar la capacidad de amortiguar con eficacia la carga requerida durante la fase de frenado del cambio de dirección o del movimiento de agilidad	Aterrizajes cayendo desde una altura	Ejercicios de desaceleración (haciendo hincapié hacia delante)	Aterrizajes cayendo desde una altura y fuerza requerida durante la fase de recepción de los levantamientos olímpicos Entrenamiento excéntrico acentuado	Ejercicios de desaceleración (velocidad elevada y diversos ángulos)
Fuerza reactiva Necesaria para aumentar la capacidad de transferencia de una carga excéntrica elevada a explosividad concéntrica	—	Ejercicios pliométricos para principiantes	Saltos con carga Caer desde una altura y salto Entrenamiento complejo	Ejercicios pliométricos avanzados
Fuerza multidireccional Necesaria para mantener con fuerza la postura del cuerpo durante la multitud de exigencias de los movimientos	Tijeras	CDD a velocidad baja (p. ej., ejercicio en Z) Ejercicios de CDD lateral, hacia atrás y adelante	Levantamientos unilaterales Levantamientos con mayor grado de libertad (p. ej., la mina terrestre)	Ejercicios de CDD a gran velocidad Ejercicios de CDD con ángulos de corte de gran dificultad
Capacidades perceptivo-cognitivas Necesarias para progresar en el barrido visual, la anticipación eficaz y la toma de decisiones	—	Ejercicios sencillos de reacción: Introducción de una incertidumbre espacial o temporal creciente	—	Partidos en campo pequeño Ejercicios de agilidad con varias restricciones espaciales y temporales importantes

CDD = Cambio de dirección.

Fuente: Adaptado, con autorización, de Nimphius, 2014 (58).

TABLA 19.5 Progresión de los ejercicios de agilidad y para los cambios de dirección

Componente de agilidad	Principiantes	Nivel intermedio	Nivel avanzado
Cambio de dirección	Ejercicios de desaceleración (hacia delante) que progresan a una velocidad de entrada superior o una menor distancia para frenar Patrones básicos de movimiento hacia delante, atrás y laterales Ejercicios de cambio de dirección que implican velocidades bajas (menos de 4,5 m de aceleración para el cambio de dirección); el ejercicio en Z, por ejemplo	Ejercicios de desaceleración (lateral) con las mismas progresiones que hacia delante Se amplían para incluir gran variedad de ángulos inferiores a 75° en los recortes Tal vez aumente la velocidad de entrada durante los ejercicios (hasta 9,5 m de aceleración hasta el cambio de dirección)	De desaceleración a reaceleración, tanto hacia delante como hacia los lados Se amplían para incluir una gran variedad de ángulos de recorte inferiores a 75°
«Maniobrabilidad»	Ejercicios básicos o pruebas como el test de agilidad de Illinois que exigen correr casi en línea recta con ligeras curvas	Ejercicios que aumentan la dificultad para tomar la «curva» como el test en carrera de L Ejercicios que requieren una transición entre modos de movimiento (pasos laterales, esprín y correr de espaldas), como el test de T	
Agilidad	La competencia física y técnica debe quedar demostrada antes de incorporar ejercicios de agilidad	Ejercicios de cambio de dirección en las categorías principiante y nivel avanzado con la adición de estímulos sencillos (flecha, apuntar en cierta dirección) Estos ejercicios presentan un número limitado de opciones para el atleta, quien tiene que reaccionar (p. ej., derecha o izquierda, adelante o atrás) a la señal	Se amplían para introducir mayores grados de incertidumbre espacial y temporal (y, por tanto, mayor tensión perceptivo-cognitiva) Partidos de entrenamiento en campo pequeño Juegos y ejercicios de evasión

Fuente: Adaptado, con autorización, de Nimphius, 2014 (58).

- El intervalo de ejercicio (o trabajo): La duración o distancia sobre la cual se ejecuta una repetición.
- El orden de los ejercicios: La secuencia en que se ejecuta una serie de repeticiones.
- La frecuencia: El número de sesiones de entrenamiento practicadas en un período de tiempo (p. ej., un día o una semana).
- La intensidad: El esfuerzo con el que se ejecuta una repetición (% del máximo).
- El intervalo de recuperación (descanso): El período de tiempo entre repeticiones y series.
- La repetición: La ejecución de una sobrecarga específica asignada o una técnica de movimiento.
- La serie: Un grupo de tandas e intervalos de recuperación.

- La tanda: Un grupo de repeticiones e intervalos de descanso.
- El volumen: La cantidad de trabajo (p. ej., tres tandas de cinco repeticiones) practicada en una sesión de entrenamiento o en un período de tiempo.
- La relación entre trabajo y descanso: La densidad relativa de ejercicio y los intervalos de descanso en una tanda, expresada como una relación.
- El volumen de carga: La densidad de volumen practicada a las intensidades prescritas, por ejemplo, tres tandas de cinco repeticiones con 100 kg se traducen en un volumen de carga de 1.500 kg.

En el capítulo 21 se explica la periodización de los programas de entrenamiento resistido, y los mismos conceptos son aplicables al entrenamiento del esprín, los cambios de dirección y la agilidad.

Estrategias para el desarrollo de la velocidad

El proceso de planificación para el desarrollo de la velocidad es muy parecido al usado por los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico en la sala de pesas. Específicamente, las tácticas de planificación se deben periodizar de manera que aborden los componentes físicos y psicológicos del esprín poniendo énfasis y rebajando la importancia de cualidades particulares en fases. La capacidad de un atleta para esprintar puede mejorar mediante la incorporación de períodos de entrenamiento diseñados para potenciar al máximo y saturar una cualidad de la condición física, lo cual tal vez refuerce los efectos del futuro programa de entrenamiento.

Con el fin de mejorar la rapidez, el especialista debe tener en cuenta la relación entre la locomoción humana y la producción de fuerza. A lo largo de este capítulo los autores han puesto de manifiesto un vínculo entre el éxito en los esprines y ciertos fenómenos fisiológicos. Los velocistas de elite desarrollan gran cantidad de fuerza en un corto período de tiempo. Este alto nivel de fuerza permite a los velocistas generar una mayor longitud de zancada a un ritmo más rápido. Este despliegue de movimiento en la pista es un reflejo de la mejoría de los factores neuromusculares, a saber, la fuerza máxima, el IDF y el impulso. Estas variables son el producto de protocolos de entrenamiento bien diseñados que tratan de mejorar cualidades como la hipertrofia de las unidades motoras específicas de la tarea, la frecuencia de activación, la codificación del índice y la rigidez de la unidad

musculotendinosa.

El ejemplo del desarrollo de la rapidez aportado en la tabla de aplicaciones muestra cómo las fases en secuencia del entrenamiento desarrollan sin fisuras el potencial de esprín mediante la maduración de las capacidades de aceleración antes de la ejecución de esfuerzos a velocidad máxima. Este modelo, que se denomina *método interválico intensivo corto a extensivo largo* de entrenamiento del esprín, es una progresión conceptual que trata de que aflore la relación entre los índices mayores de aceleración y las elevadas velocidades de esprín (de las cuales se habló con anterioridad en este capítulo) (23). Específicamente, un atleta que tome parte en un modelo corto a largo comenzará el año de entrenamiento poniendo énfasis en mejorar la producción de fuerza propulsiva por medio de esprines cortos que mantengan la biomecánica asociada con la fase de aceleración de un esprín. Más adelante, el atleta pasa a realizar un trabajo de esprín más largo cuya finalidad es mejorar la velocidad tope durante el despliegue de la mecánica en carrera en posición erguida. El concepto de este modelo propuesto es que el atleta tal vez aprecie más mejoras de la rapidez máxima si la producción de fuerza ocurre con una tasa ideal y en el momento preciso por medio de una inversión en el desarrollo y mejora de la aceleración (52).

Aplicación de estrategias para el desarrollo de la velocidad: Desarrollo en fases de un velocista de distancias cortas (100 m)

Bloque y énfasis	Herramienta de entrenamiento y notas	Prescripción de cargas (con períodos de descanso entre series) para la semana 1 de cada bloque
BLOQUE 1: *Objetivo primario:* Desarrollo de la aceleración	1. Los esprines por terreno inclinado sirven para que el atleta asuma la correcta mecánica de aceleración, lo cual proporciona una oportunidad de potenciar al máximo las fuerzas de propulsión en las fases iniciales de un esprín 2. Se hace hincapié en la recuperación de la pierna con el talón bajo, llevando el pie «hacia abajo y contra» el suelo; en la acción agresiva y completa de los brazos, y en mantener la cabeza en una postura neutra y «alineada con la columna»	**LUNES Y MIÉRCOLES:** **Esprines en terreno inclinado** 1 × 3 × 15 m (1,5 min) 1 × 4 × 20 m (2 min) **VIERNES:** **Esprines en terreno inclinado** 1 × 2 × 15 m (1,5 min) 1 × 3 × 20 m (2 min) 1 × 2 × 25 m (2,5 min)
BLOQUE 2: *Objetivo primario:* Desarrollo de la aceleración larga *Objetivo secundario:* Mejorar la transición al esprín con el cuerpo erguido *Objetivo terciario:* Exposición a la tolerancia física de la velocidad	1. A un ritmo constante, se va alejando al atleta de los esprines por terreno inclinado mediante la introducción gradual de esprines por terreno llano con salida agachada o con un mecanismo de arrastre o remolque 2. Se favorece la biomecánica correcta de la transición del esprín de la aceleración a la velocidad máxima mediante la inclusión de tramos en la postura de aceleración*	**LUNES:** **Esprines en terreno inclinado** 1 × 3 × 30 m (3 min) 1 × 3 × 40 m (4 min) **MIÉRCOLES:** **Salidas en flexión de brazos** 1 × 4 × 15 m (2 min) **Arrastrar un trineo** 2 × 3 × 20 m (2 min /4 min) **VIERNES:** **Salidas agachadas** 1 × 4 × 15 m (2 min) **Tramos en la postura de aceleración** 1 × 3 × 40 m (4 min)

Bloque y énfasis	Herramienta de entrenamiento y notas	Prescripción de cargas (con períodos de descanso entre series) para la semana 1 de cada bloque
BLOQUE 3: *Objetivo primario:* Introducción del entrenamiento de la velocidad máxima *Objetivo secundario:* Mantener la capacidad de acelerar *Objetivo terciario:* Continuar con la exposición a la tolerancia física de la velocidad; introducción a la tolerancia física especial	1. Mantener la capacidad de aceleración mediante la inclusión de esprines cortos al inicio de casi todas las sesiones 2. Iniciar la exposición al entrenamiento de la velocidad máxima mediante ejercicios que usen la mecánica de esprín con el torso erguido 3. Prescribir la tolerancia física de la velocidad o sesiones de tolerancia física especial al final de la semana cuando los efectos del cansancio acumulado tal vez ralenticen el impulso neuronal	**LUNES:** **Salidas de los tacos** 1 × 2 × 20 m (2,5 min) 1 × 2 × 30 m (3,5 min) **Aceleraciones desde una postura** 1 × 3 × 40 m (5 min) **MIÉRCOLES:** **Salidas en posición erguida** 1 × 3 × 20 m (2,5 min) **Esprines cortos hasta no poder llegar al 94-96% de la velocidad máxima teórica** 1 × 4 × 15 m/20 m de esprines cortos (4 min) **VIERNES:** **Salidas de los tacos** 1 × 4 × 25 m (3 min) **Aceleraciones desde una postura agachada** 1 × 2 × 45 m (5 min) **Tolerancia de la velocidad desde una posición erguida** 1 × 2 × 60 m (5,5 min)
BLOQUE 4: *Objetivo primario:* Mejorar la capacidad de velocidad máxima *Objetivo secundario:* Mantener la capacidad de acelerar *Objetivo terciario:* Continuar con la exposición a la tolerancia física de la velocidad y a la tolerancia física especial	1. Continuar con la exposición a un entrenamiento de la velocidad máxima con prácticas o esprines más largos hasta no poder llegar al 94-96% de la velocidad máxima teórica, para así modelar las carreras 2. Mantener las capacidades de aceleración mediante la inclusión de esprines cortos al inicio de casi todas las sesiones 3. Prescribir sesiones de tolerancia física de la velocidad o de tolerancia física especial que son relevantes en las acciones primarias del atleta	**LUNES:** **Salida en flexión de brazos** 1 × 3 × 15 m (2 min) **Salida de los tacos** 1 × 2 × 20 m (2,5 min) 1 × 2 × 30 m (3,5 min) **Tramos en la postura de aceleración** 1 × 2 × 40 m (5 min) **MIÉRCOLES:** **Salidas en posición erguida** 1 × 3 × 20 m (2,5 min) **Acelerar hasta velocidad máxima, mantenerla 0,5-1 s, luego esprín relajado de 20 m a intensidad un poco menor y concluir con otra fase de velocidad máxima de 2-3 s** 1 × 4 × 20/20/20 (7 min) **VIERNES:** **Salidas de los tacos** 1 × 3 × 25 m (3 min) **Aceleraciones desde una posición agachada** 1 × 1 × 40 m (5 min) **Tolerancia de la velocidad desde una posición erguida** 1 × 1 × 70 m (6,5 min) 1 × 2 × 90 m (8,5 min)

*Un tramo en la postura de aceleración es un ejercicio de esprín para el cual el entrenador coloca un cono en la pista cerca o un poco antes del punto en que habitualmente se eleva la espinilla del atleta hasta una posición vertical, el cual señala que se esprinta en una postura erguida. A continuación, se pide al atleta que mantenga la velocidad conseguida hasta el cono a lo largo del resto del esprín. Por ejemplo, a un atleta se le pueden prescribir tramos en

la postura de aceleración de 40 metros, si bien la señal que deposita el entrenador para marcar el final de la zona de aceleración se sitúa a los 20 metros. El atleta mantiene entonces esa velocidad desde el metro 20 hasta el 40. Este ejercicio se usa para empezar a centrarse en mejorar la mecánica de la transición, además de ser un método para introducir la tolerancia física de la velocidad.

Monitorización de la capacidad de esprintar

El antiguo método para evaluar la rapidez de un atleta solía consistir en una prueba de esfuerzo máximo en un esprín lineal. La mayor parte del tiempo, la prueba del esfuerzo máximo en un esprín se ha desplegado sobre una distancia, como 36,6 metros, que se consideraba relevante para el deporte del atleta. Aunque el tiempo transcurrido hasta el final es una herramienta eficaz para evaluar cambios en las actuaciones, estas pruebas no contemplan en toda su importancia los minúsculos cambios respecto a la progresión del atleta en su aptitud para la carrera o en terreno de juego.

TABLA 19.6 Monitorización del desarrollo de la rapidez

Medida	Descripción	Interpretación
Tiempo de contacto con el suelo	El tiempo total adjudicado a una sola fase estática	En general, la disminución del tiempo de contacto con el suelo, junto con la mejora de los tiempos en el esprín, tal vez sugiera que un atleta ha mejorado su capacidad para generar tasas elevadas de fuerza en menos tiempo Sin embargo, un atleta puede mostrar tiempos de contacto con el suelo ligeramente más elevados en los estadios iniciales debido a la mecánica de la aceleración
Longitud del paso	La distancia entre los dedos y el talón de dos pasos consecutivos. Ejemplo: centímetros entre el talón del pie derecho y el talón del pie izquierdo	Las mejoras en la longitud de los pasos (aumento de la distancia cubierta) tal vez ocurran por una mejora de la mecánica del esprín o de la postura y, en último caso, por una mejora de la producción de fuerza
Longitud de la zancada	La distancia entre el talón en dos pasos consecutivos del mismo pie. Ejemplo: metros entre el talón del pie derecho y el talón del siguiente contacto con el suelo establecido con el pie derecho	Las mejoras en la longitud de la zancada (aumento de la distancia cubierta entre dos pasos sucesivos) tal vez ocurran por una mejora de la mecánica del esprín o de la postura y, en último caso, por una mejora de la producción de fuerza

Tiempo en el aire	El tiempo que un atleta no está en contacto con el suelo Tiempo entre el final de un paso y el inicio del siguiente	El aumento del tiempo en el aire se puede interpretar de dos formas: (1) El atleta está produciendo mayores fuerzas verticales en menos tiempo, con lo cual se produce el correcto desplazamiento horizontal de la masa del atleta por la pista. (2) El atleta está produciendo mayores fuerzas durante un período de tiempo más largo, lo cual puede elevar innecesariamente el centro de masa
Ángulo de la zancada	El ángulo en que el pie se levanta de la pista	El ángulo de la zancada tal vez permita al entrenador determinar si el atleta está produciendo fuerzas en el momento adecuado, lo cual se logra mediante una correcta mecánica de esprín. Además, los datos sobre el ángulo de la zancada dilucidan en que estadio del esprín est¡ el atleta (aceleración, transición a velocidad máxima) y tal vez guarde relación con el tiempo de contacto con el suelo
Rapidez	La relación entre los pasos y la suma del tiempo de contacto con el suelo del primer paso y el tiempo en el aire previo al siguiente contacto con el suelo	La rapidez dicta lo rápido que se mueve la masa corporal del atleta sobre una distancia específica
Aceleración	El cambio en la rapidez determinado por el delta de dos pasos (p. ej., talón derecho a talón izquierdo) y la suma del tiempo de contacto con el suelo y el tiempo en el aire de cada paso	La aceleración aporta conocimientos sobre lo bien que un atleta cambia su rapidez (aumento de la velocidad en una dirección) durante la distancia prescrita. En el caso de la mayoría de los atletas, aumentar la distancia que un atleta puede acelerar permitirá alcanzar una mayor rapidez máxima, siempre que se preserve la integridad postural y la mecánica

Programa de muestra del desarrollo de la agilidad

El siguiente es un ejemplo de los pasos para determinar las pruebas apropiadas, analizar los resultados y usarlos para programar el desarrollo de la agilidad de un atleta. Como la agilidad depende de múltiples factores, hay que apuntar a la ventana de oportunidad más grande mediante una medición directa de los puntos fuertes y débiles del atleta.

Paso 1: Se practica un análisis de las necesidades del deporte y se adecuan las pruebas para evaluar esas cualidades (véase la tabla).

Paso 2: Se determinan los puntos fuertes y débiles comparando los resultados en forma de puntuación estándar con los estándares de rendimiento o con la media del equipo (véase la figura 9.10).

Paso 3: Se planifica el desarrollo de un área primaria y un área secundaria de

necesidad para el atleta.

Paso 4: Se distribuye el tiempo disponible para este desarrollo basándose en la identificación de las necesidades.

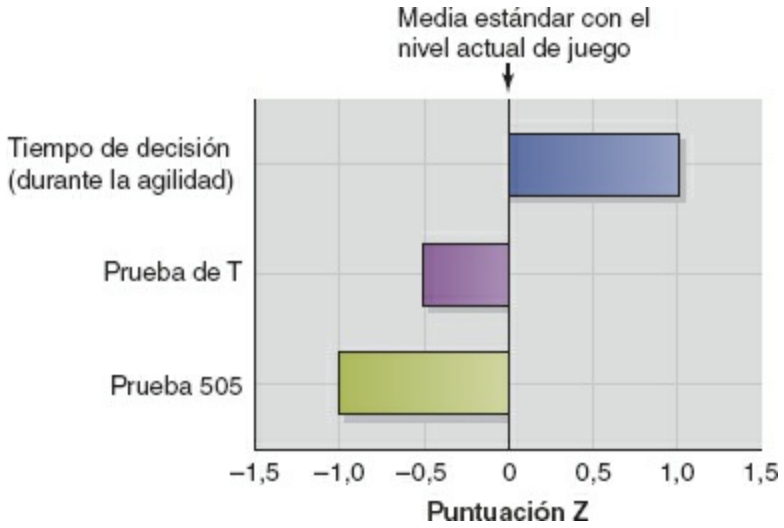


FIGURA 19.10 Puntos fuertes y débiles de un atleta mediante la representación de puntuaciones estándar de la capacidad perceptivo-cognitiva, la maniobrabilidad y la capacidad para los cambios de dirección. Los valores negativos indican un rendimiento por debajo de la media, mientras que los valores positivos muestran un rendimiento mejor que la media.

Análisis de las necesidades para el desarrollo de la agilidad

Deporte	Baloncesto
Margen de tiempo	12 semanas (8 semanas fuera de temporada y 4 semanas de entrenamiento de pretemporada)
Análisis de las necesidades de agilidad específicas del deporte	Cambios de dirección a gran velocidad • Cortes puerta atrás, cortes por el centro, contraataques rápidos y cambios de posesión del balón Maniobrabilidad (multiples modos de movimientos de cambio de dirección) • Pasos laterales defensivos, correr de espaldas y cambios de dirección en los bloqueos para dejar atrás al defensor Agilidad (capacidad perceptivo-cognitiva) • Tiempo para la toma de decisiones (proporciona grandes ventajas tanto en defensa como en ataque) • Capacidad para moverse como reacción al juego o a un oponente

Pruebas recomendadas	Test 505, test de T, prueba de agilidad (medida del tiempo de decisión)

Paso 5: Se aporta un plan preliminar para la transición de la distribución del porcentaje en los bloques de entrenamiento (véase la tabla). Se determina si est¡ progresión es apropiada monitorizando el desarrollo de la agilidad y los cambios de dirección según se describen en la tabla 19.7 (p. ej., el déficit del cambio de dirección).

Distribución planificada de los bloques de entrenamiento para el desarrollo de la agilidad

	Cambios de dirección Objetivo primario	Maniobrabilidad Cambio secundario	Agilidad (perceptivo-cognitiva) Objetivo terciario
Porcentaje del tiempo estimado y adjudicado a los bloques	Bloque 1: ~65% Bloque 2: ~60% Bloque 3: ~50%	Bloque 1: ~35% Bloque 2: ~30% Bloque 3: ~25%	Bloque 1: ND Bloque 2: ~20% Bloque 3: ~25%
Comentarios adicionales	Se comprueba la fuerza o la capacidad específica para amortiguar cargas en los aterrizajes cayendo desde una altura	Se evalúa la posición del cuerpo durante los desplazamientos laterales y los cambios de dirección	Tal vez dependa de la capacidad perceptivo-cognitiva. Esto quizá haya enmascarado previamente la identificación de que se podía mejorar su capacidad física para los cambios de dirección

Con la información aportada por las pruebas, así como teniendo en cuenta otras capacidades de la condición física, se puede implementar un plan periodizado apropiado. La tabla de aplicaciones para la agilidad muestra un ejemplo de tres bloques de entrenamiento (de cuatro semanas cada uno). La duración de una sesión de entrenamiento oscila entre 10 y 15 minutos, incluyendo el trabajo y el tiempo de descanso, y se completa una a tres veces por semana dependiendo de los requisitos adicionales de los atletas (como el aumento del entrenamiento de las destrezas en la pretemporada). Diversos ejercicios pueden remplazar los ejemplos aquí mostrados; no obstante, se deben elegir basándose en su clasificación (tabla 19.2) y en la capacidad para cubrir las necesidades de los atletas.

Además, la posibilidad de error en la prueba al tomar los tiempos con un cronómetro manual y las diversas tácticas de arranque confunden la interpretación de los resultados de las pruebas. Por eso, los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico tal vez se planteen la adopción de herramientas adicionales de monitorización como parte de su batería de evaluaciones.

Uno de estos métodos de evaluación corresponde al uso de cámaras de alta velocidad o sistemas ópticos de detección con cronómetro que emplean las interrupciones de la luz infrarroja para capturar datos de los contactos de los pies del atleta con el suelo (12). Esta tecnología ofrece a los entrenadores un conocimiento adicional sobre la capacidad de esprintar del atleta. La tabla 19.6 ofrece una descripción de variables clave que tal vez resulten

beneficiosas para monitorizar el desarrollo de la rapidez.

Estrategias para el desarrollo de la agilidad

La mejor forma de desarrollar la agilidad es usar un método de programación periodizado. La programación o desarrollo aleatorios de la agilidad usando solo «métodos del deporte específico» —como los partidos de entrenamiento en campo pequeño— no han demostrado ser tan eficaces (11). Aunque la agilidad sea un elemento constante en el terreno de juego o durante las sesiones prácticas de destrezas, se recomienda que el desarrollo de la agilidad comience con el uso de ejercicios de cambio de dirección (planificados previamente) y aumente en dificultad mediante incrementos de las exigencias físicas; a esto le sigue la adición de ejercicios con estrés perceptivo-cognitivo o lo que se suelen denominar ejercicios de «agilidad» (50, 97). A tenor con est¡ recomendación, el desarrollo de la agilidad debe comenzar con un análisis de las necesidades basado en la evaluación inicial de la agilidad y la capacidad para los cambios de dirección del atleta. La prueba de agilidad debe evaluar específicamente la capacidad perceptivo-cognitiva, tal y como se describió previamente en la tabla 19.2. Además, dependiendo de los requisitos de movimientos adicionales del deporte, tal vez también se elija una prueba que sea más dependiente de la maniobrabilidad. El siguiente es un ejemplo del uso de la información de una de estas pruebas para crear un programa informado de agilidad.

TABLA 19.7 Monitorización del desarrollo de la agilidad

Medida	Descripción	Interpretación
Déficit en el cambio de dirección	La diferencia temporal entre un esprín en línea recta y una prueba de cambio de dirección de igual distancia	Evaluar el déficit en el CDD proporciona datos sobre el tiempo adicional que necesita el atleta debido a las exigencias del cambio de dirección. Un ejemplo es la resta del tiempo de 10 metros del esprín del tiempo conseguido en el cambio de dirección de la prueba 505 (una prueba habitual del CDD de 10 m de longitud)
Tiempo de contacto con el suelo	El tiempo total que el pie est¡ en contacto con el suelo durante el cambio de dirección	Evaluar el tiempo de contacto con el suelo junto con otras variables puede determinar si el atleta est¡ mejorando en el cambio de dirección en sf con independencia del tiempo total requerido para completar una prueba de CDD, la cual suele

	(duración de la fase de apoyo)	precisar un mayor porcentaje de esprín en línea recta
Velocidad de salida	La velocidad horizontal del atleta durante el paso inicial tras el apoyo para el cambio de dirección. Se considera el primer paso de la reaceleración desde el despegue de los dedos del pie apoyado hasta el golpeo del pie del siguiente paso	A diferencia de la situación para el tiempo total, utilizar una cámara de vídeo de alta velocidad para evaluar la velocidad del atleta (en las caderas o en el centro de masa) nos puede dar una medida directa de la capacidad para cambiar de dirección. La mejora de la velocidad de salida junto con los mismos tiempos o tiempos más cortos de contacto con el suelo implican un mayor fndice de desarrollo de la fuerza, relevante para mejorar la capacidad para los cambios de dirección
Velocidad de entrada	Velocidad del atleta antes de la fase de apoyo; se mide a lo largo de varios pasos o como el último paso que entra en la fase de apoyo del cambio de dirección	Los especialistas pueden usar métodos similares para evaluar la velocidad de entrada que los sugeridos para la velocidad de salida. Esto permite al entrenador entender la exigencia del cambio de dirección, que se deberá tener en cuenta al hacer el seguimiento de la velocidad de salida
Tiempo para la toma de decisiones	La medición del tiempo entre dos acontecimientos se considera el tiempo para la toma de decisiones y puede tener un valor positivo o negativo El tiempo para la toma de decisiones se divide en dos orientaciones distintas para evaluar de	De forma parecida a la medición de la velocidad de entrada y de salida, se coloca una cámara de alta velocidad al lado del cambio de dirección con el fin de capturar tanto el estímulo como el primer apoyo definitivo del pie para cambiar de dirección como respuesta. Si el tiempo para la toma de decisiones es negativo, esto indica que el atleta se anticipa al cambio de dirección antes de que el estímulo de fin al movimiento. El tiempo negativo en la toma de decisiones se observa solo durante la respuesta a movimientos de otra persona (estímulo de una persona o un video), lo cual

	manera global cómo responde el atleta durante los partidos: (1) en defensa (se mueve en la misma dirección que el estímulo); (2) en ataque (se mueve en dirección contraria al estímulo)	subraya la importancia de la especificidad de los estímulos durante los protocolos de agilidad. La medición del tiempo de la toma de decisiones tanto en situaciones de ataque como en defensa permite a los entrenadores identificar si los atletas necesitan desarrollar la capacidad perceptivo-cognitiva en situaciones específicas de su deporte o en jugadas concretas

CDD = Cambio de dirección.

Aplicación de las estrategias para el desarrollo de la agilidad

Bloque y énfasis	Herramienta de entrenamiento y notas	Prescripción de cargas (con períodos de descanso entre series) para la semana 1 de cada bloque
BLOQUE 1: *Objetivo primario:* Cambiar de dirección (capacidad de desaceleración: lineal) *Objetivo secundario:* Maniobrabilidad (postura del cuerpo)	1. Las tareas de frenado son excéntricas; por tanto, se empieza con volúmenes bajos, similares a los usados para introducir tareas excéntricas (pliometría) 2. Centrarse en que el cuerpo del atleta se mantenga bajo; se sacrifica la velocidad en aras de la postura	2-3 sesiones por semana **EJERCICIO DE CDD:** Desaceleraciones** (adelante) 2 × 4 (30 s; 2 min) (Se alterna el frenado final con la pierna no preferida y con la preferida) **EJERCICIO DE MANIOBRABILIDAD:** Pasos laterales @ altura 1 × 4 × 10 m (30 s) (Se usa una cuerda u otro objeto a la altura de la cabeza durante la posición de alerta para ofrecer retroalimentación a los atletas si están en «bipedestación normal», en lugar de asumiendo una posición con el centro de masa bajo) 2-3 sesiones por semana **EJERCICIO DE CDD:** Desaceleraciones** (adelante)

BLOQUE 2: *Objetivo primario:* Cambiar de dirección (capacidad de desaceleración: lateral) *Objetivo secundario:* Maniobrabilidad (transición entre modos de cambio de dirección: de pasos laterales a esprín y a pasos laterales)	1. Se garantiza que el atleta use la postura del cuerpo para frenar con eficacia, orientado hacia delante y lateralmente; hay interés en que el atleta amortigüe el movimiento hasta parar. Se amplía a un único esfuerzo como reacción a un estímulo genérico 2. Se favorece una eficaz aplicación de fuerza contra el suelo («empujar para alejarse»); se observa el ángulo de las pantorrillas para contar con retroalimentación visual	1 × 4 (30 s; 2 min) **Al igual que en la semana 1** Desaceleraciones (laterales) 1 × 4 (30 s; 2 min) **EJERCICIO DE MANIOBRABILIDAD:** Ejercicio en Z (adelante) 2 × 4 (30 s; 2 min) (Se alterna siempre la dirección de la salida, de izquierda a derecha o de derecha a izquierda) **AGILIDAD** Desaceleración 1 × 4 (se desacelera al oír el silbato) (30 s)
BLOQUE 3: *Objetivo primario:* Cambiar de dirección (desaceleración eficaz a reaceleración) *Objetivo secundario:* Maniobrabilidad (combinación de una transición eficaz y la postura del cuerpo) *Objetivo terciario:* Agilidad (interés en mantener la capacidad para los cambios de dirección y la postura del cuerpo incluso en respuesta a un estímulo genérico)	1. El interés se centra en el «frenado» y la «explosividad» del cambio de dirección 2. Interés por el juego de pies y que se mantengan bajos, con pasos que favorezcan «el descenso e impulsión» para el cambio de dirección 3. Esto sirve para comprobar la «transferencia» del entrenamiento físico a un estímulo más específico (pero aun asi genérico). Interés por el momento de «decidir y marchar», comprobar que los atletas se reorientan con eficacia o «se mueven con toda la eficacia que hayan decidido»	1-2 sesiones por semana (dependiendo del volumen de destrezas) **EJERCICIO DE CDD:** Ejercicio 505 modificado 2 × 4 (30 s; 2 min) (Se alterna el pie de apoyo) **EJERCICIO DE MANIOBRABILIDAD:** Test de T 1 × 4 (30 s; 2 min) **AGILIDAD** Ejercicio de reacción (ejercicio de agilidad en Y) 1 × 4 (30 s) (La misma dirección en respuesta a la señal en una dirección) El entrenamiento de las destrezas también contiene de forma inherente el entrenamiento con estímulos especificos del deporte

CDD = Cambio de dirección.

** La rapidez debe aumentar progresivamente para los ejercicios de desaceleración a lo largo de las semanas; por ejemplo, la rapidez de entrada pasa de rapidez media a tres cuartos de la rapidez máxima.

Nota: No se diferencia aquí el énfasis en la capacidad de aceleración, ya que se espera que se trabaje conjuntamente con las sesiones de velocidad.

Monitorización de la agilidad y la capacidad para los cambios de dirección

En la misma línea que los conceptos considerados para la monitorización del rendimiento en el esprín, limitarse a evaluar la modificación del rendimiento en cualquier cambio de dirección o movimiento de agilidad en consonancia con el tiempo transcurrido hasta completar la prueba elegida no sirve para aislar la cualidad física ni la cualidad perceptivo-cognitiva que estamos intentando examinar, es decir, la capacidad real para cambiar de dirección (59, 61, 81, 85). Por tanto, al monitorizar la ejecución de cambios de dirección o movimientos de agilidad, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe tener en cuenta las medidas de la tabla 19.7. Aunque estos aspectos del rendimiento se hayan medido usando instrumentos caros —como equipamiento para el análisis de los movimientos tridimensionales—, se pueden usar fácilmente cámaras de alta velocidad, que son más accesibles (y capturan más de cien fotogramas por segundo), junto con los métodos habituales de cronometraje (manuales o electrónicos), cuando no se cuenta con un equipamiento biomecánico de gama alta.

Conclusión

La velocidad, los cambios de dirección y la agilidad son medidas empleadas habitualmente para determinar la capacidad atlética en la mayoría de contextos deportivos. Por este motivo, los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico deben ser conscientes del modo en que se establecen y modifican estas capacidades por medio del diseño y ejecución de planes de entrenamiento. Estos componentes del movimiento atlético y del desarrollo del juego están ligados a la aplicación de fuerza a tareas específicas. Esta producción de fuerza para tareas específicas debe ser lo bastante grande como para estabilizar el peso del cuerpo del atleta en presencia de la fuerza de la gravedad, así como para desplazar al atleta de un punto a otro y que siga moviéndose a gran velocidad.

La rapidez en carrera se asocia con la relación entre la frecuencia y la longitud de las zancadas. Esprintar es una carrera a velocidad máxima o casi máxima que se define por grandes índices de producción de fuerza en un corto espacio de tiempo. Los mejores velocistas pasan más tiempo en el aire gracias al aumento de la longitud de sus zancadas a un ritmo más rápido que

el de sus compañeros más lentos. La agilidad abarca las destrezas y capacidades necesarias para cambiar explosivamente las velocidades o modos de movimiento en respuesta a un estímulo. Tanto los esprines como la agilidad emplean el CEA y una mayor eficacia neuromuscular en comparación con los movimientos más lentos. Sin embargo, la agilidad incluye exigencias perceptivo-cognitivas, como el barrido de rastreo visual, la toma de decisiones, la anticipación y los tiempos de reacción, que la convierten en una cualidad diferenciada del entrenamiento.

Los entrenadores de la fuerza y el acondicionamiento físico que quieran mejorar estos atributos del rendimiento atlético deberán hacerlo mediante una configuración cíclica y secuencial de las fases del entrenamiento que armonicen el entrenamiento de la fuerza con la práctica de la rapidez, la agilidad o los cambios de dirección, o con alguna combinación de estas. Este efecto del entrenamiento puede ser sobre todo resultado de la incorporación de ejercicios que sean específicos para una tarea y favorezcan la correcta mecánica de los movimientos. El entrenamiento prescrito debe reflejar los resultados de una valoración previa y análisis de las necesidades al inicio del año o de una fase larga. Además, los planes posteriores de entrenamiento se deben optimizar mediante un programa continuo de monitorización de los atletas, ya que ayudan al profesional de la fuerza y el acondicionamiento físico a determinar cómo están respondiendo al calendario de actividades programadas.

EJERCICIOS DE VELOCIDAD Y AGILIDAD

EJERCICIOS DE VELOCIDAD

19.1 *Skipping* alto
19.2 Pies rápidos
19.3 Esprín resistido: Inclinación para la aceleración

EJERCICIOS DE AGILIDAD

19.4 Ejercicio de desaceleración
19.5 Ejercicio en Z
19.6 Ejercicio de agilidad (en forma de Y)

Ejercicios de velocidad

19.1 *SKIPPING* ALTO

Este ejercicio de *skipping* suele ser un ejercicio que se prescribe para entrenar la velocidad y sirve para reproducir la mecánica del esprín con el cuerpo erguido y produciendo fuerza vertical.

Postura inicial

- Se inicia el ejercicio con el cuerpo bien erguido, con el torso directamente encima de las caderas, de las rodillas y los tobillos (articulaciones alineadas).

Fase del movimiento

- Se inicia el movimiento levantando una pierna hasta la posición con la rodilla flexionada en que la porción superior del muslo queda casi paralela con el suelo. El pie de la pierna levantada (pierna en fase de balanceo) debe estar aproximadamente a la altura de la rodilla de la extremidad apoyada en el suelo, con el talón elevándose hasta quedar debajo de las nalgas. Esto da a las piernas la apariencia del «número cuatro». La pierna en fase de balanceo siempre debe ajustarse a est¡ descripción.
- Se inicia el primer *skip* bajando de forma agresiva la pierna contra el suelo con el pie activo, lo cual se consigue con una ligera flexión dorsal. «Hay que levantar el dedo gordo del pie hacia arriba» para establecer la flexión dorsal apropiada.
- Se completa el descenso agresivo de la pierna en fase de balanceo usando el antepié hasta que casi se produzca la triple extensión de la pierna ahora en fase de apoyo.
- Las porciones anterior y media del pie de la pierna en apoyo deben aterrizar debajo de las caderas, manteniendo la disposición alineada de las articulaciones.
- Al inicio del contacto, la pierna contralateral se eleva rápidamente para iniciar la fase de balanceo.
- La fuerza generada por el empuje activo de la pierna contra el suelo debe coincidir con el movimiento de *skipping*, lo cual se traducirá en un

desplazamiento horizontal del cuerpo por la pista.

Consejos técnicos

- Hay que mantener el cuerpo bien erguido, con los hombros relajados durante todo el movimiento.
- Los brazos se deben mover al unísono que las piernas, con una pausa mínima o nula entre ciclos.



Las piernas forman la «figura del número 4».

19.2 PIES RÁPIDOS

Este ejercicio está pensado para mejorar la frecuencia de zancada de los velocistas.

Postura inicial

- Se inicia el ejercicio con el cuerpo bien erguido, con el torso

directamente encima de las caderas, las rodillas y los tobillos (articulaciones alineadas).

Fase del movimiento

- Se inicia el movimiento levantando una pierna hasta la posición con la rodilla flexionada, con el pie de la pierna levantada aproximadamente hasta media pantorrilla con el fin de reproducir una pierna en fase de balanceo. La pierna en fase de balanceo siempre se debe ajustar a est¡ descripción.
- Una vez asumida est¡ postura, el atleta alterna las piernas en fase estática y en fase de balanceo con la mayor rapidez posible manteniendo las articulaciones alineadas.
- El descenso rápido y agresivo de la pierna en fase de balanceo se completa con el antepié, asegurándose de que el pie no se levante por encima de la mitad de la pantorrilla de la pierna contralateral. El objetivo de la elevación acortada de la pierna en fase de balanceo es garantizar una frecuencia más rápida en los pasos.
- Las porciones anterior y media del pie de la pierna en apoyo deben aterrizar debajo de las caderas manteniendo la disposición alineada de las articulaciones.
- Los brazos se deben mover al unísono que las piernas, con una pausa mínima o nula entre ciclos.

Consejos técnicos

- Aunque este ejercicio se ha prescrito tradicionalmente para aumentar la frecuencia de zancada de los velocistas, hay que recordar que est¡ frecuencia es un producto derivado de las elevadas fuerzas verticales que se producen en el breve tiempo de contacto con el suelo. Es decir, un atleta no puede mejorar artificialmente la frecuencia de zancada moviendo los pies más rápido durante un esprín.



Rápido descenso de la pierna en fase de balanceo.

19.3 ESPRÍN RESISTIDO: INCLINACIÓN PARA LA ACELERACIÓN

El esprín inclinado es un tipo de esprín resistido que se prescribe para mejorar en la fase de aceleración del esprín.

Postura inicial

- Se inicia el ejercicio con el atleta colocado en la postura inicial correcta (habitualmente llamada salida agachada). En primer lugar, se instruye al velocista para que abra bien las piernas colocando la pierna dominante delante y baje la pierna retrasada/en fase de balanceo entre 30 y 60 centímetros.
- La separación de las piernas entre la pierna de impulsión y la pierna en fase de balanceo está en gran parte determinada por el compromiso entre la capacidad del atleta (a) para generar suficientes fuerzas necesarias

para superar un centro de gravedad más bajo y (b) para tener más comodidad. Además, los pies se deben separar de tal modo que las piernas se alineen con la pelvis, para que así no haya una torsión innecesaria de las caderas.

- Una vez separadas las piernas, se ordena al atleta que la rodilla retrasada descienda «directamente hacia abajo», de modo que la espinilla esté más próxima (más paralela) al suelo. Esto favorece la correcta postura de impulsión necesaria para comenzar la aceleración.
- Con el torso rígido y erguido, el atleta debe levantar el brazo opuesto a la pierna adelantada/de impulsión hasta una posición próxima o ligeramente por encima de la frente. La mano debe estar a 15-20 cm de la frente. El brazo retrasado (el contralateral a la pierna retrasada/en fase de balanceo) se echa hacia atrás hasta un punto en que la mano esté próxima a la cara lateral de las nalgas, con el codo en un ángulo entre 100° y 120°. Esta posición permite que la acción de los brazos ayude a producir suficientes fuerzas de propulsión para superar la inercia estática.
- Al completar la disposición del circuito, se ordena al atleta que incline todo el cuerpo hacia delante de modo que el 60% del peso corporal recaiga sobre la pierna adelantada. Hay que vigilar que el atleta no «se rompa por la cintura» durante est¡ inclinación. El atleta debe seguir sintiéndose equilibrado y estable.

Fase del movimiento

- Después de la transferencia del peso corporal, el atleta puede iniciar el esprín mediante un agresivo empuje contra el suelo y, a través de él, mediante la pierna adelantada/de impulso. La pierna retrasada asiste en la producción de fuerza, pero abandonará antes el suelo debido a la posición de salida. La acción de los brazos debe ser al unísono que la acción de las piernas.

Consejos técnicos

- Se dan claves al atleta para potenciar al máximo la mecánica de la aceleración mediante una fase de recuperación de la pierna en fase de balanceo con el talón bajo. Esto se debe producir durante la correcta disposición del cuerpo en la postura agachada de salida descrita con anterioridad.

- Se instruirá al atleta para que siga haciendo fuerza contra el suelo, junto con un balanceo de los brazos que se potenciará con el tirón de las manos hacia abajo y atrás. Recordemos que la acción de los brazos a menudo se produce en paralelo con los movimientos de las piernas.
- El torso se mantiene erguido y tenso, con la cabeza en una posición neutra. El torso y la cabeza están alineados y se alzarán al mismo ritmo que las caderas, es decir, gradualmente.



Salida agachada.

Ejercicios de agilidad

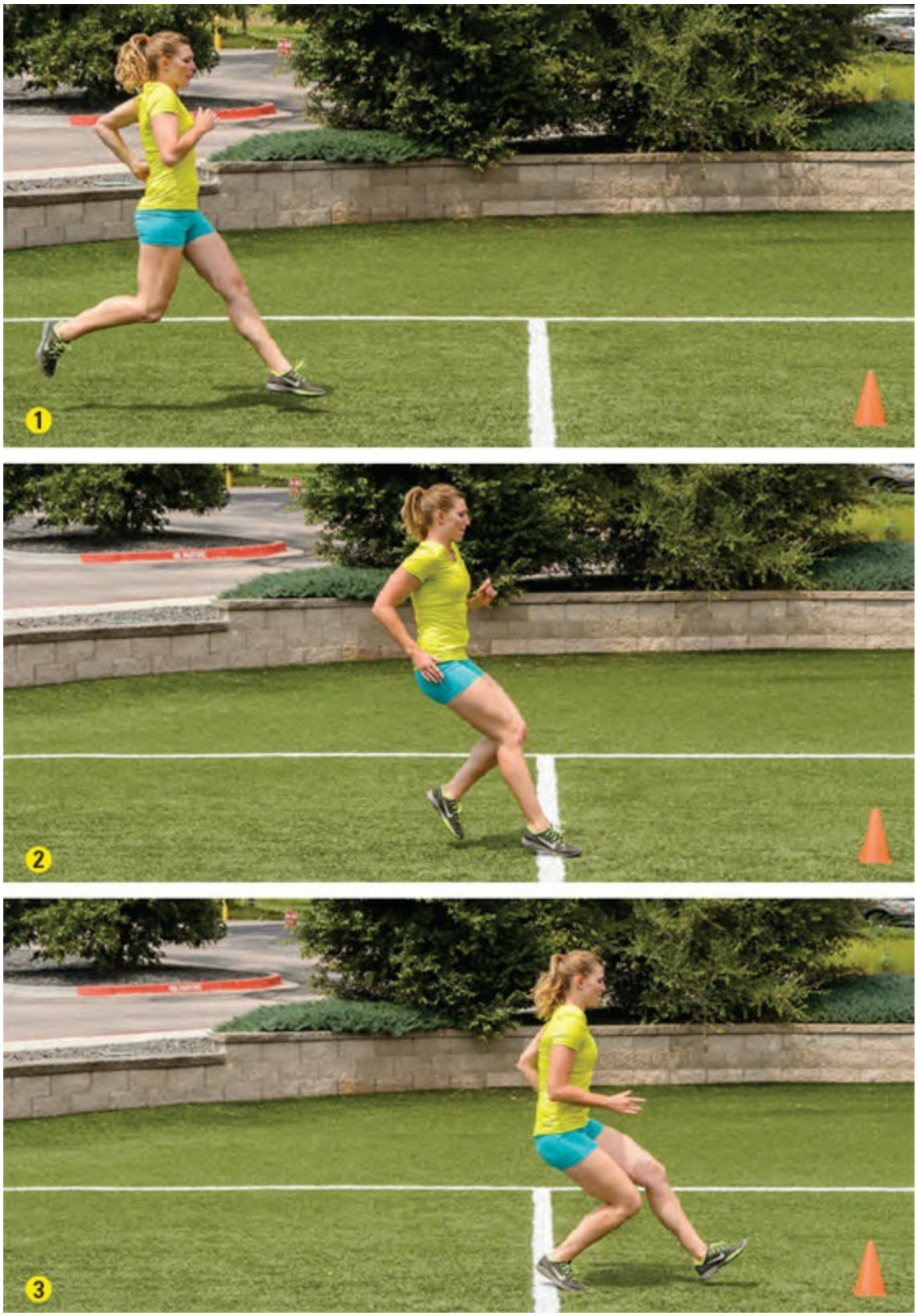
19.4 EJERCICIO DE DESACELERACIÓN

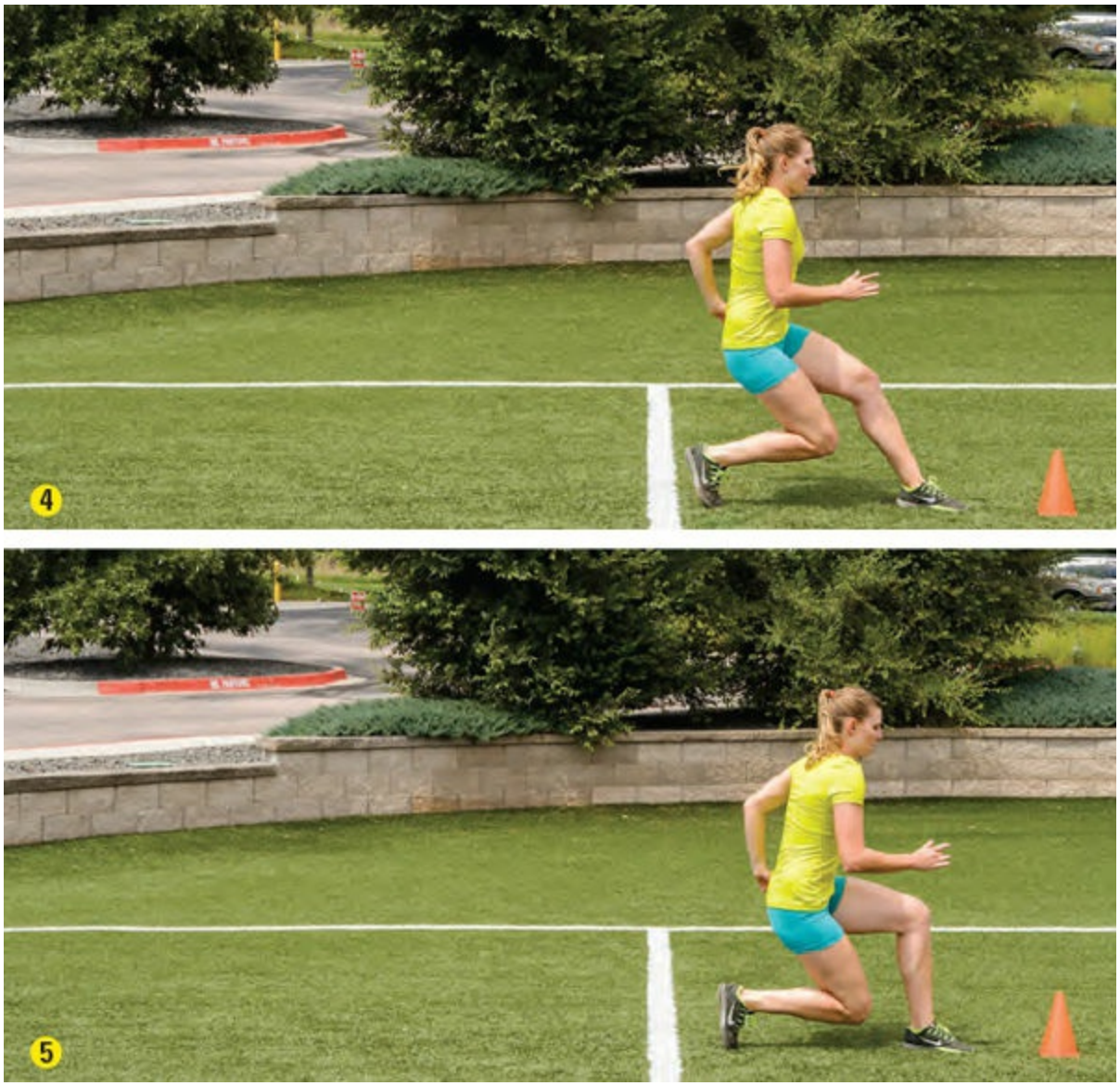
Los ejercicios de desaceleración cumplen el cometido de mejorar la capacidad de frenado del atleta y ayudan a la transferencia del entrenamiento de los ejercicios de fuerza excéntrica en la sala de pesas a un patrón específico de movimiento sobre el terreno. El ejercicio se debe practicar primero simplemente corriendo hacia delante y luego desacelerando; más adelante se amplía y se corre hacia delante introduciendo luego una desaceleración lateral. En los ejercicios de desaceleración hacia delante, el

atleta acelera rápidamente y luego, dando un número fijo de pasos, controla el cuerpo hasta acabar en una postura detenida con las piernas en tijera. En los ejercicios de desaceleración lateral, el atleta acelera rápidamente y luego desacelera antes de una postura dada, frenando mientras cambia de orientación, perpendicular a la dirección original de la carrera y absorbiendo la fuerza activamente.

Fase del movimiento

- Dependiendo de la competencia física y técnica del atleta, correrá hacia delante a velocidad media y luego desacelerará y se detendrá en tres pasos.
- Si el atleta absorbe con eficacia la carga al dar el tercer paso, aumentará la rapidez en carrera a tres cuartos de la velocidad máxima (más de 9 metros de aceleración) y luego desacelerará en el transcurso de cinco pasos.
- La versión más avanzada de este ejercicio exige frenar de una velocidad máxima y desacelerar en siete pasos.
- El paso de frenado más exigente o el paso en que mayor es la desaceleración ocurre uno o más pasos antes de parar, y no suele ocurrir solo en la desaceleración final o en el paso para cambiar de dirección.

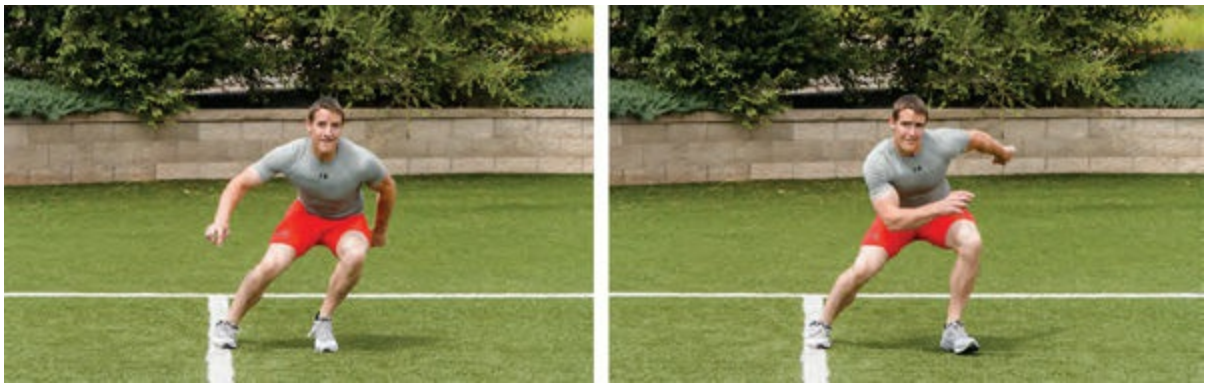

1
2
3



Ejercicio de desaceleración lateral.

Consejos técnicos

- Se emplean variaciones de este ejercicio durante las carreras de espaldas y laterales. Una versión intermedia de este ejercicio exige que el atleta acelere durante 5 a 14 metros (igual que en los test 505 y 505 modificado) y se detenga por completo mientras el cuerpo se orienta perpendicular a la dirección original de la carrera. Esto permite la progresión de volver a acelerar después de la desaceleración.



19.5 EJERCICIO EN Z

El ejercicio en Z es un ejercicio de cambios de dirección para atletas principiantes con el fin de que adquieran maestría en los patrones de desplazamientos laterales, aceleración después de un cambio de dirección y desaceleración para iniciar un cambio de dirección. Véase el diagrama para saber cómo disponer los conos y la dirección en que hay que correr.

Postura inicial

- Se inicia el ejercicio en el primer cono, en la postura agachada de listos, con el centro de masa bajo y los pies más separados que la anchura de los hombros.

Fase del movimiento

- Se desplaza el atleta con pasos laterales hacia el siguiente cono manteniendo el centro de masa a una altura constante (tan baja como en la posición de listos). Se hace hincapié en empujar contra el suelo para alejarse de él. Los entrenadores se pueden fijar en el ángulo de las espinillas para asegurarse de que se dirige en la dirección adecuada.
- El atleta debe apoyar el pie en el cono o cerca de él e iniciar rápidamente una transición a un esprín hacia el cono situado en la diagonal.
- Al aproximarse a ese cono, el atleta debe desacelerar con eficacia e iniciar la transición a otro desplazamiento lateral (como en el segundo paso).

Consejos técnicos

- Este ejercicio se puede modificar para hacer el recorrido en Z pero a la inversa, lo cual exige que el atleta corra de espaldas, con lo que se

integra otro patrón de movimiento básico que es importante en las fases iniciales del desarrollo de los cambios de dirección. Durante el movimiento, hay que evaluar la capacidad para controlar eficazmente el tronco durante los cambios y transiciones, así como el eficaz y eficiente desarrollo de la fuerza de las desaceleraciones y aceleraciones.

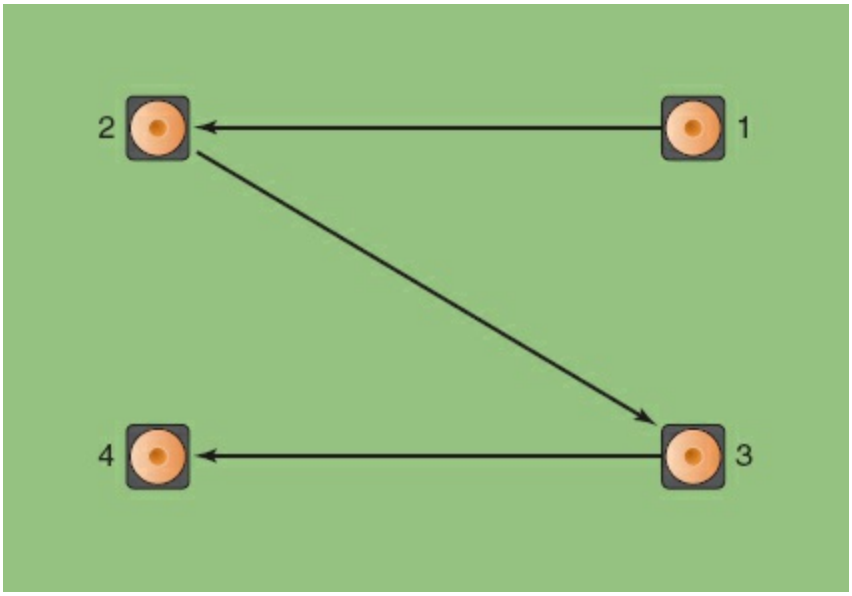
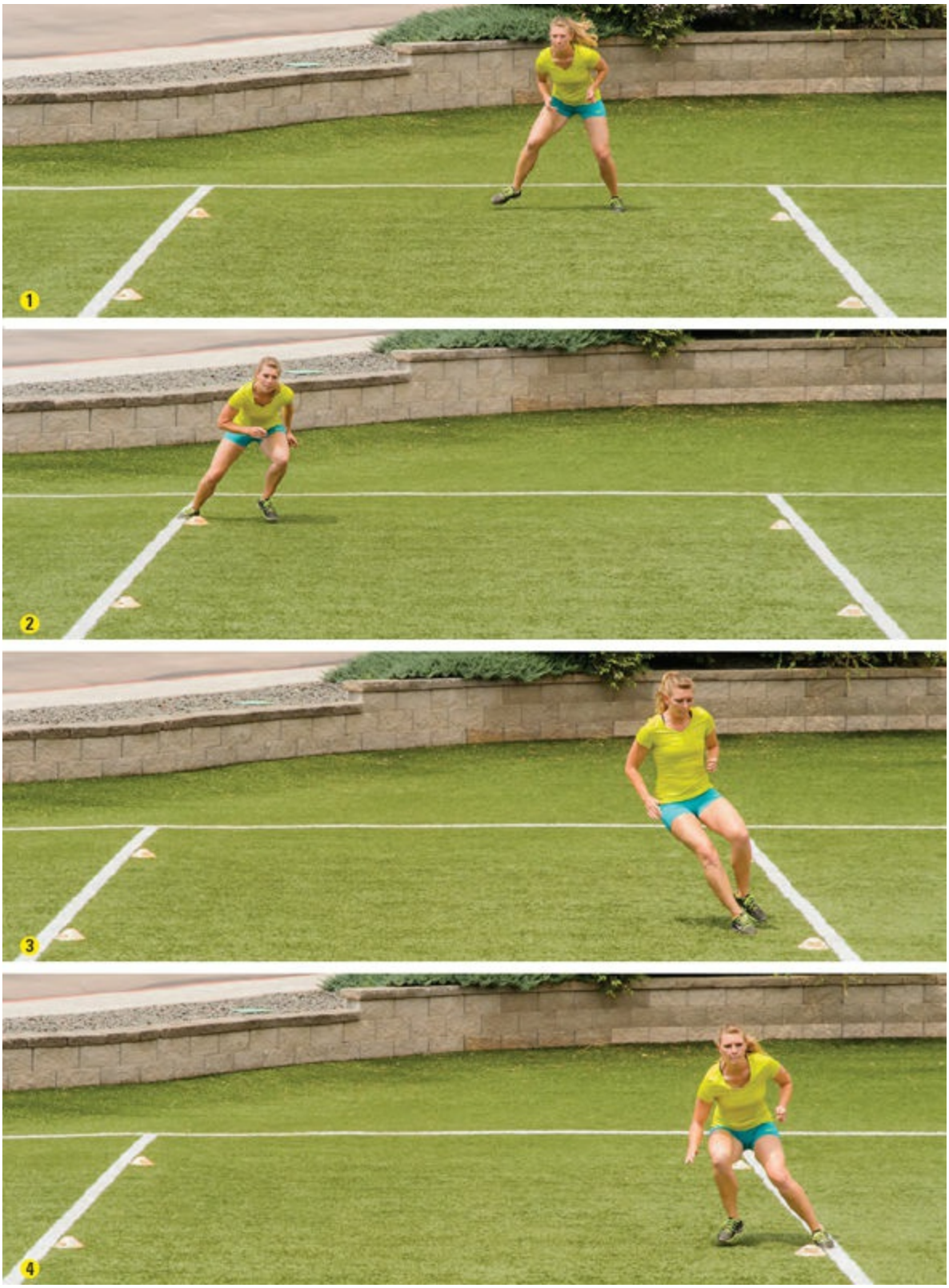


Diagrama del ejercicio en Z.



19.6 EJERCICIO DE AGILIDAD (EN FORMA DE Y)

La finalidad de este ejercicio es ser el punto de partida para ejercitar la agilidad usando un estímulo genérico seguido de un estímulo específico para trabajar la incorporación de un requisito perceptivo-cognitivo junto con un cambio de dirección.

Postura inicial

- Se empieza en un cono a 9 metros de una persona que actuará de estímulo o director.

Fase del movimiento

- Se corre hacia el estímulo y se cambia de dirección basándose en la dirección en que apunta el estímulo o que proporciona una señal audible (estas dos opciones se consideran estímulos genéricos).
- El director debe apuntar a izquierda o derecha cuando el atleta alcanza los 4,6 metros (se señala con otro cono para que el director pueda hacer referencia a él).
- El atleta debe apoyar el pie y cambiar de dirección lo antes posible, acelerar a uno o dos conos que se disponen en un ángulo de 45° y a una distancia de 2,7 metros a izquierda o a derecha del estímulo.

Consejos técnicos

Variaciones de este ejercicio para adaptarse a estímulos más específicos (ejercicio de nivel avanzado):

- El atleta se tiene que mover en dirección opuesta a la del estímulo genérico (ataque).
- El estímulo debe impeler a dar uno o dos pasos, con el atleta respondiendo en ataque o en defensa (se instruye al atleta en este sentido antes de cada repetición). La adición de una opción de dos pasos aumentará la dificultad temporal del ejercicio, ya que uno puede cruzar una pierna con un paso inicial a izquierda y luego a derecha para confundir al atleta sobre cuál es la dirección final del estímulo.
- Haremos que el estímulo consista en pasar un implemento relevante para el deporte a cualquiera de los dos compañeros de equipo de pie y a la derecha o izquierda del estímulo.

TÉRMINOS CLAVE

aceleración
agilidad
cambio de dirección
ciclo de estiramientoacortamiento (CEA)
entrenamiento complejo
esprín
fuerza
impulso
índice de desarrollo de la fuerza (IDF)
modelo resorte masa (MRM)
momento
periodización
potenciación posactivación
preparación del contacto con el suelo
rapidez
recuperación
velocidad

PREGUNTAS DE REPASO

(respuestas en la página 657)

1. ¿A qué se refiere el término *impulso*?
   a. A la relación entre potencia y velocidad.
   b. A la relación entre aceleración y velocidad.
   c. A la relación entre fuerza y velocidad.
   d. A la relación entre fuerza y tiempo.

2. Los velocistas de elite producen ——————fuerzas en un tiempo de contacto con el suelo ——————— en comparación con sus compañeros novatos.
   a. mayores, más largo.
   b. iguales, más corto.
   c. mayores, más corto.
   d. menores, más largo.

3. En un esprín con el cuerpo erguido, la longitud de zancada del atleta depende en gran medida:
   a. De la cantidad de fuerza vertical producida durante la fase estática.

b. De la flexibilidad del atleta.
c. De la frecuencia de zancada del atleta.
d. De la cantidad de fuerza horizontal producida durante el despegue del pie en la fase estática.

4. Los ejercicios o pruebas que exigen que el atleta se mueva rápidamente en respuesta a un estímulo como un silbido, una flecha o la presencia de un contrario son apropiados para medir lo siguiente:
   a. Los cambios de dirección.
   b. La maniobrabilidad.
   c. La agilidad.
   d. La aceleración.

5. Selecciona el aspecto del entrenamiento que requiera un énfasis adicional cuando el objetivo sea mejorar la capacidad para los cambios de dirección.
   a. La fuerza.
   b. La fuerza excéntrica.
   c. La fuerza reactiva.
   d. El índice de desarrollo de la fuerza.

CAPÍTULO 20

Diseño de programas y técnica para el entrenamiento de la resistencia aeróbica

Benjamin H. Reuter y Jay Dawes*

A la conclusión del capítulo, el lector:

- Expondrá los factores relacionados con la resistencia aeróbica.
- Seleccionará el modo de entrenamiento de la resistencia aeróbica.
- Establecerá la frecuencia del entrenamiento de la resistencia aeróbica basándose en el estado de entrenamiento, la temporada deportiva y la recuperación y sus requisitos.
- Asignará la duración de los ejercicios de la resistencia aeróbica y será consciente de su interacción con la intensidad del entrenamiento.
- Estipulará la intensidad de los ejercicios de la resistencia aeróbica y será consciente de los diversos métodos para monitorizar la intensidad.
- Describirá los distintos tipos de programas de resistencia aeróbica.
- Aplicará el programa estableciendo unas variables basadas en la sesión deportiva.
- Abordará los problemas del entrenamiento alternativo, el desentrenamiento, el afinamiento, el entrenamiento resistido suplementario y la altitud a la hora de diseñar un programa de entrenamiento de la resistencia aeróbica.

* Los autores agradecen la significativa aportación de Patrick S. Hagerman en la redacción de este capítulo.

El diseño de programas de entrenamiento aeróbico presenta muchas similitudes con la prescripción de ejercicio anaeróbico. Este capítulo presenta los principios generales del diseño de programas para aplicar al entrenamiento de la resistencia aeróbica, así como un método escalonado para elaborar programas seguros y eficaces.

Las mejoras en la resistencia aeróbica solo se producen cuando se aplican al entrenamiento unos principios fiables. Aunque no se definan los mecanismos fundamentales responsables de inducir adaptaciones durante el entrenamiento, está claro que, para que se produzca la adaptación, los diversos sistemas del cuerpo deben experimentar un desafío por medio del estímulo del ejercicio (p. ej., la especificidad y la sobrecarga). Los sistemas fisiológicos que no intervienen durante la sesión de entrenamiento o que no experimentan un esfuerzo suficiente durante el ejercicio no se adaptarán al programa de entrenamiento (47, 48).

La *especificidad del entrenamiento* hace referencia a las adaptaciones diferenciadas de los sistemas fisiológicos, que son producto del programa de entrenamiento. El efecto del entrenamiento se limita a los sistemas fisiológicos usados y sobrecargados durante el ejercicio (48, 73). A menos que los programas de entrenamiento estén diseñados estrictamente para implicar y someter a esfuerzo a un sistema fisiológico, no habrá adaptaciones o serán muy limitadas en ese sistema. Para mejorar el rendimiento de la resistencia aeróbica, los programas de entrenamiento se deben diseñar para mejorar la función de los sistemas respiratorio, cardiovascular y musculoesquelético.

Para que se produzca una adaptación al entrenamiento, algún sistema fisiológico se tiene que ejercitar a un nivel por encima del que está acostumbrado (72). Durante una sobrecarga continuada, los sistemas fisiológicos del cuerpo se adaptan al esfuerzo del ejercicio. Las adaptaciones de los sistemas fisiológicos ocurren hasta que los tejidos ya no se pueden sobrecargar más. Es entonces cuando se necesita una sobrecarga mayor. La frecuencia, duración e intensidad del ejercicio son las variables que se manipulan con más frecuencia para conseguir la sobrecarga de los sistemas corporales.

La intervención exitosa en competiciones de resistencia aeróbica en que hay que correr, pedalear y nadar depende de la capacidad del cuerpo para desplazarse una distancia fija en el tiempo más corto posible. Esto exige a los atletas estar en un pico de su condición física para la competición. Para alcanzar dicho nivel de rendimiento, los atletas tienen que entrenar duro, pero de forma inteligente, para potenciar al máximo las adaptaciones fisiológicas derivadas del entrenamiento. De hecho, la condición física del atleta especializado en resistencia aeróbica tiene importancia capital si quiere rendir a un nivel óptimo durante la competición (15, 24, 54, 77, 82). Una tendencia

habitual de muchos atletas especializados en resistencia aeróbica es la de adaptar y abrazar los principios del entrenamiento de otros atletas de resistencia aeróbica con mucho éxito y archiconocidos. Aunque esta estrategia sea eficaz para unos cuantos, la mayoría de los atletas de resistencia aeróbica muy probablemente se ejercitarán mejor con un régimen de entrenamiento propio y basado en un conocimiento práctico de los principios fiables del entrenamiento, y en el conocimiento de sus propias necesidades y limitaciones físicas.

Se han diseñado numerosos tipos de programas para atletas de resistencia aeróbica. Estos programas de entrenamiento varían en el modo, frecuencia, duración e intensidad de la actividad. Lo que comparten los atletas de resistencia aeróbica con éxito es un programa de entrenamiento diseñado para mejorar sus puntos fuertes y débiles. Este capítulo está pensado para aportar al especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico unos conocimientos prácticos fiables sobre los principios científicos del entrenamiento y acondicionamiento físico de la resistencia aeróbica. Específicamente, el capítulo aporta información sobre los factores relacionados con el rendimiento, sobre las variables que intervienen en el diseño de programas de entrenamiento de la resistencia aeróbica y sobre los diversos tipos de programas. A continuación, el capítulo se centra en el entrenamiento de la temporada deportiva y en aspectos especiales relacionados con el entrenamiento de la resistencia aeróbica. Dado que sería agotador revisar la información relevante sobre el entrenamiento en todos los deportes de resistencia aeróbica, aquí se presentan solo los temas básicos del entrenamiento de la resistencia aeróbica, con ejemplos específicos relacionados con el atletismo, el ciclismo y la natación.

Factores relacionados con la resistencia aeróbica

Al diseñar programas de entrenamiento de la resistencia aeróbica, es importante entender los factores que influyen y desempeñan un papel significativo en el éxito de las actuaciones de resistencia aeróbica. Esto permite desarrollar programas fiables de entrenamiento al tiempo que se reduce al mínimo cualquier entrenamiento innecesario que pueda causar adaptaciones contraproducentes, cansancio, sobrecarga o sobreentrenamiento.

Capacidad aeróbica máxima

A medida que aumenta la duración de las competiciones de resistencia aeróbica, también lo hace la proporción de energía total que aporta el metabolismo aeróbico. Es por ello que se necesita una elevada **capacidad aeróbica máxima ($\dot{V}O_2$ máx)** para triunfar en las competiciones de resistencia aeróbica (59). Existe una elevada correlación entre la $\dot{V}O_2$ máx y el rendimiento en las competiciones de resistencia aeróbica (1, 19, 32, 59, 60). Por consiguiente, los programas de entrenamiento de la resistencia aeróbica se diseñarán para mejorar la $\dot{V}O_2$ máx. Sin embargo, aunque una $\dot{V}O_2$ máx alta sea importante para el éxito, otros factores tal vez sean igual o incluso más importantes, como un umbral de lactato elevado, una buena economía del ejercicio, una alta eficacia en el uso de grasas como fuente de energía y un elevado porcentaje de fibras musculares tipo I.

En el caso de atletas de fondo bien entrenados, la mejora de la $\dot{V}O_2$ máx tal vez beneficie el rendimiento hasta cierto punto, sobre todo porque estos individuos ya suelen poseer una capacidad aeróbica excelente. Por consiguiente, la capacidad de mantener velocidades más altas durante la competición y el entrenamiento puede tener un mayor impacto sobre el rendimiento que intentar alcanzar mejoras marginales en la capacidad aeróbica. Por este motivo, muchos atletas recurren al entrenamiento por intervalos de alta intensidad (EIAI). Aunque este aspecto no se entienda del todo, el EIAI tal vez contribuya al rendimiento de atletas de fondo muy entrenados mediante mejoras en el pico de producción de potencia, el umbral ventilatorio, el sistema amortiguador de la concentración de iones de hidrógeno y la utilización de grasas como fuente de energía (55).

Umbral de lactato

En las competiciones de resistencia aeróbica, el mejor competidor entre atletas de $\dot{V}O_2$ máx parecida suele ser el que puede mantener la producción aeróbica de energía con el máximo porcentaje de su $\dot{V}O_2$ máx sin que se acumulen grandes cantidades de ácido láctico en los músculos y la sangre (54). Aunque se han utilizado numerosos términos para referirse a este fenómeno, **umbral de lactato** es el más empleado en la literatura. El umbral de lactato es la velocidad de movimiento o el porcentaje de la $\dot{V}O_2$ máx al que se observa una concentración específica del lactato en la sangre, o el punto en que la concentración de lactato en la sangre empieza a aumentar por

encima de los niveles en reposo (82). Varios estudios han demostrado que el umbral de lactato de los atletas es un mejor indicador que la $\dot{V}O_2$ máx de su rendimiento de resistencia aeróbica (21, 22). El **ritmo máximo en condiciones de lactato estable** es otro término que aparece a menudo en la literatura sobre el entrenamiento de la resistencia aeróbica. El ritmo máximo en condiciones de lactato estable se define como la intensidad del ejercicio en que la producción máxima de lactato iguala el ritmo máximo de eliminación del cuerpo de ese mismo lactato (4). El ritmo máximo en condiciones de lactato estable es considerado por muchos como un mejor indicador del rendimiento de resistencia aeróbica que la $\dot{V}O_2$ máx o el umbral de lactato (4, 34). De esta información se desprende que los atletas de resistencia aeróbica deben mejorar su umbral de lactato o su ritmo máximo en condiciones de lactato estable. Esto exige que practiquen cierto entrenamiento con niveles elevados de concentración de lactato en la sangre y los músculos para obtener las máximas mejoras con el entrenamiento.

Economía de ejercicio

Una medida del coste energético de la actividad con una velocidad dada es la **economía de ejercicio.** Los atletas con una mayor economía de ejercicio gastan menos energía durante el ejercicio para mantener una velocidad dada (es decir, la velocidad en carrera). Varios investigadores han sugerido que la economía de ejercicio es un factor importante para el éxito en las disciplinas de carrera (14, 31), donde los mejores corredores tienen una longitud de zancada ligeramente más corta y una mayor frecuencia de zancada en comparación con los corredores de menos éxito (12). En el caso del ciclismo, el tamaño de la masa corporal, la velocidad de pedaleo y la postura aerodinámica influyen en la economía de ejercicio (22, 61, 78). En el caso de los ciclistas, un aumento de la masa corporal y la velocidad de pedaleo, y una postura ineficaz reducen la economía de ejercicio. Se ha demostrado que los nadadores de elite se mueven con mucha más economía de movimientos que los nadadores que no son de elite (81) y consumen menos oxígeno sea cual sea la velocidad a la que naden. El impacto más profundo de la economía de ejercicio al nadar se observa cuando la técnica natatoria es más eficaz. A medida que se producen mejoras en la mecánica de braceo, se reduce la demanda de energía al nadar a una velocidad dada (80). El entrenamiento para mejorar la economía de ejercicio es crítico para los atletas de resistencia

aeróbica.

Un incremento en la economía del ejercicio puede mejorar la capacidad aeróbica máxima (nVO$_2$ máx) y el umbral de lactato.

Diseño de un programa de resistencia aeróbica

Todo programa eficaz de entrenamiento de la resistencia aeróbica debe incluir una prescripción de ejercicio específica para el atleta concreto. Esto exige la manipulación de las variables primarias para el diseño de programas. La lista del siguiente cuadro muestra las variables para el diseño en forma de pasos 1 a 5. Por desgracia, entrenadores y atletas a menudo usan las prácticas o programas de entrenamiento de los entrenadores o deportistas de mayor éxito en su deporte. Esto supone no contemplar los puntos fuertes y débiles del atleta, lo cual tal vez suponga el desarrollo de un programa de entrenamiento ineficaz o potencialmente dañino. La forma óptima de desarrollar un programa de entrenamiento fiable es que se evalúen los factores relacionados con la resistencia aeróbica y luego se emplee esa información para crear un programa de entrenamiento específico para el atleta. Por ejemplo, un atleta con una economía de ejercicio limitada debería poner el énfasis en mejorar esa economía de ejercicio, lo cual podría comprender un entrenamiento interválico centrado en la técnica, así como la introducción de largos períodos de descanso. Por el contrario, los atletas que necesiten elevar su umbral de lactato se deberían plantear la práctica de un entrenamiento de más alta intensidad.

Variables en el diseño de programas de entrenamiento aeróbico

Paso 1: Modo de ejercicio.
Paso 2: Frecuencia del entrenamiento.
Paso 3: Intensidad del entrenamiento.
Paso 4: Duración del ejercicio.
Paso 5: Progresión del ejercicio.

Los programas de entrenamiento para mujeres atletas no tienen que ser distintos a los usados para entrenar a los hombres atletas; las evidencias muestran que ambos responden de forma similar a los programas de

entrenamiento (10, 60, 67). Remitimos al capítulo 7 para una exposición sobre las diferencias relativas al sexo y sus implicaciones en el ejercicio.

Paso 1: Modo de ejercicio

El **modo** de ejercicio se refiere a la actividad específica practicada por el atleta: ciclismo, atletismo, natación, etc. Al entrenar para mejorar la resistencia aeróbica, el atleta selecciona actividades que reproduzcan en la medida de lo posible el patrón de movimiento empleado en la competición. Esto genera adaptaciones positivas en sistemas fisiológicos específicos del cuerpo. Por ejemplo, el reclutamiento de fibras musculares específicas y la adaptación de los sistemas de energía de esas fibras debe ser exigente durante el entrenamiento de la resistencia aeróbica. Seleccionar el modo apropiado de ejercicio durante el entrenamiento garantiza que los sistemas usados en la competición se vean azuzados para mejorar. Recordemos que cuanto más específico sea el modo de entrenamiento respecto al deporte, mayores serán las mejoras del rendimiento. En el caso de un atleta que practica múltiples deportes de resistencia aeróbica, o que esté interesado en un programa general de acondicionamiento físico de la resistencia aeróbica, se debe garantizar un entrenamiento alternativo o la participación en múltiples actividades de resistencia aeróbica (35).

Paso 2: Frecuencia del entrenamiento

La **frecuencia** del entrenamiento se refiere al número de sesiones de entrenamiento diarias o semanales. La frecuencia de las sesiones de entrenamiento depende de la interacción de la intensidad y duración del ejercicio, del estado de entrenamiento del atleta y del período específico de la temporada deportiva. Una mayor intensidad y duración del ejercicio quizá precisen un entrenamiento menos frecuente para permitir una recuperación suficiente de las sesiones de ejercicio. El estado de entrenamiento del atleta influye en la frecuencia del entrenamiento, siendo los atletas menos entrenados los que precisan más días de recuperación que los más entrenados al principio del período de entrenamiento. El momento específico de la temporada deportiva también influye en la frecuencia de entrenamiento; un programa fuera de temporada tal vez comprenda cinco días de entrenamiento semanales, aunque luego es posible que pase a entrenamientos diarios (o incluso múltiples sesiones diarias en el caso de los triatletas) en la

pretemporada. Además, quizá se requieran menos sesiones de entrenamiento para mantener un nivel funcional o de rendimiento fisiológicos ya alcanzado que para lograr inicialmente ese nivel (77). La frecuencia apropiada de entrenamiento es importante para los atletas de resistencia aeróbica, dado que un entrenamiento excesivo eleva el riesgo de lesiones, enfermedades o sobreentrenamiento. Varios estudios han demostrado un incremento de la tasa de lesiones cuando las sesiones de entrenamiento superan los cinco días semanales (49, 69); no obstante, estos estudios contaron con individuos activos de muy diversas edades, no solo atletas jóvenes y sanos. Por el contrario, un entrenamiento insuficiente no causará adaptaciones positivas en los diversos sistemas del cuerpo. Los estudios han demostrado que es necesario entrenar más de dos veces por semana para aumentar la $\dot{V}O_2$ máx (38, 83). Muchos entrenadores reconocen que tal vez se necesiten múltiples sesiones diarias para mejorar el rendimiento de algunos atletas de fondo. El estudio dirigido por Hansen y colaboradores (43) puso en evidencia que el tiempo hasta el agotamiento, las concentraciones de glucógeno muscular en reposo y la actividad de la citrato sintasa aumentaban en siete hombres sanos no entrenados después de diez semanas de entrenamiento doble cada dos días, en comparación con la etapa en que el entrenamiento fue a diario. Se especuló con que el entrenamiento en un estado de depleción del glucógeno tal vez mejoraba la resíntesis de glucógeno mediante un aumento de la tasa de transcripción de ciertos genes responsables de las adaptaciones al entrenamiento. No obstante, los investigadores recomendaron cautela, ya que estos resultados no debían usarse necesariamente por entrenadores y especialistas para dirigir las prácticas, ya que las concentraciones bajas de glucógeno pueden reducir el período de tiempo durante el que un atleta es capaz de entrenar y pueden incrementar el riesgo de sobreentrenamiento. Esta es una razón por la que es importante monitorizar los efectos de la carga de entrenamiento en los atletas.

La **recuperación** de las sesiones individuales de entrenamiento es esencial si el atleta quiere obtener los máximos beneficios de la siguiente sesión de entrenamiento. El rendimiento ha demostrado mejorar después de un descanso relativo de sesiones difíciles de entrenamiento (2). Obtener suficiente descanso, rehidratarse y recuperar las fuentes de energía son aspectos críticos para el atleta durante la recuperación. La relajación y la evitación de actividades físicas agotadoras son aspectos especialmente importantes los días siguientes a un entrenamiento de alta intensidad y larga

duración. La ingesta tras el ejercicio de suficiente líquido es importante para remplazar el perdido durante el entrenamiento. Si la sesión de entrenamiento fue especialmente larga o intensa, entonces la ingesta de glucógeno tras el ejercicio es importante para recuperar las reservas de glucógeno del hígado y los músculos, que probablemente se agotaron. (Se hallará información más detallada sobre este tema en el capítulo 10, «Estrategias nutricionales para potenciar el rendimiento»).

TABLA 20.1 Relación entre la capacidad funcional ($\dot{V}O_2$ máx), la frecuencia cardíaca de reserva (FCR) y la frecuencia cardíaca máxima (FCM)

Porcentaje de la VO_2max (%)	Porcentaje de la FCR (%)	Porcentaje de la FCM (%)
50	50	66
55	55	70
60	60	74
65	65	77
70	70	81
75	75	85
80	80	88
85	85	92
90	90	96
95	95	98
100	100	100

Paso 3: Intensidad del entrenamiento

Elemento central de las adaptaciones del cuerpo al entrenamiento es la interacción de la intensidad y la duración del entrenamiento. Por lo general, cuanto mayor sea la intensidad del ejercicio, más corta será la duración del ejercicio. Las adaptaciones del cuerpo son específicas de la **intensidad** o del esfuerzo desplegado durante una sesión de entrenamiento. El ejercicio aeróbico de alta intensidad aumenta la función cardiovascular y respiratoria, y permite mejorar la distribución de oxígeno por los músculos ejercitados (72). El aumento de la intensidad del ejercicio también tiene como resultado adaptaciones del músculo esquelético al influir en el reclutamiento de fibras

musculares (28). A medida que aumenta la intensidad del ejercicio, se produce un mayor reclutamiento de fibras musculares tipo II para cubrir las necesidades de mayor potencia. Este estímulo del entrenamiento permite a esas fibras estar más entrenadas aeróbicamente, con lo cual posiblemente mejore su rendimiento aeróbico general.

La regulación de la intensidad del ejercicio es crítica para el éxito de las sesiones de entrenamiento y, en último término, de todo el programa. Una intensidad del ejercicio demasiado baja no causa una **sobrecarga** de los sistemas corporales ni induce las adaptaciones fisiológicas deseadas, mientras que una intensidad demasiado alta causa fatiga y un final prematuro de la sesión de entrenamiento (70). En cualquier caso, la sesión de entrenamiento será escasa e ineficaz.

Los métodos más precisos para regular la intensidad del ejercicio son la monitorización del consumo de oxígeno durante el ejercicio para determinar su porcentaje de $\dot{V}O_2$ máx, así como medir periódicamente la concentración de lactato en la sangre para determinar la relación con el umbral de lactato. Si no se dispone de la prueba de la $\dot{V}O_2$ máx, las prescripciones de ejercicio pueden recurrir a la frecuencia cardíaca, a los índices del esfuerzo percibido, a los equivalentes metabólicos o a la velocidad del ejercicio para monitorizar su intensidad. Los competidores profesionales y amateur de máximo nivel usan con frecuencia cicloergómetros para medir la producción de potencia.

Frecuencia cardíaca

Probablemente, la frecuencia cardíaca sea el método usado con más frecuencia para prescribir la intensidad del ejercicio aeróbico. La razón es la estrecha relación entre la frecuencia cardíaca y el consumo de oxígeno, sobre todo cuando la intensidad promedia entre el 50% y el 90% de la **capacidad funcional** ($\dot{V}O_2$ máx), también llamada **frecuencia cardíaca de reserva (FCR)**, que es la diferencia entre la frecuencia cardíaca máxima y la frecuencia cardíaca en reposo de un atleta (5). El modo más preciso de regular la intensidad con este método es determinar la frecuencia cardíaca específica asociada con el porcentaje deseado de la $\dot{V}O_2$ máx, o la frecuencia cardíaca asociada con el umbral de lactato. Para la máxima precisión, se necesita una prueba de laboratorio que identifique estas intensidades para el ejercicio. Si no es posible realizar pruebas de laboratorio, entonces se usa la **frecuencia cardíaca máxima estimada para la edad (FCMEE)** como base

con la que determinar la intensidad del ejercicio. Remitimos a la tabla «Cálculos de la frecuencia cardíaca ideal» para obtener fórmulas y cálculos de muestra con que determinar los valores de la frecuencia cardíaca durante el ejercicio de resistencia aeróbica usando el **método de Karvonen** y el **método de los porcentajes de la frecuencia cardíaca máxima (FCM).** La relación entre la $\dot{V}O_2$ máx, la FCR y la FCM se muestra en la tabla 20.1.

Aunque las fórmulas de Karvonen y del porcentaje de la frecuencia cardíaca máxima proporcionen asignaciones prácticas de la intensidad, basarla en los valores de la frecuencia cardíaca máxima estimada para la edad tal vez conlleve ciertas imprecisiones (en comparación con los valores de la frecuencia cardíaca máxima obtenida en laboratorio) cuando se monitorice la intensidad del ejercicio en el ciclismo o el atletismo (65). Se ha determinado que la edad contribuye al 75% de la variabilidad de la frecuencia cardíaca; los efectos de otros factores como el modo de ejercicio y el nivel de forma física también se deben tener en cuenta cuando se use la frecuencia cardíaca para monitorizar la intensidad (65). Además, utilizar valoraciones de la intensidad del ejercicio mediante ecuaciones de la frecuencia cardíaca máxima estimada no aporta información sobre la intensidad asociada con el umbral de lactato. Sin conocimientos sobre el umbral de lactato de un atleta, no es posible desarrollar un programa eficaz de entrenamiento de la resistencia aeróbica.

Escalas de evaluación de los índices de esfuerzo percibido

Las escalas del **índice de esfuerzo percibido (IEP)** también sirven para regular la intensidad durante el entrenamiento de la resistencia aeróbica (26, 39). Parece ser que el IEP regula con precisión la intensidad cuando hay cambios en el nivel de forma física (6); no obstante, los investigadores han demostrado que, en la relación entre el IEP y la intensidad, influyen diversos factores ambientales externos como las distracciones pasivas y la temperatura ambiente (13, 71). Según Haddad (41), diversas características de los sujetos, como la edad, el sexo, el estado de entrenamiento y el nivel de forma física, influyen en el IEP. Además, unos cuantos factores ambientales que influyen en el IEP son escuchar música, ver la televisión o un vídeo, la temperatura ambiente, la altitud, los aspectos nutricionales y la retroalimentación externa. No obstante, a pesar de la influencia potencial de estos factores, estos autores sugieren que el IPE sigue siendo un instrumento de monitorización válido (tabla 20.2).

Cálculos de la frecuencia cardíaca ideal

Método de Karvonen
Fórmulas:

- Frecuencia cardíaca máxima estimada para la edad (FCMEE) = 220 – edad
- Frecuencia cardíaca de reserva (FCR) = EFCMT – frecuencia cardíaca en reposo (FCRep)
- Frecuencia cardíaca ideal (FCI) = (FCR × intensidad del ejercicio) + FCRep

Estos cálculos se hacen dos veces para determinar los límites de esta frecuencia cardíaca ideal (LFCI)

Ejemplo:
Se asigna a un atleta de 30 años con una FCR de 60 latidos/min una intensidad de ejercicio del 60% al 70% de la capacidad funcional:

- FCMEE = 220 – 30 = 190 latidos/min
- FCRep = 60 latidos/min
- FCR = 190 – 60 = 130 latidos/min
- Valor más bajo de los LFCI = (130 × 0,60) + 60 = 78 + 60 = 138 latidos/min
- Valor más alto de los LFCI = (130 × 0,70) + 60 = 91 + 60 = 151 latidos/min

Al monitorizar la frecuencia cardíaca durante el ejercicio, se dividen los LFCI por 6 y se obtienen los LFCI del atleta en número de latidos durante un intervalo de 10 segundos:

138 ÷ 6 = 23 151 ÷ 6 = 25

Los LFCI del atleta son de 23 a 25 latidos en 10 segundos.

Método del porcentaje de la frecuencia cardíaca máxima
Fórmulas:

- Frecuencia cardíaca máxima estimada para la edad (FCMEE) = 220 – edad
- Frecuencia cardíaca ideal (FCI) = (EFCMT × intensidad del ejercicio)

Estos cálculos se hacen dos veces para determinar los límites de esta frecuencia cardíaca ideal (LFCI).

Ejemplo:
Se asigna a un atleta de 20 años una intensidad de ejercicio del 70% al 85% de la frecuencia cardíaca máxima:

- FCMEE = 220 – 20 = 200 latidos/min
- Valor más bajo del LFCI = 200 × 0,70 = 140 latidos/min
- Valor más alto del LFCI = 200 × 0,85 = 170 latidos/min

Al monitorizar la frecuencia cardíaca durante el ejercicio, se dividen los LFCI por 6 y se obtienen los LFCI del atleta en número de latidos durante un intervalo de 10 segundos:

140 ÷ 6 = 23 170 ÷ 6 = 28

Los LFCI del atleta son de 23 a 28 latidos en 10 segundos.

TABLA 20.2 Escalas de evaluación de los índices de esfuerzo percibido (IEP)

Índice	Descripción
1	Ninguno (atleta tumbado)
2	Extremadamente pequeño
3	Muy fácil

4	Fácil (podría estar haciéndolo todo el día)
5	Moderado
6	Algo duro (empieza a percibirlo)
7	Duro
8	Muy duro (hace esfuerzos por mantener el ritmo)
9	Muy, muy duro
10	Esfuerzo máximo (no puede continuar)

Fuente: Reproducido, con autorización, de Hagerman, P. (2012). Aerobic Endurance Training Program Design. En: Coburn, J.W. y Malek, M.H. (eds.) *NSCA's Essentials of Personal Training*. Champaign, IL: Human Kinetics; figura 16.1, p. 395.

Equivalentes metabólicos

Los equivalentes metabólicos también sirven para prescribir la intensidad de ejercicio. Un **equivalente metabólico (MET)** es igual a 3,5 ml/kg/min de consumo de oxígeno y se considera la cantidad de oxígeno requerida por el cuerpo en reposo (1). Se han determinado los valores del equivalente metabólico de diversas actividades físicas; en la tabla 20.3 aparece una breve lista. Por ejemplo, una actividad con un MET de 10 requiere 10 veces el consumo de oxígeno que esa persona precisa en reposo. La asignación de valores del MET como parte de la prescripción de ejercicio aeróbico exige que el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico sepa (o estime) el consumo máximo de oxígeno de una persona con el fin de calcular el nivel de MET de un ejercicio (40).

TABLA 20.3 Equivalentes metabólicos (MET) para actividades físicas

MET	Actividad
1,0	Tumbado o sentado en silencio, sin hacer nada, tumbado en la cama despierto
2,0	Caminar, <3,2 km/h, en llano
2,5	Caminar, 3,2 km/h, en llano
3,0	Entrenamiento resistido (pesas libres, máquina tipo Nautilus o Universal), esfuerzo ligero o moderado
3,5	Bicicleta estática, 30-50 W, esfuerzo muy ligero
3,0	Caminar, 4 km/h

3,5	Caminar, 4,5-5,2 km/h, en llano
3,5	Calistenia, ejercicio en casa, esfuerzo ligero o moderado
4,3	Caminar, 5,6 km/h, en llano
4,8	Subir escaleras (escalones de 10 cm de altura), 30 escalones por minuto
5,0	Danza aeróbica, bajo impacto
5,0	Caminar, 6,4 km/h, en llano
5,0	Bicicleta elíptica, esfuerzo moderado
5,5	Aeróbic *step* (escalones de 10 cm de altura)
5,5	Ejercicio aeróbico acuático, calistenia acuática
5,8	Largos de piscina, estilo libre, lentos, esfuerzo ligero o moderado
6,0	Ciclismo al aire libre, 16 a 19,2 km/h
6,0	Entrenamiento resistido (pesas libres, máquina tipo Nautilus o Universal), *powerlifting* o culturismo, esfuerzo vigoroso
6,3	Subir escaleras (escalones de 31 cm de altura), 20 escalones por minuto
6,3	Caminar, 7,2 km/h, en llano
6,8	Bicicleta estática, 90-100 W, esfuerzo ligero
6,9	Subir escaleras (escalones de 20 cm de altura), 30 escalones por minuto
70	Remo estático, 100 W, esfuerzo moderado
73	Danza aerábica, alto impacto
75	Aerábic *step* (escalones de 15-20 cm de altura)
8,0	Calistenia (p. ej., flexiones de brazos, flexiones de abdominales, dominadas, saltos abriendo las piernas hacia los lados), esfuerzo vigoroso
8,0	Entrenamiento en circuito, incluyendo algunas estaciones aerábicas, con descanso mínimo
8,0	Ciclismo al aire libre, de 19,3 a 22,4 km/h
8,3	Caminar 8 km/h
8,5	Remo estático, 150 W, esfuerzo moderado
8,8	Bicicleta estática, 101-160 W, esfuerzo ligero
9,0	Correr, 8,4 km/h (11,5 minutos por cada 1.600 metros)
9,0	Aeróbic *step* (escalones de 31 cm de altura)

9,8	Correr, 9,7 km/h (10 minutos por cada 1.600 metros)
9,5	Aeróbic *step* (escalones de 25,4 a 31 cm de altura)
9,8	Largos de piscina, estilo libre, rápidos, esfuerzo vigoroso
10,0	Ciclismo al aire libre, 22,5 a 25,6 km/h
10,5	Correr, 10,8 km/h (9 minutos por cada 1.600 metros)
11,0	Correr, 11,3 km/h (8,5 minutos por cada 1.600 metros)
11,0	Bicicleta estática, 161-200 W, esfuerzo vigoroso
11,0	Saltar a la comba, general
11,8	Correr, 12,1 km/h (8 minutos por cada 1.600 metros)
11,8	Correr, 12,9 km/h (7,5 minutos por cada 1.600 metros)
12,0	Ciclismo al aire libre, de 25,7 a 30,6 km/h
12,0	Remo estático, 200 W, esfuerzo moderado
12,3	Correr, 13,7 km/h (7 minutos por cada 1.600 metros)
12,8	Correr, 14,5 km/h (6 minutos 40 segundos por cada 1.600 metros)
14,0	Bicicleta estática, 201-270 W, esfuerzo muy vigoroso
14,5	Correr, 16,1 km/h (6 minutos por cada 1.600 metros)
15,8	Ciclismo al aire libre, >32,2 km/h

Fuente: Basado en Ainsworth *et al*. (2011). Compendium of physical activities: A second update of codes and MET values. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43:1575-1581.

Medición de la potencia

Es probable que los ciclistas empleen potenciómetros de buje o de biela para monitorizar la intensidad del ejercicio. Debido al coste, estos aparatos probablemente solo sean aptos para profesionales y aficionados del máximo nivel. Los estudios de investigación han indicado que al menos dos de estos aparatos proporcionan mediciones válidas y fiables de la potencia (36, 57). Emplear la potencia para monitorizar la intensidad en el ciclismo tiene ventaja sobre otras mediciones, porque el índice metabólico está estrechamente relacionado con la producción de potencia mecánica (25). Usar la potencia como una medición de la intensidad también permite reproducir los esfuerzos de la intensidad con independencia de las condiciones

ambientales, lo cual tal vez influya en otras mediciones de la intensidad, como la frecuencia cardíaca y la velocidad en el entrenamiento (25).

Paso 4: Duración del ejercicio

La **duración** del ejercicio se refiere al tiempo que transcurre durante una sesión de entrenamiento. En la duración de una sesión de entrenamiento a menudo influye la intensidad del ejercicio: cuanto mayor sea la duración, menor la intensidad del ejercicio (74). Por ejemplo, el ejercicio que transcurre a una intensidad por encima del ritmo máximo en condiciones de lactato estable (p. ej., el 85% de la $\dot{V}O_2$ máx) tendrá una duración relativamente corta (20-30 minutos) porque la acumulación de lactato en los músculos contribuye a la fatiga. Por el contrario, el ejercicio que se practica a una intensidad mucho menor (p. ej., el 70% de la $\dot{V}O_2$ máx) se puede prolongar varias horas antes de que el atleta experimente cansancio.

En la duración de una sesión de entrenamiento suele influir la intensidad del ejercicio; cuanto más dure el ejercicio, menor será la intensidad del ejercicio.

Paso 5: Progresión del ejercicio

Una vez que los atletas comienzan un programa de ejercicio de resistencia aeróbica, tienen que continuar con él para mantener o mejorar su nivel de forma física aeróbica. Los estudios de investigación parecen señalar que la condición física aeróbica no se reduce hasta cinco semanas después siempre que la intensidad del entrenamiento se mantenga y disminuya la frecuencia hasta dos veces por semana (46).

Dependiendo de los objetivos del atleta, la progresión de un programa de ejercicio de resistencia aeróbica implicará inicialmente un incremento de la frecuencia, intensidad y duración del ejercicio. Las recomendaciones generales son que los individuos siempre incluyan al menos un día de recuperación o de descanso activo en cada semana de entrenamiento. La mayoría de los entrenadores se marcan el objetivo de aumentar, más que mantener, su condición aeróbica. Esto requiere una progresión regular del programa de entrenamiento. Lo típico es que la frecuencia, intensidad o duración del ejercicio no aumenten más de un 10% por semana (42). Con niveles superiores de forma física, los atletas alcanzarán un punto en que no sea factible aumentar la frecuencia o duración del ejercicio. Cuando esto

sucede, las progresiones del entrenamiento se producen únicamente por medio de la manipulación de la intensidad del ejercicio (42).

Ejemplos de progresión del ejercicio aeróbico

Ejemplo A

- *Semana 1:* Cuatro veces por semana con una intensidad del 70% al 85% de la FCI durante 40 minutos.
- *Semana 2:* Cinco veces por semana con una intensidad del 70% al 85% de la FCI durante 45 minutos.
- *Semana 3:* Tres veces por semana con una intensidad del 70% al 85% de la FCI durante 40 minutos, y una vez por semana durante 50 minutos, del 60% al 75% de la FCI.
- *Semana 4:* Cuatro veces por semana con una intensidad del 70% al 85% de la FCI durante 45 minutos, y una vez por semana durante 50 minutos, del 60% al 75% de la FCI.
- *Semana 5:* Cuatro veces por semana con una intensidad del 70% al 85% de la FCI durante 45 minutos, y una vez por semana durante 55 minutos, del 60% al 75% de la FCI.

Ejemplo B

- *Semana 1:* Tres veces por semana con una intensidad del 60% al 70% de la FCI durante 30 minutos.
- *Semana 2:* Cuatro veces por semana con una intensidad del 60% al 70% de la FCI durante 35 minutos.
- *Semana 3:* Tres veces por semana con una intensidad del 65% al 75% de la FCI durante 30 minutos.
- *Semana 4:* Cuatro veces por semana con una intensidad del 65% al 70% de la FCI durante 35 minutos.
- *Semana 5:* Tres veces por semana con una intensidad del 70% al 75% de la FCI durante 30 minutos.

Como se muestra en el cuadro titulado «Ejemplos de progresión del ejercicio aeróbico», los atletas y los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico pueden manipular combinaciones de frecuencia, intensidad y duración. La progresión de la frecuencia del entrenamiento tal vez esté limitada por restricciones como los estudios y el trabajo. Al atleta tal vez no le resulte posible incorporar más de una sesión de entrenamiento diaria. La medición de la intensidad del entrenamiento debe emplear los mismos métodos que los usados en la prescripción original de la intensidad

del ejercicio. El mejor método estará determinado por el equipamiento disponible para monitorizar la intensidad (pulsómetro, tablas de IEP o máquinas que proporcionen cargas de trabajo en MET). La progresión de la intensidad de entrenamiento se monitorizará cuidadosamente para evitar el sobreentrenamiento. La duración de cada sesión de entrenamiento está limitada por las mismas restricciones que la frecuencia. Los atletas que entrenan sobre todo al aire libre también están limitados por el número de horas de luz, sobre todo a finales de otoño, en invierno y en el arranque de la primavera.

Tipos de programas de entrenamiento de la resistencia aeróbica

Hay varios tipos de programas de entrenamiento de la resistencia aeróbica, cada uno con distinta frecuencia, intensidad y duración, y diversos parámetros de progresión. Cada tipo incorpora las cinco variables del diseño y se traduce en regímenes creados para obtener resultados específicos. La tabla 20.4 resume los tipos de entrenamiento de la resistencia aeróbica y sus pautas prescriptivas habituales. De cada tipo de entrenamiento aeróbico se incluyen programas de entrenamiento de muestra después de las secciones siguientes; el modo específico de entrenamiento que se aborda se resalta en negrita en la tabla de entrenamiento de muestra.

TABLA 20.4 Tipos de entrenamiento de la resistencia aeróbica

Tipo de entrenamiento	Frecuencia por semana*	Duración (porción de la tanda de entrenamiento)	Intensidad
Larga distancia lenta (LDL)	1-2	Carrera de fondo o más larga (~30-120 minutos)	~70% de la $\dot{V}O_2$máx
Ritmo/tempo	1-2	~20-30 minutos	Al umbral de lactato; a ritmo de carrera o un poco por encima
Interválico	1-2	3-5 minutos (relación trabajo/descanso de 1:1)	Cerca de la $\dot{V}O_2$máx
Entrenamiento interválico de alta intensidad	1	30-90 segundos (relación trabajo/descanso de 1:5)	Por encima de la $\dot{V}O_2$máx
Fartlek	1	~20-60 minutos	Varía entre intensidades de entrenamiento de LDL y de ritmo/tempo

* Los otros días de la semana se componen de otros tipos de entrenamiento y días de descanso-recuperación.

Fuente: Datos de las referencias bibliográficas 15, 24, 54, 77 y 82.

Entrenamiento de largas distancias a ritmo lento

Tradicionalmente, los entrenadores y atletas de fondo han utilizado el término **larga distancia lenta (LDL)** para referirse al entrenamiento a intensidades equivalentes al 70% aproximadamente de la $\dot{V}O_2$ máx (o en torno al 80% de la frecuencia cardíaca máxima). El atleta y el especialista en *fitness* deben recordar que el término *lenta* se refiere a un ritmo más lento que el típico de una carrera. La terminología LDL probablemente se deba a un cambio para reflejar mejor la intención de la actividad. Hemos conservado el término LDL para seguir la terminología más habitual. En una sesión de entrenamiento LDL, la distancia debe ser mayor que durante la carrera, o la duración debe ser al menos de 30 minutos a dos horas (24). La intensidad y la duración se suelen caracterizar por ser posible mantener una conversación durante el ejercicio sin que el atleta manifieste *distrés* respiratorio indebido. Los beneficios fisiológicos derivados del entrenamiento LDL suelen incluir mejora de la función cardiovascular y de la termorregulación, mejora de la producción de energía mitocondrial y de la capacidad oxidativa del músculo esquelético, y una mayor utilización de las grasas como fuente de energía (7, 11, 16, 18, 28, 33, 40, 47, 48, 52, 73, 82). Es probable que estos cambios mejoren la intensidad en el umbral de lactato al potenciar la capacidad del cuerpo para eliminar el lactato. El uso crónico de este tipo de entrenamiento también provoca un cambio en las características metabólicas de los músculos implicados (40, 50) y el cambio final de las fibras tipo IIx a tipo I (68, 76).

El aumento en la utilización de grasas tal vez también cause un ahorro de glucógeno muscular (20, 23, 44, 48, 52, 58, 82). La intensidad durante este tipo de entrenamiento es menor que la usada durante la competición, y eso quizá sea una desventaja si se practica mucho este tipo de entrenamiento. Además, este entrenamiento no estimula los patrones neurológicos de reclutamiento de las fibras musculares que se requieren durante una carrera (82), y esto tal vez derive en adaptaciones de las fibras musculares que no se usen durante la competición.

Entrenamiento del ritmo/tempo

El **entrenamiento del ritmo/tempo** aplica una intensidad igual o ligeramente superior a la intensidad del día de la competición. La intensidad se corresponde con el umbral de lactato; por tanto, este tipo de entrenamiento a

menudo se llama *entrenamiento en el umbral* (24) o *entrenamiento interválico aeróbico-anaeróbico* (15). Hay dos formas de practicar el entrenamiento de ritmo/tempo: de manera continua o intermitente (24). El entrenamiento continuo no presenta interrupciones, se practica a una intensidad igual al umbral de lactato y tiene una duración aproximada de 20 a 30 minutos. El propósito de este entrenamiento es que el atleta se ejercite a una intensidad específica y mejore la producción de energía por parte del metabolismo aeróbico y anaeróbico. El entrenamiento intermitente también recibe el nombre de *tempo con intervalos, intervalos de regularidad* o *intervalos en el umbral de lactato* (24). Durante el entrenamiento de ritmo/tempo intermitente, la intensidad es la misma que para las sesiones en el umbral de lactato estable, si bien la sesión de entrenamiento consiste en una serie de intervalos más cortos con breves períodos de recuperación entre intervalos de trabajo. Durante el entrenamiento de ritmo/tempo es importante evitar ejercitarse a mayor intensidad que la prescrita. Si la sesión parece relativamente fácil, es mejor aumentar la distancia que elevar la intensidad. El objetivo primario de este tipo de entrenamiento es desarrollar un sentido del ritmo en carrera y mejorar la capacidad de los sistemas corporales para soportar el ejercicio a ese ritmo. El entrenamiento de ritmo/tempo implica el mismo patrón de reclutamiento de las fibras musculares que el exigido en la competición. Los beneficios derivados de este tipo de entrenamiento comprenden la mejora de la economía de carrera y la elevación del umbral de lactato.

Entrenamiento interválico

El **entrenamiento interválico** comprende ejercicio a intensidades próximas a la $\dot{V}O_2$ máx. Los intervalos de trabajo deben durar entre 3 y 5 minutos, aunque pueden durar solo 30 segundos (1). Los intervalos de descanso para intervalos de trabajo de 3 a 5 minutos deben ser iguales al intervalo de ejercicio, con lo cual la relación entre trabajo y reposo es 1:1. El entrenamiento interválico permite al atleta entrenar a intensidades cercanas a la $\dot{V}O_2$ máx durante mucho más tiempo de lo que sería posible en una sola sesión de ejercicio a una intensidad elevada y continua. Este tipo de entrenamiento no se debe practicar hasta que se haya conseguido una base firme de entrenamiento de la resistencia aeróbica (54). El entrenamiento interválico es muy estresante para el atleta y se debe usar con moderación.

Los beneficios derivados del entrenamiento interválico comprenden un aumento de la $\dot{V}O_2$ máx y una mejora del metabolismo anaeróbico.

Entrenamiento interválico de alta intensidad

El **entrenamiento interválico de alta intensidad**, o EIAI, es una forma de entrenamiento que recurre a tandas repetidas de ejercicio de alta intensidad intercaladas con períodos cortos de recuperación (9). Según Buchheit y Laursen (9), para que el estímulo sea óptimo se necesita que los atletas pasen varios minutos en la sesión de EIAI por encima del 90% de la $\dot{V}O_2$ máx. Los intervalos de alta intensidad cortos (<45 segundos) y largos (2 a 4 minutos) sirven para obtener distintas respuestas del entrenamiento. A medida que aumenta la duración del trabajo de una tanda de ejercicio, es probable que se incremente la contribución energética de la glucólisis anaeróbica, junto con los niveles de lactato en sangre. Adicionalmente, el EIAI tal vez sea beneficioso para mejorar la velocidad y la economía en carrera. Esto puede ser especialmente importante en los estadios finales de una carrera de resistencia anaeróbica cuando se necesita el «impulso final» para adelantar a un competidor, o establecer un récord o una mejor marca personal.

Al practicar el EIAI es crítica la cantidad apropiada de descanso entre repeticiones. Si los intervalos de descanso son demasiado cortos, el atleta será incapaz de realizar un esfuerzo de calidad en las siguientes tandas del ejercicio y también correrá un mayor riesgo de sufrir lesiones. Si los períodos de descanso son demasiado largos, es probable que disminuyan muchos de los beneficios experimentados por el desafío al sistema de energía glucolítico anaeróbico. Un ejemplo de relación apropiada de trabajo-reposo para el EIAI de largos intervalos es >2 a 3 minutos o por encima del 90%, con tandas de descanso de <2 minutos (8, 9, 55).

Muestra de programa de entrenamiento LDL para un maratoniano principiante

Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Día de descanso	45 min de Fartlek	**60 min de rodaje LDL**	45 min de rodaje interválico	Rodaje de 60 min a ritmo de carrera con subidas y llano	45 min de series de repeticiones	**120 min de rodaje LDL**

Comentarios

- Frecuencia. Para combatir el sobreentrenamiento y el uso excesivo, los dos días de

entrenamiento LDL se distribuirán de forma equilibrada durante la semana para permitir la recuperación entre sesiones.
- Duración. Como la distancia de la competición del atleta es un maratón (42 km), la duración o la distancia recorrida en las sesiones de entrenamiento LDL se deben aproximar a las del maratón (si el atleta está entrenado) en al menos una de las dos sesiones LDL.
- Intensidad. Para completar las sesiones largas de LDL, el atleta debe correr a una intensidad o ritmo de entrenamiento menores (minutos por kilómetro); no se exige un elevado esfuerzo respiratorio.

Muestra de programa de entrenamiento del ritmo/tempo para un ciclista principiante de 50 km

Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Día de descanso	60 min de rodaje LDL	**30 min de entrenamiento del ritmo/ tempo**	45 min de Fartlek	45 min de rodaje suave	**30 min de entrenamiento del ritmo/ tempo**	90 min de rodaje LDL

Comentarios
- Frecuencia. Como los rodajes de entrenamiento del ritmo/tempo son de mucho esfuerzo, estos dos días de entrenamiento se distribuirán de forma equilibrada durante la semana para permitir la recuperación entre sesiones.
- Duración. Para el entrenamiento del ritmo/tempo *estable*, la duración del ejercicio es más corta que la distancia o duración de la carrera para permitir una mayor intensidad de entrenamiento.
- Intensidad. El atleta debe pedalear con una intensidad o ritmo de entrenamiento altos (minutos por kilómetro); se exige un elevado esfuerzo respiratorio para reproducir el ritmo de la carrera.

Muestra de programa de entrenamiento por intervalos para un corredor de 10 km de nivel intermedio

Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Día de descanso	**10 reps de intervalos de 0,5 km a ritmo de carrera con una relación de T:D de 1:1**	10 km de rodaje suave	45 min de entrenamiento LDL	3 min x 90% $\dot{V}O_2$máx/2 min de recuperación pasiva × 6 reps	45 min de entrenamiento LDL	45 min de Fartlek en una superficie lisa

Comentarios
- Frecuencia. Como los rodajes con intervalos son de mucho esfuerzo, estos dos días de entrenamiento se distribuirán de forma equilibrada durante la semana para permitir la recuperación entre sesiones.
- Duración. La distancia o duración total de la porción de entrenamiento de la sesión (es decir, la suma de las tandas de trabajo interválico) se deben aproximar a las distancias de la competición a medida que el atleta esté cada vez mejor entrenado.
- Intensidad. El atleta debe correr a una intensidad (ritmo) próxima a la $\dot{V}O_2$máx al completar las tandas de trabajo interválico de las sesiones de entrenamiento.

Muestra de programa de entrenamiento por intervalos de alta intensidad para un triatleta 140,6 de nivel intermedio (tramo de entrenamiento de natación; la distancia de la carrera son 3,8 km)

Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Día de descanso	60 min de natación LDL	**EIAI 2 min x 95% de la $\dot{V}O_2$máx/2 min de recuperación pasiva × 8 reps**	45 min de natación LDL	Día de descanso (sin sesión de natación)	1,6 km de natación a ritmo de carrera	60 min de natación LDL

Comentarios

- Frecuencia. Como los EIAI son de mucho esfuerzo, solo debe haber un día de Fartlek durante la semana.
- Duración. Tandas de trabajo >2 a 3 minutos con <2 minutos de recuperación pasiva entre repeticiones.
- Repeticiones. De 6 a 10 reps × 2 minutos, de 5 a 8 reps >3 minutos.
- Intensidad. El atleta debe nadar con una intensidad (ritmo) del 90% o más de la $\dot{V}O_2$máx al completar las tandas de trabajo de las sesiones de EIAI.

Muestra de programa de entrenamiento de Fartlek para una corredora de *cross* universitario en pruebas de 5 km

Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Día de descanso	60 min de entrenamiento LDL	**45 min de Fartlek de trabajo duro/suave por cuestas o en llano**	25 min de intervalos intensivos largos	45 min de entrenamiento LDL	25 min de entrenamiento LDL	Competición

Comentarios

- Frecuencia. Como el Fartlek conlleva mucho esfuerzo, solo debe haber un día de Fartlek durante la semana.
- Duración. La distancia o duración total de la porción de entrenamiento de la sesión (es decir, la suma de las tandas de trabajo interválico) deben aproximarse a las distancias de la competición a medida que el atleta esté cada vez mejor entrenado.
- Intensidad. El atleta debe correr a una intensidad (ritmo) próxima a la $\dot{V}O_2$máx al completar las tandas de trabajo de las sesiones de entrenamiento de Fartlek.

Entrenamiento de Fartlek

El **entrenamiento de Fartlek** (la palabra *Fartlek* es de origen sueco y significa juego de velocidades) es una combinación de varios de los tipos de entrenamiento antes mencionados. Aunque el entrenamiento con Fartlek se suele asociar con carreras, también es aplicable al ciclismo y la natación. Una muestra de rodaje con Fartlek comprende un rodaje suave (~70% de la $\dot{V}O_2$

máx) combinado con subida de cuestas o tandas cortas y rápidas en carrera (~85-90% de la $\dot{V}O_2$ máx) durante períodos cortos. Los atletas pueden aplicar este formato básico al ciclismo y la natación sencillamente combinando un entrenamiento de largas distancias a ritmo lento, entrenamiento de ritmo/tempo y entrenamiento interválico. Una sesión de entrenamiento de Fartlek pone a trabajar todos los sistemas del cuerpo y tal vez ayude a reducir el aburrimiento y la monotonía asociados con el entrenamiento diario. Este tipo de entrenamiento es probable que mejore la $\dot{V}O_2$ máx, eleve el umbral de lactato y mejore la economía de carrera y la utilización de las fuentes de energía.

Los distintos tipos de entrenamiento inducen respuestas fisiológicas diferentes. Lo ideal es que el programa incorpore todos los tipos de entrenamiento en el calendario de entrenamiento semanal, mensual y anual.

Aplicación del diseño de programas a las fases de entrenamiento de la temporada

Las variables en el diseño de programas y los distintos tipos de entrenamiento de la resistencia aeróbica a menudo se aplican a las fases de la temporada deportiva del atleta para establecer un programa de entrenamiento anual. Por lo general, el año de entrenamiento se divide en varias fases, a saber, la fase fuera de temporada (a veces llamada **entrenamiento aeróbico**), la pretemporada, la fase de plena temporada (competición) y la postemporada (descanso activo). La tabla 20.5 resume los principales objetivos y las asignaciones típicas del diseño de programas a cada fase de la temporada de entrenamiento.

TABLA 20.5 Objetivos de la temporada deportiva y asignaciones en el diseño de programas

Temporada deportiva	Objetivo	Frecuencia por semana	Duración	Intensidad
Fuera de temporada (entrenamiento básico)	Desarrollar con seguridad la base de acondicionamiento físico	5-6	Larga	Baja a moderada
Pretemporada	Mejorar los factores importantes para competir en resistencia aeróbica	6-7	Moderada a larga	Moderada a alta
Temporada (competición)	Mantener los factores importantes para competir en resistencia aeróbica	5-6 (entrenamiento y competición)	Corta (entrenamiento)	Baja (entrenamiento)
			Distancia de la carrera	Alta (competición)
Postemporada (descanso activo)	Recuperación de la temporada competitiva	3-5	Corta	Baja

Fuente: Datos de las referencias bibliográficas 15, 24, 54, 77 y 82.

Fuera de temporada (entrenamiento aeróbico)

La prioridad en el entrenamiento **fuera de temporada** es desarrollar una capacidad cardiorrespiratoria básica. Al principio, el programa de entrenamiento se debe componer de sesiones de ejercicio de larga duración y baja intensidad. A medida que avanza la fase fuera de temporada, aumenta la intensidad y, en menor grado, la duración; no obstante, el aumento de la duración del entrenamiento no debe superar un 5-10% semanal (87). Incrementar la duración del entrenamiento puede conllevar una disminución del rendimiento de la resistencia aeróbica (18). Cuando un atleta se haya adaptado al estímulo del entrenamiento y requiera una sobrecarga adicional para seguir experimentando mejoras, se realizarán incrementos periódicos de la intensidad del ejercicio.

Pretemporada

Durante la **pretemporada**, el atleta se centrará en elevar la intensidad, en mantener o reducir la duración y en incorporar al programa todos los tipos de entrenamiento. Los puntos fuertes y débiles del atleta deben determinar la cantidad y frecuencia de cada tipo de entrenamiento.

Plena temporada (competición)

El programa de entrenamiento durante **plena temporada** se diseña de modo que incluya los días de competición o de carrera en el calendario de

entrenamiento. A las competiciones programadas deben preceder días de entrenamiento de baja intensidad y corta duración para que el atleta esté plenamente recuperado y descansado. Los tipos de entrenamiento empleados en plena temporada se basan en la meta ininterrumpida de mejorar los puntos débiles y mantener los puntos fuertes del atleta.

Postemporada (descanso activo)

Durante la **postemporada,** el principal interés es la recuperación de la temporada competitiva previa. Un entrenamiento de baja intensidad y corta duración es habitual durante esta fase de descanso activo, si bien se debe practicar suficiente ejercicio en general para mantener un nivel suficiente de capacidad cardiorrespiratoria, fuerza muscular y masa muscular magra. Durante la postemporada, el atleta de resistencia aeróbica se centrará en la rehabilitación de lesiones sufridas durante la temporada competitiva y en mejorar la fuerza de los grupos musculares débiles o por debajo de su condición física esperable.

Un año completo y seguro de entrenamiento de la resistencia aeróbica se debe dividir en temporadas deportivas con metas y objetivos específicos diseñados para mejorar gradual y progresivamente el rendimiento.

Factores especiales relacionados con el entrenamiento de la resistencia aeróbica

Además de las variables para el diseño de programas, es importante considerar otros elementos afines al desarrollar un programa de entrenamiento de la resistencia aeróbica, como el entrenamiento alternativo, el desentrenamiento, el afinamiento y el entrenamiento resistido suplementario. El especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe tener en cuenta estos elementos al adaptar los tipos de programas de entrenamiento de la resistencia aeróbica a un atleta concreto o al desarrollar un programa de resistencia aeróbica basado en la temporada deportiva.

Entrenamiento alternativo

El **entrenamiento alternativo** es un modo de entrenamiento que se utiliza para mantener el acondicionamiento físico general de los atletas durante

períodos en que se reduce el entrenamiento por culpa de una lesión o durante la recuperación de un ciclo de entrenamiento (33). El entrenamiento alternativo tal vez reduzca la posibilidad de lesiones por uso excesivo, puesto que distribuye el esfuerzo físico del entrenamiento por grupos musculares diferentes a los que se usan durante el entrenamiento (87). Los atletas que participan en múltiples competiciones también recurren al entrenamiento alternativo para potenciar al máximo el rendimiento en natación, ciclismo y atletismo. Los beneficios derivados del entrenamiento alternativo comprenden adaptaciones de los sistemas respiratorio, cardiovascular y musculoesquelético (53, 57, 87). Parece razonable esperar que el entrenamiento alternativo mantenga cierto nivel de condición física en atletas de una sola competición que practican otro modo de entrenamiento (p. ej., corredores que practican ciclismo o natación). Para mantener eficazmente la $\dot{V}O_2$ máx, el entrenamiento alternativo debe igualar en intensidad y duración el modo primario de ejercicio del atleta (37, 56, 85); no obstante, el entrenamiento alternativo no mejorará el rendimiento en la disciplina del atleta en la misma magnitud que la práctica de un entrenamiento específico (33).

Desentrenamiento

El **desentrenamiento** ocurre cuando el atleta reduce la duración o intensidad del entrenamiento, o deja de entrenar debido a un descanso en el programa de entrenamiento, a una lesión o a una enfermedad. En ausencia de un estímulo de entrenamiento apropiado, el atleta experimenta una pérdida de las adaptaciones fisiológicas inducidas por el entrenamiento. Se ha demostrado que la mayoría de las adaptaciones fisiológicas logradas con el entrenamiento vuelven rápidamente a niveles previos al entrenamiento cuando se suprime el estímulo del entrenamiento (27, 29, 52). Para evitar algunos de los efectos del desentrenamiento, resulta beneficioso utilizar otros modos de entrenamiento; sin embargo, el entrenamiento alternativo tal vez solo atenúe parte de la pérdida de la adaptación fisiológica apreciada normalmente durante el cese completo del entrenamiento. Si es posible, los atletas de resistencia aeróbica pueden reducir al mínimo los efectos del desentrenamiento si continúan utilizando su modo primario de ejercicio con una frecuencia e intensidad reducidas (82).

Afinamiento

El **afinamiento** es un componente importante del programa a medida que los atletas de resistencia aeróbica se preparan para una competición importante. Consiste en la reducción sistemática de la duración e intensidad del entrenamiento, combinado con un mayor énfasis en el trabajo técnico y en la intervención nutricional. El objetivo del afinamiento es alcanzar un pico en el rendimiento en el momento de la competición. Aunque la duración de este período de afinamiento depende de numerosos factores, suele durar entre 7 y 28 días (63). Aunque la mayor parte de los estudios sobre el tema se han realizado con nadadores (17, 46, 79), el uso del afinamiento no se limita a estos atletas de resistencia aeróbica. Los estudios con corredores y ciclistas han demostrado que estos atletas de fondo también se benefician de un régimen bien planificado de afinamiento (63, 64, 75). El afinamiento antes de la competición facilita la recuperación y la rehidratación, y favorece incrementar las reservas de glucógeno del hígado y los músculos (63).

Hay varios modelos de afinamiento que pueden emplear los atletas con el fin de restablecer las capacidades fisiológicas alteradas debido a los rigores del entrenamiento. Los modelos más habituales de afinamiento son lineal, escalonado y progresivo (79). El afinamiento lineal se caracteriza por una disminución gradual del volumen global de entrenamiento diario durante la duración del afinamiento. En contraste, en un afinamiento escalonado predomina una reducción brusca y considerable (normalmente >50%) del volumen de entrenamiento que se mantiene durante toda la fase sin ninguna fluctuación. El afinamiento progresivo emplea una combinación de los modelos lineal y escalonado. Este modelo se asocia con una rápida e inmediata reducción del 10% al 15% del volumen de entrenamiento, con reducciones menores y más graduales del volumen en cada nivel. El volumen de entrenamiento se reduce sistemáticamente mientras se mantienen la intensidad y la frecuencia.

Entrenamiento de fuerza

El **entrenamiento resistido** (o entrenamiento de fuerza) es un factor importante, pero a menudo descuidado, para mejorar el rendimiento de los atletas de resistencia aeróbica. En general, los estudios de investigación acerca de los efectos del entrenamiento resistido sobre el rendimiento de los atletas de resistencia aeróbica entrenados son limitados; no obstante, algunos

datos sugieren que se derivan beneficios de la práctica de un entrenamiento resistido durante el entrenamiento de resistencia aeróbica. De particular importancia es el hecho de que Hickson (45) demostrara que, aunque la $\dot{V}O_2$ máx de atletas de fondo muy entrenados no mejoraba con el entrenamiento resistido, sí hubo mejoras a corto plazo en los ejercicios de ciclismo y atletismo. Los beneficios que los atletas de resistencia aeróbica pueden obtener de la práctica de un entrenamiento resistido son una recuperación más rápida de las lesiones, la prevención de lesiones por uso excesivo y la reducción de los desequilibrios musculares. El aumento de la fuerza es importante para diversos aspectos de la competición de resistencia aeróbica, como la subida de cuestas, la reducción de la distancia entre competidores durante las escapadas del pelotón y el esprín final (87). Más recientemente, Mikkola (62) examinó la influencia de diversos programas de entrenamiento resistido sobre el rendimiento en carrera de corredores recreativos. Los programas de entrenamiento muscular de fondo, de resistencia explosiva y de resistencia pesada mejoraron el rendimiento en carrera sobre una cinta de correr.

El capítulo 17 ofrece pautas para diseñar programas de entrenamiento resistido aplicables a los atletas de resistencia aeróbica; remitimos al programa de muestra del caso C que se centra en un corredor de *cross* de instituto.

Altitud

La altitud se define como la altura geográfica por encima del nivel del mar. La **altitud** se clasifica en varias categorías, comprendidas entre el nivel del mar (<500 m) y una altitud baja (>500-2.000 m), moderada (>2.000-3.000 m), alta (>3.000-5.500 m) y extrema (>5.500 m) (30). Al contrario de la creencia popular, el porcentaje de oxígeno es el mismo a distintas altitudes (66), si bien, a medida que aumenta la altitud, disminuye la presión atmosférica, que causa una reducción de la presión parcial (PO_2), la cual actúa de fuerza impulsora del intercambio de gases en los pulmones (30, 66). Esto provoca una cascada de respuestas fisiológicas para compensar la reducción de la PO_2. Posteriormente, a altitudes tan bajas como 700 m, tal vez comience a haber decrementos del rendimiento de resistencia aeróbica por exposición aguda a la altitud (86).

La aclimatación a la altitud ocurre transcurridos entre 12 y 14 días a alturas

moderadas de hasta 2.300 m; sin embargo, se ha hallado que este proceso puede durar varios meses (86). Según Wyatt (86), las recomendaciones para mejorar el rendimiento en altitud varían enormemente, desde llegar justo antes de la competición (24-48 horas) hasta prepararse con 12 semanas de exposición a la altitud.

Muchos atletas de elite y subelite entrenan en altitud para conseguir un efecto ergogénico. Con el fin de experimentar beneficios de este tipo de entrenamiento, se ha constatado que un atleta debe recibir una dosis hipóxica de entrenamiento >12 horas/día durante un mínimo de tres semanas a altitud moderada (2.100-2.500 m) (51, 86). Los atletas que se quieren beneficiar del entrenamiento en altitud suelen emplear el método «vive arriba y entrena abajo» (VAEA). Este método requiere que los atletas vivan a altitudes moderadas, entre 2.000 y 3.000 m, y entrenen cerca del nivel del mar (51). Este método de entrenamiento permite a los atletas experimentar de forma simultánea los beneficios de la aclimatación a la altitud y del entrenamiento a nivel del mar (84). Por tanto, el método VAEA proporciona potencialmente un beneficio ergogénico al permitir a los atletas aprovechar las adaptaciones metabólicas y hematológicas experimentadas al vivir a cierta altitud con el fin de potenciar el desarrollo neuromuscular a altitudes más bajas (30, 84).

Conclusión

El entrenamiento para mejorar el rendimiento de resistencia aeróbica requiere un programa bien desarrollado y con una base científica. El programa de entrenamiento se debe desarrollar junto con una evaluación periódica del rendimiento, y se debe estructurar para mejorar los puntos fuertes y débiles del atleta. Se usará una combinación variada de los tipos de entrenamiento descritos en este capítulo para que todos los sistemas fisiológicos implicados en las actuaciones exitosas experimenten sobrecarga y se vean retados para responder con adaptaciones positivas.

Los programas de entrenamiento se deben desarrollar con bastante antelación y con suficiente estructura como para garantizar la mejora del rendimiento, pero también con suficiente flexibilidad como para evitar lesiones por uso excesivo y sobreentrenamiento. Aunque se puedan emplear otras formas de entrenamiento para evitar el aburrimiento y el sobreentrenamiento, el entrenamiento específico de la actividad consigue las mejores adaptaciones al entrenamiento y, en último término, las máximas

mejoras del rendimiento.

EJERCICIOS DE ENTRENAMIENTO DE LA RESISTENCIA AERÓBICA

La siguiente sección aborda algunas de las consideraciones técnicas básicas para la ejecución del entrenamiento de la resistencia aeróbica. Se proporcionan pautas para las actividades sin máquinas y con máquinas del entrenamiento cardiorrespiratorio habitual. Estas instrucciones sobre los ejercicios están en gran medida adaptadas de Beck (3).

20.1 Cinta de correr
20.2 Bicicleta estática
20.3 Máquina de remo
20.4 Escalador
20.5 Bicicleta elíptica
20.6 Caminar (marcha)
20.7 Correr (marcha)

Ejercicios de entrenamiento de la resistencia aeróbica

20.1 CINTA DE CORRER

Postura inicial

- Se empieza por prender el clip de seguridad a la ropa donde no interfiera con la acción de las extremidades superiores o inferiores.
- Se pone uno a horcajadas sobre la cinta colocando los pies en las plataformas a derecha e izquierda.
- Se leen las instrucciones en la consola de la máquina para saber el modo de ajustar la velocidad y la inclinación de la cinta que vamos a usar.
- Se pone en marcha la máquina y se ajusta la velocidad de la cinta a la deseada para el calentamiento.

Fase del movimiento

- Mientras nos agarramos a los pasamanos, dejamos que una pierna penda sobre la cinta; tentamos con el pie y apoyamos el mediopié en la cinta.
- Una vez cómodos con la velocidad de la cinta, empezamos a andar/correr sobre ella.
- Corremos o caminamos manteniéndonos en la porción delantera de la máquina y siempre en el centro de la cinta.
- Soltamos los pasamanos y ajustamos la velocidad e inclinación al nivel deseado para el entrenamiento.
- Hay que evitar agarrarse a la consola o a los pasamanos ni inclinarse hacia delante mientras corremos o andamos.

Postura final

- Se reduce la velocidad de la cinta y se practica una recuperación activa de 3 a 5 minutos para evitar la acumulación de sangre y mejorar el retorno venoso.
- Nos apostamos en las plataformas a ambos lados de la cinta y apagamos la máquina (3).

20.2 BICICLETA ESTÁTICA

Postura inicial

- Empezamos por ajustar la altura del sillín de modo que la rodilla de la pierna extendida esté ligeramente flexionada (25°-30°) al final del pedaleo.
- El pie sobre el pedal inferior debe estar plano y paralelo al suelo, con el antepié en contacto con los pedales.
- Se ajusta el sillín para que la rodilla se sitúe encima del centro del pedal con la pierna extendida, y para que las caderas no se balanceen adelante y atrás durante el pedaleo.
- Al tiempo que se mantiene la postura neutra de la columna, el tronco se inclina ligeramente hacia delante por las caderas.
- Se ajusta el manillar para que cuando los brazos se extiendan en un ángulo descendente los codos estén ligeramente doblados. Lo ideal es que el brazo y el torso formen un ángulo de aproximadamente 90°.

Fase del movimiento

- Se inicia el pedaleo manteniendo el antepié de los pies en contacto con los pedales durante todo el ejercicio.
- Se mantiene una postura neutra y no se encorva la espalda.
- En el caso de manillares de cuernos, se pueden usar diversas empuñaduras, a saber:
  - En pronación, con las palmas mirando hacia abajo, que permiten una postura más erguida.
  - Neutra, con las palmas mirando hacia los lados, que favorecen una mayor inclinación hacia delante.
  - De carreras, con los antebrazos apoyados en el manillar y creando la máxima inclinación hacia delante.

Postura final

- Se frena el ritmo hasta que los pedales se detengan por completo y se baja uno de la bicicleta.



Ajuste correcto de la altura del sillín: (*a*) pierna extendida con la rodilla bloqueada y el talón sobre el pedal; (*b*) rodilla ligeramente flexionada con el antepié sobre el pedal; (*c*) con el pedal a las 12 en punto, la rodilla está casi a la altura de las caderas y aproximadamente paralela al suelo.

20.3 MÁQUINA DE REMO

Postura inicial (arranque)

- Se mantiene la espalda recta, no encorvada, con una ligera inclinación

anterior de las caderas.
- Se mantiene erguida la cabeza mirando hacia delante.
- Se extienden los brazos delante del cuerpo y se ase el mango del remo mientras se flexionan caderas y rodillas hasta que las espinillas queden casi verticales.

Fase del movimiento (tracción)

- Se extienden caderas y rodillas mientras se usan los brazos para tirar del mango hacia el abdomen justo debajo de la caja torácica.
- Se ajusta la palanca del ventilador para que entre más o menos aire y así incrementar o disminuir la resistencia.

Postura final (fin)

- Las piernas se deben extender por completo con el torso inclinado un poco hacia atrás.
- Se doblan los brazos por los codos y el mango se sitúa junto al abdomen, justo debajo de la caja torácica.

La recuperación es el movimiento que se produce desde la conclusión hasta la vuelta al arranque.



Postura inicial (y el ataque).



La tracción.



El final.



La recuperación.

20.4 ESCALADOR

Postura inicial

- Asimos las palancas mientras nos subimos a los pedales.
- Todo el pie tiene que estar en contacto con los pedales.

Fase del movimiento

- Empezamos a subir escalones usando las palancas para sostenernos.
- Mientras se mantiene una postura erguida, se dan pasos profundos (de 10 a 20 cm).
- No hay que permitir que los pedales entren en contacto con el suelo ni con el tope superior de la máquina.
- Seguimos agarrando ligeramente las palancas mientras miramos hacia delante, manteniendo una postura erguida con los hombros cuadrados y relajados, el torso encima de las caderas, las rodillas alineadas con los pies y los dedos apuntando hacia delante.

Postura final

- Se empuñan las palancas mientras bajamos de los pedales descendiendo hacia atrás.



Postura correcta sobre el escalador.

20.5 BICICLETA ELÍPTICA

Postura inicial

- De cara a la consola central de la bicicleta elíptica, pondremos un pie en cada pedal.
- Mientras nos mantenemos bien erguidos y mirando hacia delante, asimos

las palancas con el torso erguido y bien equilibrado, directamente sobre las caderas, la cabeza bien alta y los hombros relajados (pero no encorvados).

Fase del movimiento

- Empezamos a pedalear hacia delante moviendo brazos y piernas de forma recíproca.
- Los pies deben permanecer en pleno contacto con los pedales durante todo el ejercicio a menos que el diseño de la máquina obligue a levantar los talones.
- No se debe dejar que las rodillas se desplacen adelante más allá de las puntas de los pies en la posición flexionada.
- Se empuñan en todo momento las palancas para mantener el equilibrio. Si fuese innecesario agarrarse a las palancas, es una buena idea soltarlas y mover los brazos del mismo modo que cuando caminamos o corremos.
- El grado de inclinación de la bicicleta elíptica puede aumentar para simular mejor un movimiento en carrera, o reducirse para reproducir el movimiento al andar.
- Practicar este ejercicio con un movimiento hacia delante tal vez ponga más énfasis en el músculo cuádriceps; practicarlo con un movimiento posterior tal vez aumente el esfuerzo de los isquiotibiales y los glúteos.

Postura final

- Se baja el ritmo hasta que la máquina se detenga por completo y entonces nos bajamos de los pedales.



Postura correcta sobre la bicicleta elíptica.

20.6 CAMINAR (MARCHA)

Postura del cuerpo

- Se mantiene la cabeza erguida y mirando al frente.
- Se relajan los hombros, pero sin encorvar la espalda.
- El hemicuerpo superior está directamente encima de las caderas, y las orejas, hombros y caderas están alineados.

Golpeo del pie

- El talón debe golpear primero el suelo, seguido por un suave

«rodamiento» de talón a antepié, permitiendo que el peso se apoye sobre todo el pie.
- El peso se debe transferir de la cara externa del talón y seguir desplazándose hacia delante y un poco adentro hacia el centro del antepié durante la fase de despegue del pie.

Zancada

- Sin contonear las caderas (a menos que practiquemos marcha atlética), dejaremos que se muevan con libertad para aumentar la longitud de zancada.
- Se levantan las rodillas para que participen las caderas y los glúteos en el movimiento.

Acción de los brazos

- Los brazos se balancean adelante y atrás de manera alterna con las piernas (es decir, cuando avanza el brazo izquierdo, se extiende la pierna derecha, y viceversa).
- Los hombros están relajados y permiten que los brazos se balanceen libremente.
- Cuando se camina muy deprisa, las acciones deben ser como sigue:
  - Los brazos se deben doblar 90° por los codos y el movimiento de los brazos se origina en los hombros.
  - Los brazos y las manos se deben balancear adelante y atrás, sin cruzar la línea media del cuerpo para generar propulsión hacia delante.
  - Las manos se deben mantener relajadas, llegando hasta el nivel del pecho, hasta la línea del pezón, durante su balanceo anterior y al hueso coxal junto al cuerpo durante el balanceo posterior.

Nota: Los marchadores deben aumentar la rotación de las caderas en cada zancada para generar el contoneo pélvico. Esto les permite aumentar la longitud de zancada mientras mantienen un pie en contacto con el suelo en todo momento.

20.7 CORRER (MARCHA)

Postura del cuerpo

- Se mantiene la cabeza erguida y mirando al frente.

- Se relajan los hombros, pero sin encorvar la espalda.
- El hemicuerpo superior está directamente encima de las caderas, y las orejas, hombros y caderas están alineados.

Golpeo del pie

- El talón debe golpear primero el suelo, seguido por un suave «rodamiento» de talón a antepié, permitiendo que el peso se apoye sobre todo el pie.
- El peso se debe transferir de la cara externa del talón y seguir desplazándose.

Zancada

- Sin contonear las caderas (a menos que practiquemos marcha atlética), dejaremos que las caderas se muevan con libertad para aumentar la longitud de zancada.
- Se levantan las rodillas para que participen las caderas y los glúteos en el movimiento.
- A cada paso en carrera, el pie debe aterrizar aproximadamente debajo de las caderas para evitar «frenar» y pasar demasiado tiempo en el aire.

Acción de los brazos

- Los brazos se balancean adelante y atrás de manera alterna con las piernas (es decir, cuando avanza el brazo izquierdo, se extiende la pierna derecha, y viceversa).
- Los hombros están relajados y permiten que los brazos se balanceen libremente.
- En contraste con lo que ocurre al caminar, la mayor parte del movimiento braquial procede de los antebrazos, dado que un movimiento excesivo de los hombros malgasta energía.
- Los antebrazos se deben mantener al moverse entre la cintura y el pecho.
- Los brazos y las manos se deben balancear adelante y atrás, sin cruzar la línea media del cuerpo, para generar propulsión hacia delante.

TÉRMINOS CLAVE

afinamiento
altitud
capacidad

- aeróbica máxima ($\dot{V}O_2$ máx)
- funcional

desentrenamiento
duración
economía del ejercicio
entrenamiento
- aeróbico
- alternativo
- con resistencia
- de Fartlek
- de largas distancias a ritmo lento (LDL)
- del ritmo/tempo
- interválico
- interválico de alta intensidad

equivalente metabólico (MET)
frecuencia
- cardíaca de reserva (FCR)
- cardíaca máxima estimada para la edad (FCMEE)

fuera de temporada
índice de esfuerzo percibido (IEP)
intensidad
método
- de Karvonen
- de los porcentajes de la frecuencia cardíaca máxima (FCM)

modo
plena temporada
postemporada
pretemporada
recuperación
ritmo máximo en condiciones de lactato estable
sobrecarga
umbral de lactato

PREGUNTAS DE REPASO

(respuestas en la página 657)

1. ¿Cuál de las siguientes adaptaciones ocurre como resultado de un programa de entrenamiento de la resistencia aeróbica?
   I. Aumento del suministro de oxígeno a los tejidos activos.
   II. Un mayor índice en la producción de energía aeróbica.
   III. Una mayor utilización de las grasas como fuente de energía.
   IV. Aumento de la alteración del equilibrio ácido-básico.
   a. Solo I y III.
   b. Solo II y IV.
   c. Solo I, II y III.
   d. Solo II, III y IV.

2. ¿Cuál de los siguientes tipos de entrenamiento se practica a una intensidad equivalente al umbral de lactato?
   a. Ritmo/tempo.
   b. Interválico.
   c. Entrenamiento interválico de alta intensidad (EIAI).
   d. Fartlek.

3. ¿Cuál de los siguientes es el método más usado habitualmente para asignar y regular la intensidad del ejercicio?
   a. El consumo de oxígeno.
   b. La frecuencia cardíaca.
   c. Los índices de esfuerzo percibido.
   d. El ritmo de competición.

4. La pérdida de las adaptaciones fisiológicas al cesar el entrenamiento es un ejemplo de:
   a. La especificidad del entrenamiento.
   b. El entrenamiento alternativo.
   c. El desentrenamiento.
   d. La disminución gradual del entrenamiento.

5. ¿Durante cuál de las siguientes fases de la temporada deportiva se deben practicar las sesiones más largas del entrenamiento de la resistencia aeróbica?
   a. Postemporada.
   b. Pretemporada.
   c. Plena temporada.

d. Fuera de temporada.

CAPÍTULO 21

Periodización

G. Gregory Haff*

A la conclusión del capítulo, el lector:

- Entenderá los conceptos centrales en los que se basa la periodización del entrenamiento.
- Apreciará el valor, el papel y la aplicación de la periodización en los programas de la fuerza y el acondicionamiento físico.
- Describirá los cuatro períodos del modelo tradicional de la periodización.
- Referirá las dos fases del período preparatorio del modelo tradicional de la periodización.
- Relacionará las cuatro fases de la temporada deportiva con los cuatro períodos del modelo tradicional de la periodización.
- Aplicará las variables para el diseño de programas a fin de crear un programa de periodización del entrenamiento de la fuerza.

* El autor agradece la significativa aportación de Dan Wathen, Thomas R. Baechle y Roger W. Earle en la redacción de este capítulo

La capacidad de los programas de entrenamiento de la fuerza y acondicionamiento físico para estimular las adaptaciones fisiológicas necesarias para mejorar el rendimiento está en gran medida relacionada con la modulación de los elementos estresantes del entrenamiento para potenciar las respuestas adaptativas y reducir la posibilidad potencial de alcanzar mesetas en el rendimiento o llegar al sobreentrenamiento. Cuando se gestionan mal las cargas del entrenamiento, se incrementa el riesgo de sufrir lesiones y la posibilidad de sobreentrenamiento (46). Por último, a medida que los atletas están más entrenados o tienen una mayor edad de entrenamiento, se vuelve más difícil estimular mejoras en el rendimiento. Por

tanto, a menudo se requiere una variación en los incrementos del programa de entrenamiento de los atletas más avanzados con el fin de facilitar el entrenamiento a largo plazo y las mejoras del rendimiento (3, 59). Para cumplir este requisito, los programas de entrenamiento se tienen que diseñar lógicamente de modo que estén estructurados de forma sistemática y planificada, permitiendo la variación del volumen, la intensidad, la frecuencia, la densidad, los focos y el modo del entrenamiento, así como la selección de los ejercicios según las necesidades del atleta y los requisitos del deporte. Básico para la eficacia de la programación de las intervenciones del entrenamiento es el concepto de la **periodización** (28). La periodización se suele atribuir a Leonid Matveyev (43), quien en la década de 1960 planteó las teorías básicas que respaldan la periodización. Pero, aunque Matveyev se considera a menudo el padre de la periodización, otros científicos estudiaron ese concepto por la misma época, como László Nádori (48), Tudor Bompa (2) y Yuri Verkoshansky (64). Tiempo después, los científicos norteamericanos del deporte Michael H. Stone, Harold O'Bryant y John Garhammer adaptaron los conceptos de los primeros teóricos de la periodización con especial aplicación a los atletas de fuerza y potencia (57, 58). Por último, la periodización es un concepto teórico y práctico que permite la programación sistemática, secuencial e integradora de las intervenciones del entrenamiento en períodos mutuamente dependientes con el fin de inducir adaptaciones fisiológicas específicas que respalden los resultados del rendimiento.

En este capítulo se aborda el concepto de la periodización y su aplicación a un programa de entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico. En aras de entender las teorías sobre la periodización y su aplicación al diseño de programas de entrenamiento, es esencial conocer las respuestas del cuerpo al entrenamiento (es decir, a los elementos estresantes) (24, 28); este aspecto es el que se expone en primer lugar. Luego se dilucida la estructura jerárquica básica de un programa de entrenamiento periodizado para mostrar el modo en que el año de entrenamiento se desglosa en bloques de entrenamiento más pequeños, cada uno con sus propios objetivos y prioridades. Es importante reparar en que este calendario general de entrenamiento abarca todos los aspectos del programa de entrenamiento de los atletas, incluyendo actividades de acondicionamiento general y otras del deporte específico, así como entrenamiento resistido. Por último, la segunda mitad de este capítulo presenta ejemplos detallados de un programa anual de periodización de la

fuerza y el acondicionamiento físico. Para entender los aspectos más intrincados del programa, se anima al lector a leer primero el capítulo 17.

Conceptos centrales relacionados con la periodización

Todo programa de entrenamiento con éxito permite la gestión de las respuestas de adaptación y **recuperación** a intervenciones específicas que se exponen de forma estructurada (28). El éxito definitivo de todo programa de entrenamiento se centra en su capacidad para inducir adaptaciones fisiológicas específicas y traducir esas adaptaciones en incrementos del rendimiento. En el centro de este proceso se encuentra la capacidad para administrar las respuestas de adaptación, gestionar el cansancio acumulado y aprovechar los efectos posteriores de los distintos factores del entrenamiento. La fuerza de un plan de entrenamiento periodizado radica en su capacidad para establecer una secuencia y estructura en las intervenciones del entrenamiento en momentos apropiados (4-6, 51, 59, 63). Por último, los picos del rendimiento solo mejoran durante períodos cortos de tiempo (7-14 días), y el tiempo medio durante el que se mantienen es inversamente proporcional a la intensidad media del plan de entrenamiento (17, 33, 59). Con el fin de dilucidad cómo esos modelos de periodización del entrenamiento gestionan estos factores, se han establecido tres teorías mecanicistas básicas: el **síndrome general de adaptación (SGA)**, la **teoría del estímulo-fatiga y la recuperación-adaptación,** y el **paradigma de la condición física y la fatiga** (22, 28, 59, 65).

La periodización es el proceso lógico y sistemático de secuenciar e integrar las intervenciones del entrenamiento con el fin de alcanzar picos de rendimiento en momentos apropiados.

Síndrome general de adaptación

En 1956, Hans Selye, un pionero en la investigación de los efectos biológicos de la exposición a los estímulos del estrés, presentó los conceptos básicos del SGA en el que se definió una respuesta al estrés en tres estadios (alarma, resistencia y agotamiento) (54, 55). Aunque su concepción original no se realizó en el contexto del entrenamiento físico, con el tiempo el SGA se ha convertido en uno de los conceptos fundacionales a partir del cual se han desarrollado la teorías de la periodización (21, 59). Cada vez que el cuerpo

experimenta una esfuerzo nuevo, novedoso o más intenso que los anteriores (p. ej., levantar una carga de entrenamiento más pesada o un mayor volumen de carga; véase el capítulo 17), la respuesta inicial, o fase de alarma, es una acumulación de cansancio, dolores musculares, rigidez o reducción de las reservas de energía, todo lo cual causa una reducción de la capacidad de rendimiento (59). Dependiendo de la magnitud del esfuerzo al que se enfrente el atleta, esta respuesta durará varias horas, días o semanas. Acabada esta fase inicial, el cuerpo pasa a la fase de resistencia, durante la cual se adapta al estímulo y vuelve a una capacidad funcional normal. Si el esfuerzo del entrenamiento está estructurado adecuadamente y no es excesivo, estas respuestas de adaptación causarán ajustes bioquímicos, estructurales y mecánicos específicos que subirán el listón de la capacidad de rendimiento del atleta, lo cual derivará en lo que se ha denominado **supercompensación** (58).

No obstante, si el esfuerzo perdura durante un largo período de tiempo, el atleta puede pasar a la fase de agotamiento. Si esto ocurre, el atleta está mostrando incapacidad para adaptarse a los elementos de estrés impuestos y presentará alguno de los mismos síntomas apreciados durante la fase de alarma. Por último, cuando los atletas alcanzan la fase de agotamiento es muy probable que experimenten respuestas de extralimitación o sobreentrenamiento (20). Desde la perspectiva del entrenamiento, un entrenamiento monótono, con una carga excesiva, así como un entrenamiento excesivamente variado, pueden terminan en una fase de agotamiento. Además, en las respuestas al entrenamiento influyen otros esfuerzos sin relación con el entrenamiento (p. ej., vida laboral, sueño insuficiente, relaciones sentimentales, alimentación deficiente) que contribuyen al nivel general de estrés experimentado por el atleta. Por último, el especialista de la fuerza y la condición física debe tratar de evitar que se produzca esta fase del SGA mediante una correcta planificación y gestión (periodización) de los elementos estresantes del entrenamiento. Aunque las dimensiones reales (es decir, pendiente, magnitud y duración) de la curva mostrada en la figura 21.1 estén muy individualizadas, en ella se representa la aplicación básica del SGA a las respuestas al entrenamiento.

Teoría del estímulo-fatiga y la recuperación-adaptación

La teoría del estímulo-fatiga y la recuperación-adaptación es una extensión

del SGA y sugiere que los estímulos del entrenamiento producen una respuesta general (figura 21.2) en la que influye la magnitud general del elemento estresante del entrenamiento (59). Específicamente, cuanto mayor sea la magnitud general de la carga de entrenamiento, más fatiga se acumula y mayor es el retraso antes de que se produzca la recuperación completa y la adaptación. A medida que el atleta se recupera y adapta a los estímulos del entrenamiento, el cansancio desaparece y aumenta la preparación y el rendimiento. Si no se introduce un estímulo nuevo, se observa un estado de involución o desentrenamiento (es decir, una reducción de la capacidad general, por debajo del valor de referencia). En contraste, si se introduce un nuevo estímulo en el entrenamiento, el proceso se repite. Este patrón básico se presenta siempre que el atleta se expone al ejercicio, sesión, día o ciclo dentro de un plan de entrenamiento periodizado. Hay que reparar en que, aunque la recuperación sea una parte importante del proceso de entrenamiento, no siempre es necesario alcanzar un estado de recuperación completa antes de iniciar una nueva tanda o sesión de entrenamiento (49). La manipulación de las cargas de trabajo y las intensidades del entrenamiento mediante el uso de sesiones o días de entrenamiento ligero y pesado sirven para modular las respuestas al cansancio y la recuperación (9, 19), permitiendo que la condición física aumente o se mantenga. Conceptualmente, esta teoría sirve de base a los modelos de periodización secuencial que permiten la manipulación de diversos factores del entrenamiento para modular los niveles de cansancio general del atleta, el índice de recuperación y la respuesta de adaptación a los estímulos del entrenamiento.

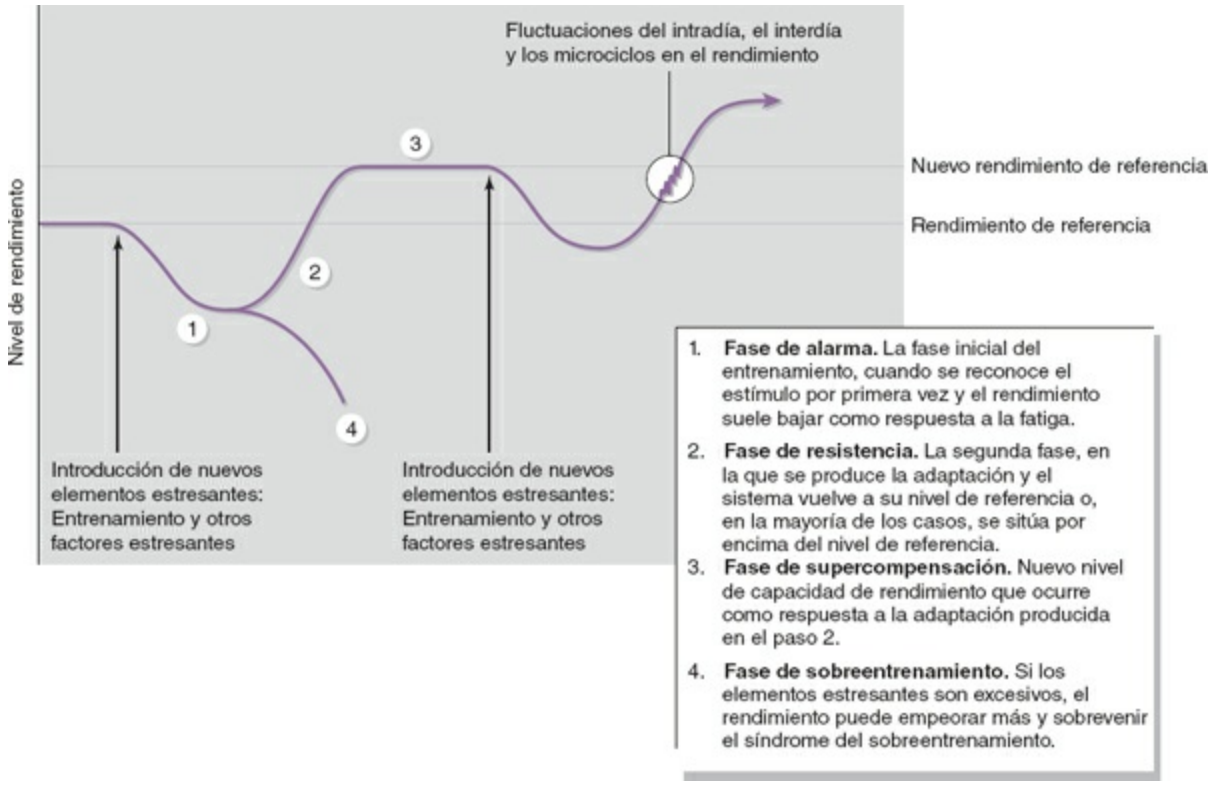


FIGURA 21.1 Síndrome general de adaptación (SGA) y aplicación a la periodización. Fuente: Adaptado, con autorización, de Haff y Haff, 2012 (28).

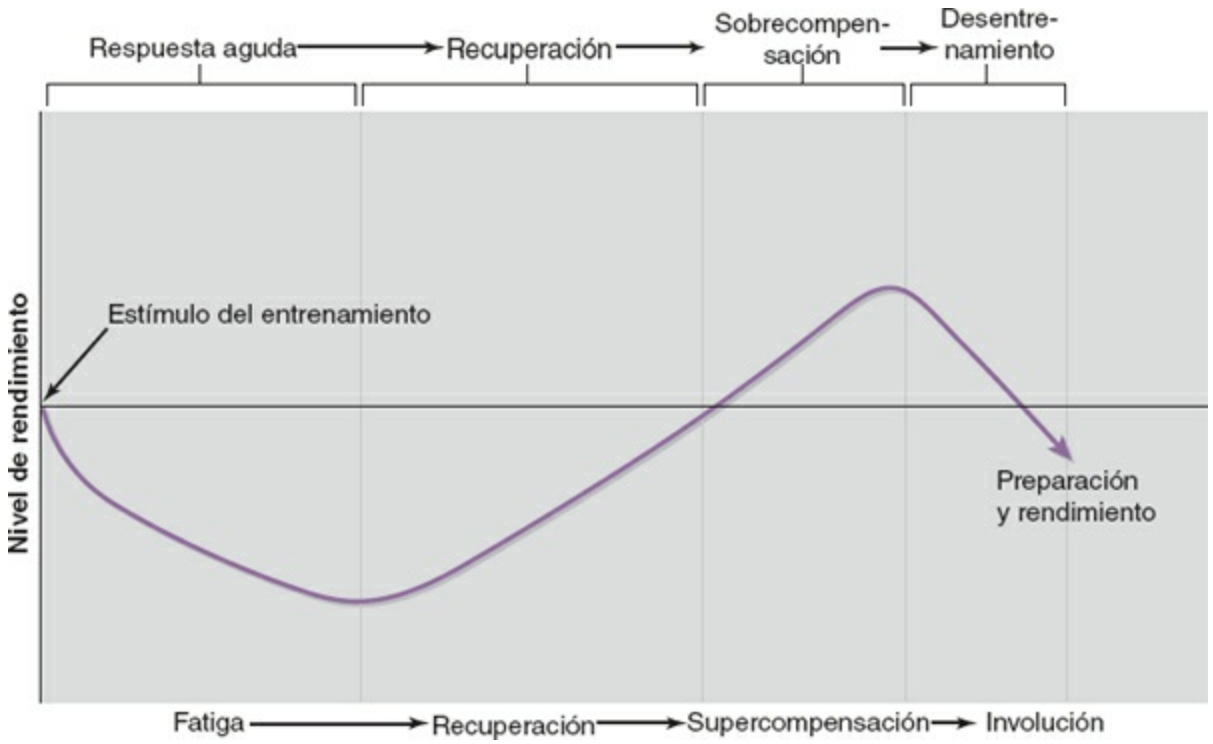


FIGURA 21.2 Teoría del estímulo-fatiga y la recuperación-adaptación, con terminología

intercambiable. Fuente: Adaptado, con autorización, de Haff y Haff, 2012 (28).

Paradigma de la condición física y la fatiga

Por lo general, se produce una sumación de los dos principales efectos secundarios (es decir, la condición física y el cansancio) como respuesta a las intervenciones del entrenamiento que influyen en el nivel de preparación del atleta (3, 14, 66). Zatsiorsky (65) presenta la explicación clásica de estas relaciones según el paradigma de la condición física y la fatiga (figura 21.3). Así mismo, toda sesión, tanda o ciclo de entrenamiento genera como efecto secundario cansancio y mejora la condición física, efectos que se suman para crear un estado de preparación (14, 65). Cuando las cargas del entrenamiento son máximas, la condición física mejora, aunque se produce un incremento concomitante del cansancio debido a las cargas de entrenamiento elevadas. Cuando se suman la condición física y la fatiga en este caso, el nivel de fatiga produce una reducción de la disposición. Por su parte, cuando las cargas de trabajo son bajas, tanto el cansancio como el nivel de forma física desarrollado son mínimos, con lo cual el nivel de preparación es bajo. Por tanto, la secuenciación de las cargas de entrenamiento se vuelve importante porque permite que estas sean variadas y sistemáticas. Algo importante que debemos recordar es que el cansancio se disipa con más rapidez que la forma física, con lo cual el nivel de preparación aumenta si se usan estrategias de entrenamiento apropiadas para conservar la forma física y reducir el cansancio (25, 28). Mientras que el paradigma de la condición física y la fatiga se representa clásicamente como una curva de fatiga, forma física y preparación, es probable que cada factor del entrenamiento estimule su propia respuesta individual en la forma física, el cansancio y la preparación (14, 59). Estos efectos secundarios a menudo se consideran efectos residuales del entrenamiento y sirven de concepto fundamental para el uso de los modelos de periodización secuencial (25, 28). Por último, los efectos residuales del entrenamiento de un período tienen capacidad potencial de influir en el nivel de preparación de los siguientes períodos de entrenamiento, dependiendo de la estructura general del plan de entrenamiento periodizado (28).

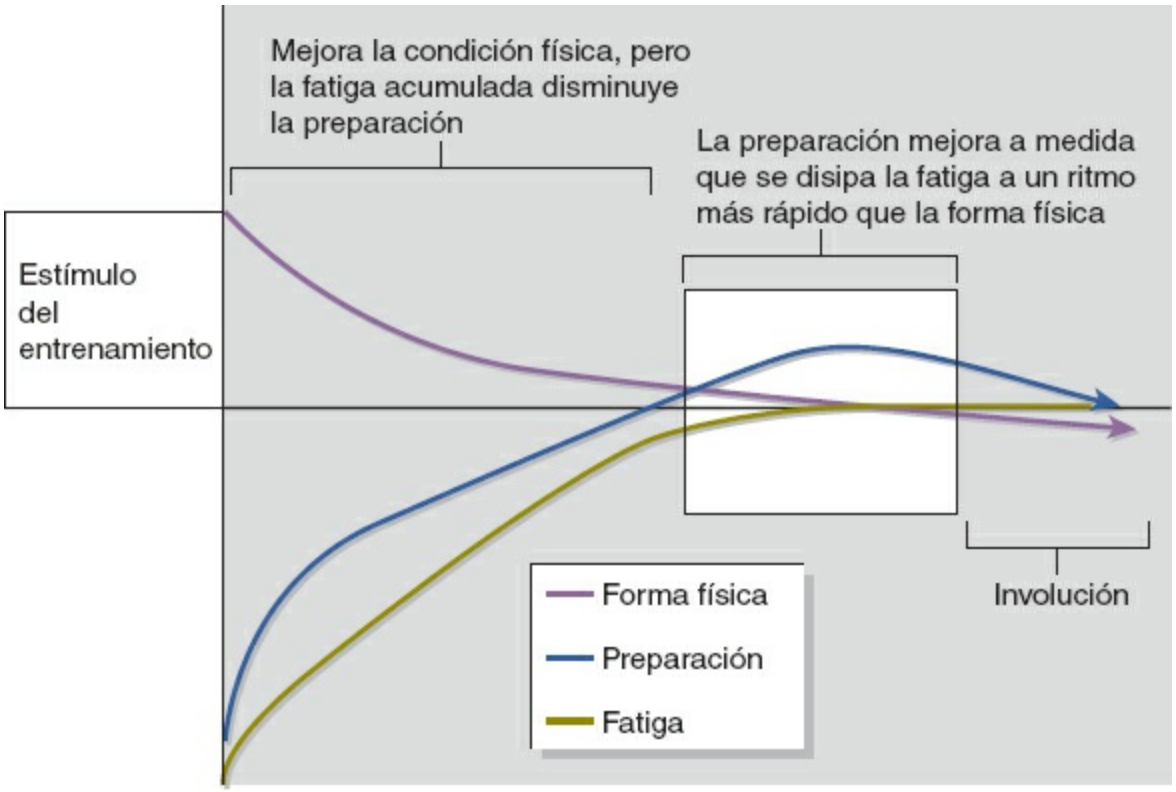


FIGURA 21.3 Paradigma de la condición física y la fatiga.

Fuente: Adaptado, con autorización, de Haff y Haff, 2012 (28).

Jerarquía de la periodización

En último término, la periodización es simplemente un medio de organizar la planificación de una intervención de entrenamiento de modo que el programa se divida en períodos de tiempo específicos (tabla 21.1) (22, 24). El plan de entrenamiento multianual abarca la mayoría del tiempo, pero es un plan menos detallado que una estructura de entrenamiento periodizado. Por ejemplo, puede implicar la progresión básica de un jugador de fútbol americano universitario desde su primer año de estudiante hasta el último, y contiene metas clave para el desarrollo que se ponen como objetivo cada año de entrenamiento. Esta estructura multianual del entrenamiento se divide a su vez en **planes anuales de entrenamiento**, individuales y más detallados, cuyo desarrollo se basa en la progresión del atleta durante las diversas fases o evaluaciones asociadas con el plan de entrenamiento multianual. En deportes que solo presentan una temporada competitiva, como el fútbol americano, el plan de entrenamiento anual se representa como un **macrociclo**. Sin embargo, en un deporte como el atletismo universitario, el plan anual se

divide en dos macrociclos por las temporadas de pista cubierta y pista al aire libre típicas de este deporte universitario. Por lo general, el macrociclo dura varios meses o hasta un año, dependiendo del deporte.

La periodización del entrenamiento comienza con el establecimiento de objetivos para el entrenamiento general global en el plan anual o multianual de entrenamiento, y se vuelve más específica a medida que el programa se desarrolla en macrociclos, mesociclos y microciclos. Por ejemplo, los planes anuales de entrenamiento plantean la vía general para un año de entrenamiento, mientras que los otros ciclos establecen los medios, métodos y modos usados para alcanzar los objetivos primarios en la competición.

TABLA 21.1 Ciclos de la periodización

Período	Duración	Descripción
Plan multianual	2-4 años	El plan de entrenamiento de 4 años se denomina plan cuatrienal
Plan anual de entrenamiento	1 año	El plan general de entrenamiento puede contener uno o varios macrociclos. Se divide en diversos períodos de entrenamiento, como los períodos preparatorio, competitivo y de transición
Macrociclo	Varios meses a un año	Algunos autores lo llaman plan anual. Se divide en los períodos preparatorio, competitivo y de transición del entrenamiento
Mesociclo	2-6 semanas	Ciclo de entrenamiento de duración media, a veces llamado bloque de entrenamiento. La duración más habitual son 4 semanas. Se compone de microciclos que están vinculados
Microciclo	Varios días a 2 semanas	Ciclo de entrenamiento de corta duración, desde varios días hasta 2 semanas. La duración mas habitual es 1 semana (7 días). Se compone de múltiples sesiones de ejercicio
Día de entrenamiento	1 día	Un día de entrenamiento, que puede incluir múltiples sesiones de ejercicio, se diseña en el contexto del microciclo concreto en que está integrado
Sesión de entrenamiento	Varias horas	Por lo general consiste en varias horas de entrenamiento. Si la sesión de ejercicio incluye >30 min de descanso entre tandas, entonces comprende múltiples sesiones

Fuente: Adaptado, con autorización, de Haff, G.G. y Haff, E.E. (2012). Training integration and periodization. En: Hoffman, J. (ed.). *NSCA guide to program design*. Champaign, IL: Human Kinetics, p. 220.

Dentro de cada macrociclo hay **mesociclos**, cada uno de los cuales dura varias semanas o meses, siendo de dos a seis semanas la duración más típica. El número de mesociclos de cada macrociclo depende de los objetivos del

entrenamiento y de la duración del macrociclo dentro del plan anual de entrenamiento. Cada mesociclo se divide en microciclos individuales que duran de varios días hasta semanas; la duración más habitual son cuatro semanas (22, 28). Dentro de cada **microciclo** hay días de entrenamiento que a su vez se fraccionan en sesiones de entrenamiento.

Períodos de periodización

La variación y la estructura general de las variables en el diseño de programas de cada mesociclo y microciclo individuales se establecen basándose en los períodos incluidos en el macrociclo o plan anual de entrenamiento (22, 25). A lo largo de estos períodos del plan de entrenamiento y acondicionamiento físico, el volumen y la intensidad del programa suelen recibir la máxima atención; sin embargo, el tiempo invertido en adquirir y perfeccionar la técnica del deporte específico también se debe tener en cuenta al construir el plan general de entrenamiento periodizado (57). Por último, los planes de entrenamiento periodizado revierten sistemáticamente el foco del entrenamiento de actividades generales inespecíficas de alto volumen y baja intensidad hacia actividades de menor volumen y mayor intensidad durante un período de muchas semanas o meses para reducir el riesgo potencial de sobreentrenamiento mientras se desarrollan al máximo las capacidades de actuación.

La secuenciación básica de los programas de entrenamiento periodizados y el modo en que progresa el entrenamiento durante las distintas fases cuando hay objetivos específicos del entrenamiento son muy similares a la secuenciación y evolución de los conceptos académicos del aprendizaje. Por ejemplo, en el ámbito académico se empieza por destrezas y conceptos sencillos que evolucionan a conceptos más complejos. Se sientan unas bases a partir de destrezas sencillas con el fin de establecer unas bases sólidas para los aspectos más complejos. En último término, los períodos dentro de un plan de entrenamiento periodizado sirven de vía para el desarrollo de destrezas sencillas dentro de objetivos más complejos y específicos de un deporte.

En la literatura sobre la periodización clásica, las principales divisiones en el entrenamiento se clasifican como los períodos preparatorio, competitivo y de transición (24, 43). Stone, O’Bryant y Garhammer (57) modificaron este modelo clásico para incorporar una «primera transición» entre los períodos

preparatorio y competitivo del entrenamiento. Basándose en esta estructura, los modelos contemporáneos de periodización a menudo contemplan cuatro períodos de entrenamiento diferentes pero relacionados: preparatorio, primera transición, competitivo y segunda transición. La figura 21.4 presenta el modelo básico de periodización descrito por Stone, O'Bryant y Garhammer (57). Este modelo se suele aplicar a atletas novatos con un estado de entrenamiento más bajo. Por lo general, en esta aplicación, la intensidad empieza baja y aumenta gradualmente, mientras que el volumen comienza alto y disminuye lentamente a medida que mejora la condición física del atleta. Es importante reparar en que no todos los atletas novatos toleran grandes cambios en las variables y que tal vez se requieran fluctuaciones más pequeñas (58, 61, 62). También hay que destacar que, aunque estas fluctuaciones a menudo se representan gráficamente como líneas rectas, las progresiones del volumen y la intensidad son de hecho no lineales por las fluctuaciones en las cargas que ocurren en los microciclos y mesociclos (22, 24, 25, 51). Este malentendido básico de los modelos clásicos de periodización ha dado lugar a que estos tipos de modelos reciban la falsa denominación de *modelos de periodización lineal* (25, 51).

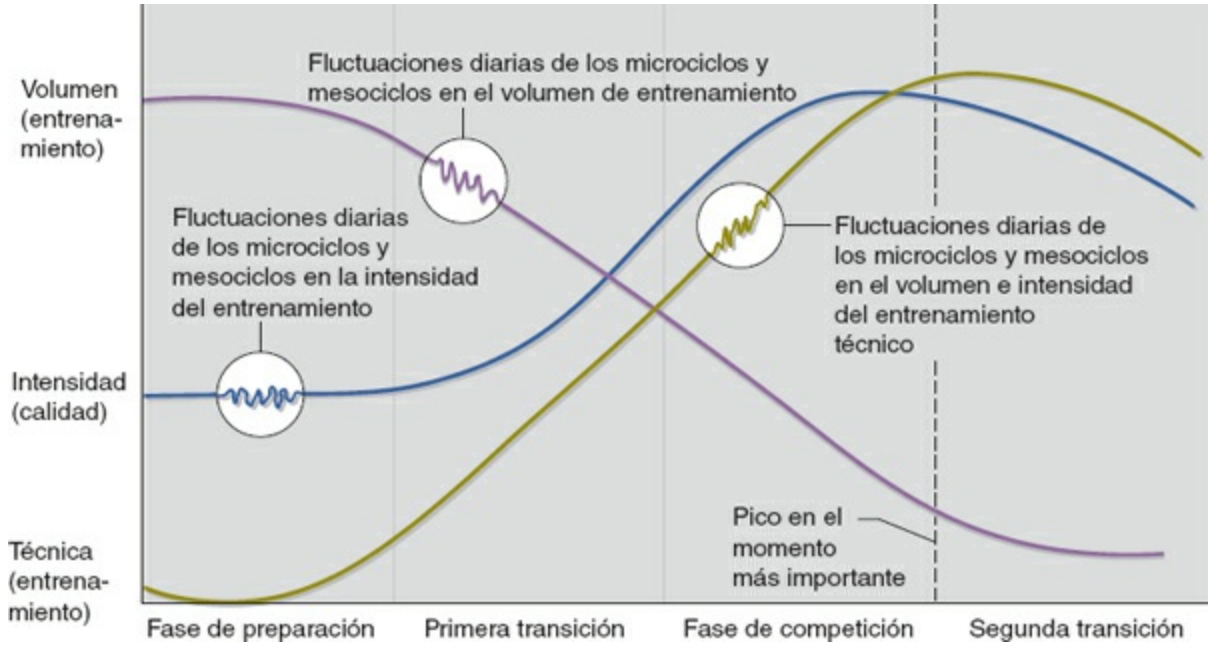


FIGURA 21.4 Modelo de periodización de Matveyev (apropiado para principiantes).

Fuente: Reproducido, con autorización, de Haff, G.G. y Haff, E.E. (2012). Training integration and periodization. En: Hoffman, J. (ed.). *NSCA guide to program design*. Champaign, IL: Human Kinetics, p. 223; adaptado de la figura 11.7, p. 2.239. Reproducido de Stone, Michael H. y St. O'Bryan, Harold (1987). *Weight training: A scientific approach*, 2.ª ed. Burguess.

Los atletas de nivel avanzado tienden a entrenar más al límite de sus posibilidades y presentan ventanas de adaptación más pequeñas. Por tanto, estos atletas exigen una mayor variación en el entrenamiento, así como volúmenes e intensidades más elevados con el fin de que sigan experimentando estímulos de entrenamiento apropiados (51). Por ejemplo, Zatsiorsky y Kraemer (66) demostraron que una carga estimulante para un atleta novato es, en el mejor de los casos, una carga de mantenimiento para los atletas de niveles avanzados. Con el fin de solucionar este problema, el paso de un volumen más alto a una intensidad mayor puede ocurrir más temprano en la fase preparatoria, con volúmenes de entrenamiento en general más elevados en comparación con los del modelo básico presentado en la figura 21.4.

Período preparatorio

Al poner de relieve un plan de entrenamiento periodizado, el punto inicial suele ser el **período preparatorio**. Este período abarca el tiempo en que no hay competiciones y el trabajo técnico, táctico o para el deporte específico es limitado. Este período se suele corresponder con lo que se denomina fuera de temporada. El objetivo central de este período de entrenamiento es desarrollar un nivel básico de preparación física con el fin de aumentar la capacidad del atleta para tolerar un entrenamiento más intenso. Basándonos en el modelo presentado en la figura 21.4, las actividades de acondicionamiento físico comenzarían con intensidades relativamente bajas y volúmenes elevados, como rodajes o natación de fondo a ritmo lento, ejercicios pliométricos de baja intensidad y entrenamiento resistido con un número elevado de repeticiones y con resistencias ligeras a moderadas. Tradicionalmente, el período preparatorio se divide en una fase general y otra específica. La **fase preparatoria general** suele situarse en la porción inicial del período y a menudo tiene como objetivo el desarrollo de una base física general (3). Esta porción inicial del período preparatorio incluye elevados volúmenes de entrenamiento, intensidades bajas de entrenamiento y una mayor variedad de medios de entrenamiento que se estructuran para desarrollar destrezas y capacidades motoras generales (36, 44). La **fase preparatoria específica** se desarrolla tras acabar la fase preparatoria general e implica un cambio en el interés del entrenamiento. A partir de la base que se ha establecido, esta fase amplía la base de entrenamiento del atleta mediante un creciente énfasis en

actividades de entrenamiento del deporte específico que preparan al atleta para el período competitivo (15). Durante el período preparatorio, se pueden crear fases de entrenamiento con resistencia con el fin de establecer diferencias más refinadas en la intensidad y volumen del entrenamiento. En este orden, son la fase de hipertrofia/fuerza resistencia y la fase de fuerza básica (57, 58).

Fase de hipertrofia/fuerza resistencia

La **fase de hipertrofia,** que también se denomina **fase de fuerza resistencia**, suele situarse en la porción inicial del período preparatorio (es decir, durante la fase preparatoria general) (18, 27, 28). Durante esta fase, la intensidad del entrenamiento es baja a moderada y el volumen general es alto. Los objetivos primarios durante esta fase son: (*a*) aumentar la masa muscular magra; (*b*) desarrollar una base de resistencia física (muscular y metabólica), y (*c*) las dos anteriores. Este desarrollo sirve de base para el entrenamiento de mayor intensidad en fases y períodos subsiguientes (29, 30). En el caso de atletas de fuerza/potencia, el objetivo primario es estimular la hipertrofia mientras se incrementa la fuerza resistencia. En el caso de atletas de fondo, el objetivo primario es aumentar la fuerza resistencia sin incrementar la hipertrofia en grado significativo. Con independencia del deporte o del atleta entrenado, se suele aceptar que durante la fase preparatoria general las actividades de acondicionamiento deportivo tal vez no sean específicas del deporte del atleta. Sin embargo, a medida que este pasa a la fase preparatoria específica, durante varias semanas las actividades de entrenamiento se volverán más específicas del deporte. Por ejemplo, los velocistas tal vez inicien la fase preparatoria general con rodajes más largos en distancia (más largos que la distancia de la competición, no la distancia tradicional; por ejemplo, un velocista de 100 metros lisos tal vez haga carreras de 400 m para establecer una base) a velocidades más bajas, junto con pliometría de menor intensidad, como botes y saltos con los pies juntos, así como ejercicios resistidos más básicos que no sean biomecánica o estructuralmente parecidos a correr (sentadillas trasnuca, flexiones de piernas, etc.). Por lo general, el atleta practica un entrenamiento resistido con intensidades bajas a moderadas y volúmenes elevados (tabla 21.2).

Sin embargo, es importante reparar en que durante esta fase las variaciones diarias en la intensidad y carga de trabajo del entrenamiento facilitarán la recuperación (27). Además, tal vez se sitúen semanas o microciclos de

recuperación durante esta fase y sobre todo al final de ella, antes de que empiece la siguiente fase del entrenamiento.

La fase de hipertrofia/fuerza resistencia implica una intensidad baja a moderada (50-75% de 1 repetición máxima [1RM]) y volúmenes elevados (de tres a seis series de 8-20 repeticiones).

Fase de fuerza básica

En la porción final del período preparatorio, durante la fase preparatoria específica, el objetivo primario de la **fase de fuerza básica** es aumentar la fuerza de los músculos que son esenciales para los movimientos primarios del deporte (11-13). Por ejemplo, el programa del velocista avanza para incluir esprines interválicos de una distancia moderada y ejercicios pliométricos más complejos y especializados. El programa de entrenamiento resistido también se vuelve más específico del deporte (p. ej., sentadillas, cargada de fuerza, sentadillas a una pierna) e implica cargas más pesadas con volúmenes menores que en la fase de hipertrofia/fuerza resistencia (tabla 21.2). Al igual que en la fase de hipertrofia/fuerza resistencia, las variaciones diarias en la carga de entrenamiento facilitan la recuperación (27, 28).

TABLA 21.2 Modelo de periodización para el entrenamiento con resistencia

Período	Preparatorio		Primera transición	Competición			Segunda transición
Subperíodo	Preparatorio general	Preparatorio específico	Precompetitivo	Competitivo principal			Poscompetitivo
Temporada	Fuera de temporada		Pretemporada	Plena temporada			Postemporada
Fase	Hipertrofia/ fuerza resistencia	Fuerza básica	Fuerza/potencia	Pico	o	Mantenimiento	Descanso activo
Intensidad	Baja a moderada	Alta	Baja a muy alta	Muy alta a muy baja		Moderada a alta	Actividades recreativas (tal vez sin entrenamiento con resistencia)
	50-75% de 1RM	80-95% de 1RM	87-95% de 1RM*	50% a ≥93% de 1RM		85-93% de 1RM	
			30-85% de 1RM**				
Volumen	Alto	Moderado a alto	Bajo	Muy bajo		Bajo a moderado	
	3-6 series***	2-6 series***	2-5 series***	1-3 series***		~2-5 series***	
	8-20 reps	2-6 reps	2-5 reps	1-3 reps		3-6 reps	

** Estos porcentajes de 1RM se aplican a ejercicios troncales que no son de potencia.

** Estos porcentajes de 1RM se aplican a ejercicios de potencia. El porcentaje real usado para que se manifieste el desarrollo de la potencia depende del ejercicio que se emplee

(Kawamori y Haff [39]).

*** Estas recomendaciones no incluyen series de calentamiento y solo representan series ideales para los ejercicios troncales (2); tampoco incluyen días de recuperación de menor intensidad que a menudo forman parte de un plan de entrenamiento periodizado (27).

Fuente: Adaptado de las referencias bibliográficas 27, 56, 57, 58, 59.

La fase de fuerza básica implica una mayor intensidad (80-95% de 1RM) y volúmenes moderados a altos (dos a seis series de dos a seis repeticiones).

Período de primera transición

Como describió originalmente Stone (56-58), el **período de primera transición** es un enlace entre los períodos de preparación y de competición. Clásicamente, el entrenamiento resistido en este período se centra en el desarrollo de la fuerza y la potencia como quedó dicho en el artículo fundamental de Stone, O'Bryant y Garhammer (57) sobre la periodización del entrenamiento de la fuerza. El objetivo central de este período es desplazar el foco del entrenamiento hacia un aumento de la fuerza y su conversión en desarrollo de la fuerza (56, 57). Con el fin de potenciar al máximo este proceso y facilitar la recuperación, se establecen variaciones en la intensidad y carga de trabajo del entrenamiento a nivel de microciclos (27, 28). Además, la última semana del período viene marcada por una reducción del volumen, la intensidad o ambos para lograr la recuperación antes del inicio del período de competición.

Fase de fuerza/potencia

La fase principal del período de primera transición es la **fase de fuerza/potencia**. En esta fase, el entrenamiento de velocidad y con intervalos del velocista se intensifica hasta alcanzar un ritmo casi de competición; se practican ejercicios de velocidad (p. ej., remolcar un trineo, esprines contra resistencia y esprines cuesta arriba); los ejercicios pliométricos imitan los esprines, y el programa de entrenamiento resistido implica la práctica de ejercicios de potencia/explosivos con cargas bajas a muy altas y volúmenes bajos. Como se explicó en el capítulo 17, la asignación de cargas para los ejercicios de potencia no sigue la típica relación entre el porcentaje de 1RM y las repeticiones, pero sus intensidades relativas se elevan durante esta fase (tabla 21.2). Específicamente, los ejercicios seleccionados en ella pueden dictar la carga que se usa (39). Por ejemplo, el desarrollo de potencia se

puede facilitar con una carga del 80% de 1RM con cargas de fuerza colgantes (38), mientras que tal vez se use una carga del 50% al 70% de 1RM con el *press* de banca con lanzamiento cuando el objetivo es potenciar el desarrollo de la potencia (39). Por último, con el fin de abordar tanto el desarrollo de la fuerza como el de la potencia, se requiere un entrenamiento mixto en el que se usa el entrenamiento con una carga pesada y baja para optimizar ambos atributos (31).

La fase de fuerza/potencia implica cargas bajas a muy altas (30-95% de 1RM, dependiendo del ejercicio) y volúmenes bajos (dos a cinco series de dos a cinco repeticiones).

Período competitivo

El objetivo central del entrenamiento durante el **período competitivo** es preparar al atleta para la competición aumentando más la fuerza y la potencia mediante incrementos adicionales de la intensidad del entrenamiento al tiempo que se reduce el volumen. Este proceso puede ser un acto de delicado equilibrio, ya que se necesita un volumen y una intensidad de entrenamiento adecuados con el fin de mantener la preparación para la competición, así como reducciones del volumen y la intensidad, o ambos, para mejorar el rendimiento. Para entender este enigma, pensemos en el paradigma de la condición física y la fatiga presentado antes. Si se reducen demasiado las cargas de trabajo (volumen o intensidad) del entrenamiento, la fatiga disminuirá, pero habrá una disminución concomitante de la forma física general que se traducirá en una reducción de la preparación para la competición. También durante este período aumenta enormemente el tiempo invertido en practicar destrezas y tácticas del deporte específico, y se produce una disminución proporcional en el tiempo invertido practicando actividades de acondicionamiento físico como el entrenamiento resistido. Por ejemplo, un velocista pone incluso más énfasis en la velocidad, el tiempo de reacción, los ejercicios pliométricos específicos para el esprín y la técnica de entrenamiento. El período de competición tal vez dure una o dos semanas para algunos deportes en los que se aplica un programa concebido para alcanzar picos de rendimiento (7, 23). Los programas con **picos** de rendimiento tratan de que el atleta llegue a ese momento álgido en su condición física durante una a dos semanas. Tratar de ampliarlo más tiempo causa en último término una reducción de la capacidad de rendimiento como

resultado de la reducción de la forma física o por el riesgo potencial de sobreentrenamiento (3,23). Dependiendo de la estrategia empleada para la reducción de la carga, los programas con picos de rendimiento se traducen en una transición progresiva de un entrenamiento de mayor intensidad a un trabajo de menor intensidad pensado para reducir el cansancio mientras el atleta se somete a una reducción del entrenamiento antes de la competición (23). Como se muestra en la tabla 21.2, el entrenamiento con resistencia tal vez oscile entre el 50% y el >93% de 1RM, dependiendo de la fase en la que estén los atletas en el programa con picos de rendimiento.

En el caso de los deportes de equipo, este período abarca toda una temporada y tal vez dure muchos meses, precisando entonces un programa de **mantenimiento** (3). Debido a la prolongada duración del período competitivo en estos casos, se debe manipular la intensidad y el volumen del entrenamiento sobre la base de los microciclos con el fin de mantener la fuerza y la potencia mientras se gestiona el cansancio asociado con un calendario de frecuentes competiciones. Por lo general, los programas de mantenimiento están marcados por un entrenamiento de intensidad moderada a alta (p. ej., el 85-93% de 1RM) con volúmenes bajos a moderados. A nivel de microciclo, las cargas de entrenamiento se modulan basándose en el calendario de entrenamientos, viajes y competiciones. Es crítico proceder a una cuidadosa monitorización de la capacidad de rendimiento y recuperación durante el período competitivo del atleta de un deporte de equipo.

El período competitivo comprende el pico y el mantenimiento. Para alcanzar el pico, los atletas usan intensidades muy altas a bajas (del 50% al >93% de 1RM) y un volumen muy bajo (una a tres series de una a tres repeticiones) durante una a dos semanas. Para el mantenimiento, los atletas modulan el entrenamiento entre intensidades moderadas y altas (85-93% de 1RM) con volúmenes moderados (en torno a dos a cinco series de tres a seis repeticiones).

Período de segunda transición (reposo activo)

Entre la temporada competitiva y el siguiente plan anual de entrenamiento o el período preparatorio de un macrociclo, se suele usar un **período de segunda transición** para establecer una conexión (57). Este período en ocasiones se denomina período de **reposo activo** o de **restablecimiento** y suele durar de una a cuatro semanas (3). Es importante reparar en que, si el descanso activo dura mucho tiempo, los atletas necesitarán un período de preparación mucho más largo con el fin de recuperar su capacidad de

rendimiento (26). Por tanto, se suele recomendar que el período de segunda transición no dure más de cuatro semanas, a menos que un atleta requiera tiempo adicional para recuperarse de una lesión. Durante este período se debe evitar un entrenamiento agresivo inmediatamente después del pico de rendimiento y poner punto final a la fase de mantenimiento, de modo que haya tiempo para la rehabilitación de las lesiones de los atletas y puedan descansar física y mentalmente (11-13). Por ejemplo, un velocista tal vez practique actividades recreativas como voleibol, deportes de raqueta y natación, y un entrenamiento resistido con muy poco volumen, inespecífico del deporte y con cargas muy bajas. Un uso secundario del concepto de descanso activo es estructurar descansos de una semana entre fases largas (tres semanas) o períodos de entrenamiento. El propósito es establecer una semana de descarga con el fin de preparar el cuerpo para la fase siguiente o período de entrenamiento.

La segunda transición (reposo activo) proporciona un período durante el cual los atletas se pueden rehabilitar de las lesiones y refrescarse a nivel físico y mental antes de empezar un nuevo plan anual de entrenamiento o macrociclo. Este período no debe durar más de cuatro semanas, porque los períodos largos con entrenamiento reducido exigen que el atleta se embarque en un período preparatorio más largo con el fin de recuperar la forma deportiva.

Muchos especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico creen en la práctica de reducir la carga de entrenamiento disminuyendo la intensidad y volumen del entrenamiento para limitar el riesgo potencial de sobreentrenamiento.

Aplicación de las temporadas deportivas a los períodos de periodización

En términos prácticos, la periodización implica una variación lógica y sistemática, junto con la integración del entrenamiento, con el fin de dirigir las respuestas al entrenamiento mientras se gestiona el cansancio y se mejora el rendimiento según las exigencias de la temporada deportiva y de los atletas. Basándose en la temporada competitiva, el plan anual general o macrociclo se estructura a fin de desarrollar secuencialmente atributos específicos requeridos por el atleta. Para evitar la monotonía, el agotamiento y el riesgo potencial de sobreentrenamiento, el programa de entrenamiento debe implicar la variación estructurada de las variables clave del

entrenamiento (p. ej., volumen, intensidad, frecuencia de entrenamiento, centros de atención del entrenamiento, selección de los ejercicios) (28). Clásicamente, la mayoría de los deportes universitarios y profesionales cuentan con un calendario anual que incluye fases fuera de temporada, de pretemporada, de plena temporada y de postemporada. Estas fases del ciclo deportivo son fáciles de vincular con los períodos del modelo de entrenamiento periodizado (figura 21.5).

Fuera de temporada

El período fuera de temporada se debe considerar el período preparatorio; suele durar desde el final de la postemporada hasta el inicio de la pretemporada, más o menos unas seis semanas antes de la primera competición importante (aunque varía enormemente). Este período preparatorio se divide en una fase preparatoria general y otra fase preparatoria específica, a su vez formadas por mesociclos; estos mesociclos se vinculan entre sí a fin de preparar al atleta para la siguiente temporada competitiva. Por ejemplo, el atleta tal vez complete varias rotaciones de mesociclos centrados en la hipertrofia/fuerza resistencia y en la fuerza básica (figura 21.5). Por último, estas rotaciones cíclicas se seleccionan basándose en las necesidades del deporte y del atleta. Por ejemplo, si un jugador de fútbol americano necesita ganar masa muscular, se prescribirán más mesociclos cuyo objetivo sea la fase de hipertrofia.

Pretemporada

Al acabar el período fuera de temporada, la pretemporada sirve de entrada a la primera competición importante. El período de primera transición se suele ubicar en ese momento con el interés puesto en la fase de fuerza y potencia del entrenamiento resistido. Ese momento se usa con la intención de preparar al atleta para el siguiente período competitivo. Es muy importante reparar en que la pretemporada no es el momento de establecer las bases de la capacidad física necesarias para el deporte; esto debe ocurrir sobre todo fuera de temporada. La pretemporada está diseñada para sacar provecho del período fuera de temporada y elevar la capacidad de rendimiento del atleta durante el período competitivo.

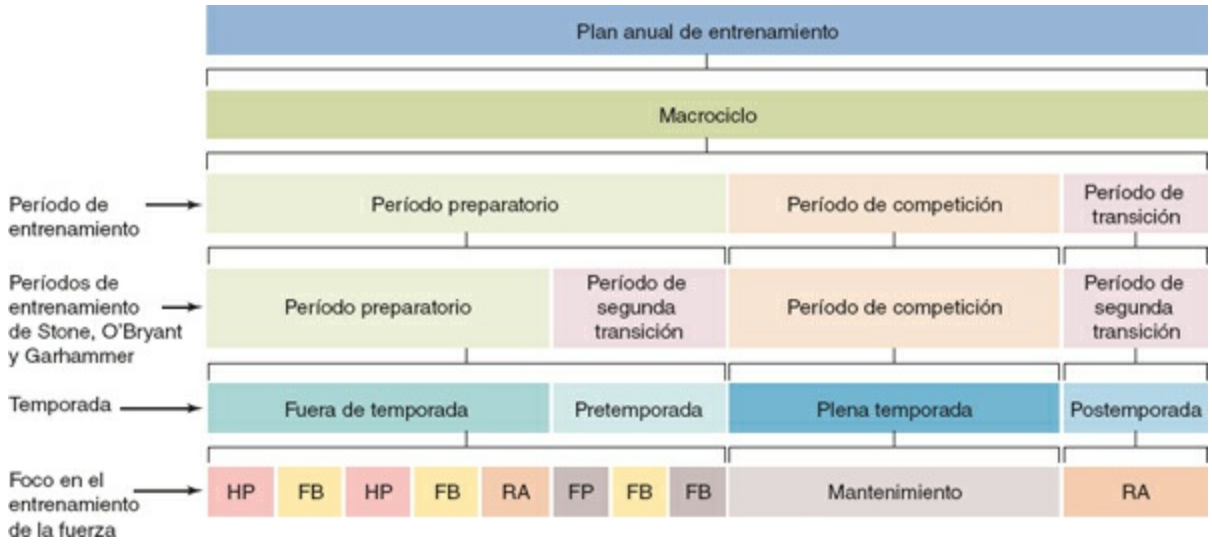


FIGURA 21.5 Relación de los períodos de periodización con las temporadas y el foco en el entrenamiento de la fuerza.

Plena temporada

La competición o plena temporada es un período que contiene todas las competiciones programadas del año, incluyendo torneos. La mayoría de los deportes se caracterizan por una larga temporada que requiere múltiples mesociclos programados alrededor de competiciones clave. Por tanto, toda temporada competitiva larga (12-16+ semanas) plantea desafíos únicos para la programación. Una solución es estructurar bloques de mesociclos de tres o cuatro semanas que descarguen al atleta durante el último microciclo con el fin de permitir una reducción de la fatiga y una supercompensación del rendimiento antes de competiciones críticas (28). Esto no significa que el atleta esté en baja forma para las otras competiciones, puesto que la variación de las intensidades y volúmenes de entrenamiento durante el mesociclo permite modular la preparación. Específicamente, la intensidad y el volumen del entrenamiento aumentan o disminuyen con el fin de mantener las capacidades físicas mientras se reduce el cansancio y se hacen coincidir los picos de preparación con las citas competitivas. El otro procedimiento consiste en diseñar un programa que module las intensidades moderadas con volúmenes bajos a moderados.

Postemporada

Después del final de la competición, la postemporada o período de segunda

transición proporciona al atleta un descanso activo o relativo antes del inicio del período fuera de temporada o preparatorio del siguiente año. Es importante recordar que, cuanto más larga sea la postemporada, mayor será la posibilidad de experimentar desentrenamiento, lo cual aumenta la necesidad de una fase preparatoria general más larga durante el siguiente período fuera de temporada (3).

Modelos de periodización lineal frente a ondulante

Para bien o para mal, la literatura contemporánea sobre periodización ha adoptado los términos *lineal* y *no lineal* para referirse a los modelos de periodización; sin embargo, hay que reparar en que un activo central de la periodización es la supresión de la linealidad del entrenamiento (25, 32, 37, 43, 49, 51). Es relativamente frecuente que el modelo tradicional de entrenamiento con resistencia se describa falsamente como lineal debido a que el mesociclo gradual y progresivo aumenta en intensidad con el tiempo (8, 37, 51). Sin embargo, un examen más de cerca del modelo tradicional descrito por Stone, O'Bryant y Garhammer (57, 58) y la literatura (37) muestra que el modelo tradicional contiene una variación no lineal en la intensidad y el volumen de carga del entrenamiento a nivel del microciclo y durante el mesociclo. Con independencia de esto, se ha introducido un modelo alternativo denominado **periodización no lineal** dentro de la industria de la fuerza y el acondicionamiento físico (42, 53). Es probable que este modelo se describa mejor como un modelo de **periodización ondulante diaria** o, simplemente, ondulante, ya que comprende grandes fluctuaciones diarias (es decir, dentro del microciclo) en la carga y el volumen (p. ej., repeticiones y volumen de carga) de los ejercicios asignados para el entrenamiento resistido de la zona media del cuerpo. Por ejemplo, mediante este modelo se podrían practicar cuatro series con una carga de 6RM (teniendo la fuerza por objetivo) el primer día de la semana (p. ej., el martes), tres series con una carga de 10RM (teniendo la hipertrofia por objetivo) el siguiente día de entrenamiento (p. ej., el jueves) y cinco series con una carga de 3RM (teniendo la potencia por objetivo) el último día de entrenamiento (p. ej., el sábado). En este caso, la carga, el volumen (p. ej., las repeticiones y el volumen de carga) y el objetivo del entrenamiento se modifican dentro del microciclo. Estas modificaciones contrastan con lo que ocurre con el modelo de **periodización tradicional**, falsamente denominado modelo de

periodización lineal, según el cual el atleta practica el mismo número de series y repeticiones los días de entrenamiento y solo varía la carga. Por ejemplo, el atleta tal vez practique cuatro series de seis al 85% de 1RM el primer día de entrenamiento, al 75% de 1RM el segundo día, y al 65% de 1RM el tercer día para, básicamente, entrenar mediante una estructura de entrenamiento con cargas pesadas a ligeras. Mientras que el modelo tradicional solo parece variar la intensidad porque no cambian las repeticiones, hay que recordar que los cambios en el volumen de carga de este modelo provocan ondulaciones en la carga de trabajo y en el volumen de entrenamiento, lo cual respalda la idea de que el modelo tradicional es, de hecho, no lineal y no se debe clasificar como tal (37).

Algunos estudios de investigación sugieren que el modelo ondulante es más eficaz que el modelo tradicional (16, 41, 45, 47, 53), si bien otras evidencias sugieren que no hay diferencia entre los modelos (1, 10, 52) o que el modelo tradicional es superior (34, 35, 50). Los seguidores del modelo ondulante apuntan que uno de sus puntos fuertes es la ausencia de cansancio neuronal acumulado debido a las prolongadas y siempre crecientes intensidades del entrenamiento habituales en el modelo tradicional (40). Por el contrario, los defensores del modelo tradicional opinan que las cargas de volumen —por lo general elevadas— del modelo ondulante generan más fatiga periférica y un mayor riesgo de lesiones debido a los altos niveles de fatiga metabólica que este tipo de programa puede generar (50). Además, el examen del paradigma de la condición física y la fatiga (figura 21.3) y de la teoría del estímulo-fatiga y la recuperación-adaptación (figura 21.2) revela que el modelo ondulante tiene capacidad potencial de disminuir la preparación del atleta por culpa del cansancio acumulado que ocurre con sesiones de entrenamiento de mayor volumen de carga. Algunos autores sugieren que, basándose en el SGA, esta respuesta tal vez aumente el riesgo potencial de sobreentrenamiento en los atletas de nivel superior (25, 60) y se eleve el riesgo de lesión en los atletas que usan este modelo junto con un entrenamiento basado en el deporte concreto.

Ejemplo de plan anual de entrenamiento

Un ejemplo de un método para diseñar un plan completo de entrenamiento anual (es decir, el macrociclo para deportes con una temporada competitiva) que abarque los cuatro períodos de la temporada deportiva aparece en las

cuatro tablas de aplicación casi al final de este capítulo. Este ejemplo se basa en el programa de entrenamiento resistido en la pretemporada, tomado del caso A del capítulo 17, «Diseño de programas para el entrenamiento con resistencia», destinado a una pívot de baloncesto femenino universitario. En el capítulo 17 aparece información sobre sus antecedentes y sobre la evaluación inicial de esta atleta.

El plan anual que se explica en este capítulo comienza donde se acabó el programa de pretemporada del capítulo 17, y muestra una continuación del programa de entrenamiento durante la plena temporada, la postemporada y el período fuera de temporada del año siguiente. El objetivo primario del plan anual de entrenamiento es el componente de resistencia del caso A. Aunque se describen brevemente otros modos de entrenamiento (p. ej., pliometría, acondicionamiento aeróbico, resistencia aeróbica), este ejemplo no pretende ser testigo de todos los aspectos de la variación en un programa de fuerza y acondicionamiento físico para el baloncesto. Además, aunque este plan se divida en cuatro períodos de la temporada deportiva que a su vez se componen de mesociclos de dos a cuatro semanas, un método alternativo es estructurar cada temporada como un macrociclo individual.

Pretemporada

Después de una o dos semanas de descarga tras el cese del período de entrenamiento fuera de temporada, el atleta inicia el período de pretemporada del entrenamiento. En este ejemplo, el período cubre unos 3,5 meses (de mediados de agosto hasta el primer partido, posiblemente a mediados de noviembre). Los objetivos de la pretemporada son aumentar la intensidad del entrenamiento específico del deporte y la atención prestada a los ejercicios y destrezas de baloncesto. La porción de entrenamiento resistido se planifica para tres días por semana y se centra sobre todo en los resultados de fuerza y potencia. Otros modos de entrenamiento (p. ej., pliometría y acondicionamiento anaeróbico) tienen mayor prioridad, sobre todo si contribuyen directamente al entrenamiento de baloncesto. Aunque el capítulo 17 no muestre las progresiones de los microciclos, sí describe en detalle la porción de entrenamiento resistido de este período; por tanto, remitimos al lector a la tabla «Aplicación de todas las variables en el diseño de programas» de ese capítulo, donde aparece el ejemplo del programa de pretemporada. El mismo método de aplicar los conceptos de la periodización

descritos en este capítulo sirve para diseñar el resto del período de la pretemporada.

Plena temporada

Después de una semana de descarga tras la pretemporada, el atleta está listo para iniciar el período de competición del entrenamiento. El período de plena temporada dura unas 20 semanas, abarcando el período entre noviembre y abril (incluyendo un torneo de cuatro semanas, aunque ese período pueda durar más). Los objetivos de la plena temporada son mantener y posiblemente mejorar la fuerza, la potencia, la flexibilidad y la condición anaeróbica. Las restricciones temporales de los partidos, las prácticas de destrezas y estrategias y los viajes se traducen en un menor volumen de actividades de entrenamiento fuera de la pista. Debido a los múltiples partidos que se juegan cada semana, el entrenamiento resistido tal vez se vea limitado a 30 minutos, una a tres veces por semana, consistiendo en un régimen ondulante de distintos volúmenes de carga e intensidades relativas. Predominan ejercicios troncales de potencia y no potencia específicos para el baloncesto, con la adición de ejercicios auxiliares para el equilibrio. Véase el programa de muestra de plena temporada casi al final de este capítulo. Las sesiones pliométricas se alternarán con entrenamiento resistido y se practicarán una o dos veces por semana, dependiendo del número de partidos.

Los días en que no se programe un entrenamiento resistido se pueden practicar 15 a 20 minutos de diversos intervalos cortos de esprín una o dos veces por semana durante las prácticas. La velocidad, la agilidad y otros elementos de la forma física para correr se pueden incorporar en el tiempo de prácticas, y el entrenamiento de flexibilidad puede formar parte de la práctica y de los períodos de calentamiento y recuperación activa de los partidos. Se dejarán dos o tres días de descanso entre las sesiones de entrenamiento con resistencia, ejercicios pliométricos e intervalos de esprín, dependiendo del calendario de los partidos. Este período se parece al período de entrenamiento previo en que la mayor parte del tiempo de la atleta se dedica al desarrollo de las destrezas y estrategias, dedicándose el resto al acondicionamiento físico.

La atleta goza de una buena condición física de los mesociclos previos, por lo que debería ser capaz no solo de mantener esa buena condición física, sino también de alcanzar un pico de rendimiento si el equipo sigue en el torneo de conferencias. En ese caso, la jugadora debe volver al mesociclo 2 y avanzar

hasta el mesociclo 3 si el equipo se clasifica para un torneo que se celebre después del torneo de conferencias. Si el calendario de partidos del torneo no permite más de una sesión semanal de entrenamiento con resistencia, la atleta deberá practicar todos los ejercicios troncales y de potencia de la semana (si tiene suficiente tiempo) y omitir los ejercicios auxiliares. Cerca del final de este capítulo se presentan dos ejemplos de calendarios de torneos semanales específicos.

Postemporada (período de reposo activo)

Al acabar la temporada competitiva hay un período de transición (segunda) con descanso activo sin sesiones de entrenamiento formales o estructuradas. Para este ejemplo, el período de transición dura un mes (del 4 de abril al 1 de mayo). El objetivo del período es que la atleta se recupere física y psicológicamente de la larga plena temporada. Los juegos recreativos y actividades para la forma física comprenden natación, correr al trote, entrenamiento en circuito de pesas, voleibol, frontón y pachangas de baloncesto. *Todas las actividades se practican con baja intensidad y volumen bajo*.

Fuera de temporada

Después del período de descanso activo en la postemporada, la atleta debe estar descansada y lista para iniciar el período fuera de temporada (período preparatorio) del entrenamiento. Para este ejemplo, este período preparatorio dura unas catorce semanas, desde principios de mayo hasta principios de agosto. El objetivo de este período es establecer un nivel básico de acondicionamiento físico para aumentar la tolerancia de la atleta a un entrenamiento más intenso en las fases y períodos finales. Durante la primera semana, se debe hacer una prueba para que el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico determine las cargas iniciales del entrenamiento para los ejercicios del primer mesociclo. En los siguientes mesociclos, cuando se añadan más ejercicios u otros nuevos, las cargas del entrenamiento se pueden calcular a partir de las cargas usadas en ejercicios similares o se determinan a partir de la prueba de la RM. Por ejemplo, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico puede predecir razonablemente la carga del entrenamiento para la cargada colgante a partir de la prueba de cargada de potencia máxima, o se podría medir la carga de la RM. Otras pruebas de

monitorización relacionadas con el baloncesto son las pruebas de flexibilidad de hombros y caderas, la carrera de 12 minutos, la *course navette* de 274 metros, los ejercicios de agilidad y potencia usando las líneas de la cancha, el test de T, el salto vertical y la medición de los pliegues cutáneos (véanse en el capítulo 13 los protocolos para las pruebas).

El componente de entrenamiento con resistencia tiene más prioridad fuera de temporada, y la atleta puede hacer prácticas partidas cuatro días o más de entrenamiento por semana. En este ejemplo, la jugadora de baloncesto inicia el período fuera de temporada con un régimen para todo el cuerpo tres veces por semana, pero pronto pasa a cuatro días de entrenamiento por semana con variaciones en la intensidad durante el microciclo para gestionar el cansancio. Esta progresión también implica un aumento gradual de la carga, con disminución asociada del volumen de entrenamiento. Otro entrenamiento comprende ejercicios de resistencia aeróbica para mantener o mejorar la composición del cuerpo y la capacidad cardiovascular. Estas sesiones de puesta en forma se programan para días de entrenamiento sin resistencia, y es posible hacer más hincapié en el entrenamiento de la flexibilidad durante las porciones de calentamiento y recuperación activa de cada sesión de ejercicio.

Revisión del ejemplo de plan anual

Para que un modelo de periodización funcione óptimamente, el entrenador deportivo y el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico deben planificar juntos el programa con el fin de compartir objetivos y estrategias. Este es un aspecto crítico porque la colaboración permite que todos los factores del entrenamiento que debe afrontar el atleta se integren para gestionar mejor el esfuerzo del entrenamiento y para modular el cansancio y la recuperación. Sin la cooperación de todos los profesionales implicados, no es posible alcanzar un rendimiento óptimo.

El ejemplo de este capítulo es una representación de solo un modelo de periodización que podría usarse para estructurar el entrenamiento de un atleta. Otros atletas y deportes tal vez requieran variaciones sutiles o radicales en la estructura aquí presentada. Es importante recordar que se pueden adaptar multitud de modelos de periodización para cubrir las necesidades de los distintos atletas y deportes.

Conclusión

La periodización es un proceso mediante el cual el entrenamiento del atleta se organiza lógica y sistemáticamente con el fin de alcanzar un pico de rendimiento (preparación) que coincida con las competiciones más importantes. El plan anual de entrenamiento se divide en macrociclos que contienen los períodos preparatorio, de competición y de transición. Cada período se divide a su vez en mesociclos, cuyo objetivo son fases específicas del desarrollo: hipertrofia/fuerza resistencia, fuerza básica o fuerza/potencia. Se usan transiciones para establecer vínculos entre mesociclos y macrociclos y aportar al atleta un período de descarga que mejore la recuperación. La estructura general del macrociclo, mesociclo y microciclos individuales está dictada por las exigencias y la temporada competitiva del deporte individual.

Plena temporada (período competitivo) Pívot de baloncesto femenino universitario 5 meses (20 semanas): 21 de noviembre-3 de abril (incluyendo un torneo)

(Comienzo tras una semana de descarga; 15-21 de noviembre)

Mesociclo 1

				CARGAS DE ENTRENAMIENTO				
Sesión	Ejercicios	Series	Reps	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
1	Arrancada desde el suelo	1	4	75% 1RM	80% 1RM	85% 1RM	90% 1RM	60% 1RM
	Sentadilla trasnuca	1	6	80% 6RM	85% 6RM	90% 6RM	95%6RM	65% 6RM
	Press de banca inclinada	1	6	80% 6RM	85% 6RM	90% 6RM	95%6RM	65% 6RM
	Elevaciones laterales de brazos	1	10	75% 10RM	80% 10RM	85% 10RM	90% 10RM	70% 10RM
	Abdominales cortos	Máx. en 60 s						
2	Extensiones de hombros	1	6	70% 6RM	75% 6RM	80% 6RM	85% 6RM	60% 6RM
	Prensa oblicua	1	6	70% 6RM	75% 6RM	80% 6RM	85% 6RM	60% 6RM
	Press de banca con agarre estrecho	1	6	70% 6RM	75% 6RM	80% 6RM	85% 6RM	60% 6RM
	Remo en sedestación con polea baja	1	6	70% 6RM	75% 6RM	80% 6RM	85% 6RM	60% 6RM
	Elevación de piernas en decúbito supino	Máx. en 60 s						

Mesociclo 2

4 semanas: 27 de diciembre -23 de enero; semana de descarga, 24-30 de enero

Sesión	Ejercicios	Series	Reps	CARGAS DE ENTRENAMIENTO				
				Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
1	Cargada colgante	1	3	70% 1RM	75% 1RM	80% 1RM	85% 1RM	65% 1RM
	Sentadilla frontal	1	5	75% 5RM	80% 5RM	85% 5RM	90% 5RM	60% 5RM
	Press de hombros de pie	1	5	75% 5RM	80% 5RM	85% 5RM	90% 5RM	60% 5RM
	Extensiones de tríceps en decúbito	1	10	75% 10RM	80% 10RM	85% 10RM	90% 10RM	70% 10RM
	Abdominales cortos	Máx. en 60 s						
2	Empuje sobre la cabeza	1	3	65% 1RM	70% 1RM	75% 1RM	80% 1RM	60% 1RM
	Subida de escalones	1	5	70% 5RM	75% 5RM	80% 5RM	85% 5RM	60% 5RM
	Press de banca con agarre estrecho	1	10	65% 10RM	70% 10RM	75% 10RM	80% 10RM	60% 10RM
	Jalones	1	10	65% 10RM	70% 10RM	75% 10RM	80% 10RM	60% 10RM
	Elevación de piernas en decúbito supino	Máx. en 60 s						

Mesociclo 3

4 semanas: 31 de enero -27 de febrero; semana de descarga, 28 febrero-6 de marzo

Sesión	Ejercicios	Series	Reps	CARGAS DE ENTRENAMIENTO				
				Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
1	Cargada de fuerza	1	2	75% 1RM	80% 1RM	85% 1RM	90% 1RM	70% 1RM
	Sentadilla trasnuca	1	4	75% 4RM	80% 4RM	85% 4RM	90% 4RM	65% 4RM
	Press de banca	1	4	75% 4RM	80% 4RM	85% 4RM	90% 4RM	65% 4RM
	Flexiones de bíceps con haltera	1	8	75% 8RM	80% 8RM	85% 8RM	90% 8RM	65% 8RM
	Abdominales cortos	Máx. en 60 s						
2	Arrancada colgante	1	3	65% 1RM	70% 1RM	75% 1RM	80% 1RM	60% 1RM
	Tijera hacia delante	1	4	65% 4RM	70% 4RM	75% 4RM	80% 4RM	60% 4RM
	Press de banca con agarre estrecho	1	8	65% 8RM	70% 8RM	75% 8RM	80% 8RM	60% 8RM
	Remo vertical	1	8	65% 8RM	70% 8RM	75% 8RM	80% 8RM	60% 8RM
	Elevación de piernas en decúbito supino	Máx. en 60 s						

Mesociclo del torneo

4 semanas: 7 de marzo-3 de abril

Vuelta al mesociclo 2; avance de nuevo al mesociclo 3 si el torneo dura más de 4 semanas.

Comentarios:

- Cada mesociclo se considera un bloque de entrenamiento y contiene cinco microciclos individuales; el quinto microciclo constituye un microciclo de descarga.
- Este programa en plena temporada incorpora un método no lineal con variaciones del volumen y la carga, de la intensidad del entrenamiento (kg) y de los ejercicios de entrenamiento propuestos.
- No se usan las cargas de las repeticiones máximas, ya que el entrenamiento hasta el fallo ha demostrado reducir la producción de potencia y aumentar el riesgo de sobreentrenamiento. Por tanto, se usan porcentajes de las cargas de la RM para evitar la fatiga acumulada que se asocia con el entrenamiento en plena temporada y con las competiciones. • Es importante reparar en que estas son las series ideales, y se deben practicar de tres a cinco tandas de calentamiento para proporcionar un calentamiento específico para las cargas programadas.
- Remitimos a la tabla 17.7 para las relaciones entre el % de la RM y el número de repeticiones permitidas, así como a la tabla 17.8 para el cálculo de 1RM.
- Remitimos a la tabla 17.12 para la asignación del período de descanso basado en la meta de repeticiones.

Semana A del torneo (dos partidos)

Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Práctica (o descanso)	Práctica	Práctica	Práctica	Partido	Práctica	Partido
	Entrenamiento con resistencia		Sesión pliométrica		Esprines en intervalos	

Semana B del torneo (tres partidos)

Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Partido	Práctica (o descanso)	Práctica	Práctica	Partido	Práctica	Partido
		Entrenamiento con resistencia			Esprines en intervalos	

Fuera de temporada (período de preparación) Pívot de baloncesto femenino universitario 3 meses y medio (14 semanas): 2 de mayo-7 de agosto

Pretest inicial

(Para el mesociclo 1) Microciclo 1: 2-8 de mayo

5RM EJERCICIO DE POTENCIA 1. Cargada de fuerza	**10RM PARA EJERCICIOS AUXILIARES** 1. Flexiones de pierna (rodilla) 2. Jalones 3. Flexiones de bíceps	**OTRAS PRUEBAS** 1. Sentarse y alcanzar 2. Encogerse de hombros 3. Rodaje de 2,4 km 4. *Course navette* de 274 m 5. Ejercicios de agilidad y potencia usando las líneas de la cancha 6. Test de T

	4. Extensiones de tríceps en decúbito 5. Remo vertical	7. Salto vertical 8. Composición corporal (pliegues cutáneos)

10RM PARA EJERCICIOS TRONCALES NO DE POTENCIA

1. Sentadilla trasnuca
2. *Press* de banca

Mesociclo 1

2 semanas: 9-22 de mayo; fase 1 de hipertrofia/fuerza resistencia

		SEMANA 1			SEMANA 2		
Día	**Ejercicio**	**Series**	**Reps**	**Intensidad**	**Series**	**Reps**	**Intensidad**
Lunes/ viernes	Cargada de fuerza	2	10/2*	65% 5RM	3	10/2*	70% 5RM
	Sentadilla trasnuca	2	10	65% 10RM	3	10	70% 10RM
	Flexiones de pierna (rodilla)	2	10	65% 10RM	3	10	70% 10RM
	Press de banca	2	10	65% 10RM	3	10	70% 10RM
	Extensiones de tríceps en decúbito	2	10	65% 10RM	3	10	70% 10RM
	Remo vertical	2	10	65% 10RM	3	10	70% 10RM
	Abdominales cortos	2	20		3	20	
	Nota: la sesión del viernes debe emplear una carga un 10% inferior a la del lunes.						
Miércoles	Tirón de la cargada (suelo)**	2	10	60% 5RM	3	10	65% 10RM
	Peso muerto rumano**	2	10	60% 5RM	3	10	65% 10RM
	Jalones	2	10	60% 10RM	3	10	65% 10RM
	Flexión de bíceps	2	10	60% 10RM	3	10	65% 10RM
	Abdominales cortos	2	20		3	20	

* Se practican como series en racimo con un descanso de 20 segundos entre racimos de dos repeticiones.

** Las cargas del entrenamiento se basan en la prueba de 5RM en cargada de fuerza.

Mesociclo 2

2 semanas: 23 de mayo-5 de junio; fase 1 de entrenamiento básico

Día	Ejercicio	SEMANA 1			SEMANA 2		
		Series	Reps	Intensidad	Series	Reps	Intensidad
Lunes/ viernes	Cargada de fuerza	3	5	80% 5RM	3	5	85% 5RM
	Sentadilla trasnuca	3	5	80% 5RM	3	5	85% 5RM
	Flexiones de pierna (rodilla)	3	5	80% 5RM	3	5	85% 5RM
	Press de banca	3	5	80% 5RM	3	5	85% 5RM
	Extensiones de tríceps en decúbito	2	10	70% 10RM	3	10	75% 10RM
	Remo vertical	2	10	70% 10RM	2	10	75% 10RM
	Abdominales cortos	2	25		3	25	
	Nota: La sesión del viernes debe emplear una carga un 10% inferior a la del lunes.						
Miércoles	Tirón de la cargada (suelo)**	3	5	85% 5RM	3	5	90% 5RM
	Peso muerto rumano**	3	5	75% 5RM	3	5	80% 5RM
	Jalones	2	10	70% 10RM	3	5	75% 10RM
	Flexiones de bíceps con haltera	2	10	70% 10RM	3	5	75% 10RM
	Abdominales cortos	2	25		2	10	

**Las cargas del entrenamiento se basan en la prueba de 5RM en cargada de fuerza.

Semana de descarga

1 semana: 6-12 de junio

Día	Ejercicio	SEMANA 1			SEMANA 2		
		Series	Reps	Intensidad	Series	Reps	Intensidad
Lunes/ viernes	Cargada de fuerza	3	5	80% 5RM	3	5	85% 5RM
	Sentadilla trasnuca	3	5	80% 5RM	3	5	85% 5RM
	Flexiones de pierna (rodilla)	3	5	80% 5RM	3	5	85% 5RM
	Press de banca	3	5	80% 5RM	3	5	85% 5RM
	Extensiones de tríceps en decúbito	2	10	70% 10RM	3	10	75% 10RM
	Remo vertical	2	10	70% 10RM	2	10	75% 10RM
	Abdominales cortos	2	25		3	25	
	Nota: La sesión del viernes debe emplear una carga un 10% inferior a la del lunes.						
Miércoles	Tirón de la cargada (suelo)**	3	5	85% 5RM	3	5	90% 5RM
	Peso muerto rumano**	3	5	75% 5RM	3	5	80% 5RM
	Jalones	2	10	70% 10RM	3	5	75% 10RM
	Flexiones de bíceps con haltera	2	10	70% 10RM	3	5	75% 10RM
	Abdominales cortos	2	25		2	10	

**Las cargas del entrenamiento se basan en la prueba de 5RM en cargada de fuerza.

Mesociclo 3

2 semanas: 13-26 de junio; fase 1 de hipertrofia/fuerza resistencia

		SEMANA 1			SEMANA 2		
Día	Ejercicio	Series	Reps	Intensidad	Series	Reps	Intensidad
Lunes/ jueves	Arrancada colgante	3	10	55% 10RM	3	10	60% 10RM
	Sentadilla trasnuca	3	10	70% 10RM	3	10	75% 10RM
	Press de banca inclinada	3	10	70% 10RM	3	10	75% 10RM
	Tijeras	3	10	70% 10RM	3	10	75% 10RM
	Flexiones de pierna (rodilla)	3	10	70% 10RM	3	10	75% 10RM
	Gemelos sentado	3	10	70% 10RM	3	10	75% 10RM
	Nota: La sesión del jueves debe emplear una carga un 15% inferior a la del lunes.						
Martes/ viernes	Empuje sobre la cabeza	3	10	60% 10RM	3	10	65% 10RM
	Tirón de la cargada (suelo)**	3	10	65% 10RM	3	10	70% 10RM
	Remo inclinado	3	10	65% 10RM	3	10	70% 10RM
	Press de hombros	3	10	65% 10RM	3	10	70% 10RM
	Flexiones de bíceps con haltera	3	10	65% 10RM	3	10	70% 10RM
	Tríceps en máquina	3	10	65% 10RM	3	10	70% 10RM
	Abdominales cortos	3	20		3	20	
	Nota: La sesión del viernes debe emplear una carga un 10% inferior a la del martes.						

**Las cargas del entrenamiento se basan en la prueba de cargada de fuerza.

Mesociclo 4

2 semanas: 27 de junio-10 de julio; fase 2 de fuerza básica

		SEMANA 1			SEMANA 2		
Día	Ejercicio	Series	Reps	Intensidad	Series	Reps	Intensidad
Lunes/ jueves	Arrancada colgante	4	5	80% 5RM	4	5	85% 5RM
	Sentadilla trasnuca	3	5	80% 5RM	3	5	85% 5RM
	Press de banca inclinada	3	5	80% 5RM	3	5	85% 5RM
	Tijeras	3	6	80% 6RM	3	6	85% 6RM
	Flexiones de pierna (rodilla)	3	6	80% 6RM	3	6	85% 6RM
	Gemelos sentado	3	6	80% 6RM	3	6	85% 6RM
	Nota: La sesión del jueves debe emplear una carga un 15% inferior a la del lunes.						

Día	Ejercicio	SEMANA 1			SEMANA 2		
		Series	Reps	Intensidad	Series	Reps	Intensidad
Martes/ viernes	Empuje sobre la cabeza	4	5	75% 5RM	4	5	80% 5RM
	Tirón de la cargada (suelo)**	3	5	75% 5RM	3	5	80% 5RM
	Remo inclinado	3	6	75% 6RM	3	6	80% 6RM
	Press de hombros	3	6	75% 6RM	3	6	80% 6RM
	Flexiones de bíceps con haltera	3	6	75% 6RM	3	6	80% 6RM
	Tríceps en máquina	3	6	75% 6RM	3	6	80% 6RM
	Abdominales cortos	3	20		3	20	
	Nota: La sesión del viernes debe emplear una carga un 10% inferior a la del martes.						

**Las cargas del entrenamiento se basan en la prueba de cargada de fuerza.

Semana de descarga

1 semana: 11-17 de julio

Día	Ejercicio	SEMANA 1			SEMANA 2		
		Series	Reps	Intensidad	Series	Reps	Intensidad
Martes/ viernes	Empuje sobre la cabeza	4	5	75% 5RM	4	5	80% 5RM
	Tirón de la cargada (suelo)**	3	5	75% 5RM	3	5	80% 5RM
	Remo inclinado	3	6	75% 6RM	3	6	80% 6RM
	Press de hombros	3	6	75% 6RM	3	6	80% 6RM
	Flexiones de bíceps con haltera	3	6	75% 6RM	3	6	80% 6RM
	Tríceps en máquina	3	6	75% 6RM	3	6	80% 6RM
	Abdominales cortos	3	20		3	20	
	Nota: La sesión del viernes debe emplear una carga un 10% inferior a la del martes.						

**Las cargas del entrenamiento se basan en la prueba de 5RM en cargada de fuerza.

Mesociclo 5

2 semanas: 18-31 de julio; fase 1 de fuerza/potencia

Día	Ejercicio	SEMANA 1			SEMANA 2		
		Series	Reps	Intensidad	Series	Reps	Intensidad
Lunes/ jueves	Cargada de fuerza	4	3	90% 3RM	4	3	95% 3RM
	Sentadilla trasnuca	5	3	85% 3RM	5	3	90% 3RM
	Empuje sobre la cabeza	4	3	85% 3RM	4	3	90% 3RM
	Press de banca	5	3	85% 3RM	5	3	90% 3RM
	Flexiones de martillo	2	6	80% 6RM	2	6	85% 6RM
	Extensiones de tríceps en decúbito	2	6	80% 6RM	2	6	85% 6RM
	Gemelos de pie	2	6	80% 6RM	2	6	85% 6RM
	Nota: La sesión del jueves debe emplear una carga un 15% inferior a la del lunes.						
Martes/ viernes	Arrancada desde las rodillas	4	3	80% 3RM	4	3	85% 3RM
	Tirón de la cargada (suelo)**	5	3	80% 3RM	5	3	85% 3RM
	Remo inclinado	3	6	75% 6RM	3	6	80% 6RM
	Jalones	3	6	75% 6RM	3	6	80% 6RM
	Peso muerto rumano	3	5	75% 6RM	3	5	80% 6RM
	Abdominales cortos	3	20		3	20	
	Nota: La sesión del viernes debe emplear una carga un 10% inferior a la del martes.						

**Las cargas del entrenamiento se basan en la prueba de cargada de fuerza.

Semana de descarga

1 semana: 1-7 de agosto

Día	Ejercicio	Series	Reps	Intensidad
Lunes/ martes	Arrancada colgante	4	3	70% 3RM
	Sentadilla trasnuca	5	3	70% 3RM
	Abdominales cortos	3	20	
	Nota: La sesión del jueves debe emplear una carga un 15% inferior a la del lunes.			
Jueves/ viernes	Empuje sobre la cabeza	4	3	70% 3RM
	Tirón de la cargada (suelo)**	5	3	70% 3RM
	Press de banca inclinado	5	3	70% 3RM
	Nota: La sesión del viernes debe emplear una carga un 10% inferior a la del martes.			

**Las cargas del entrenamiento se basan en la prueba de 5RM en cargada de fuerza.

Postest

(Antes de la plena temporada) Microciclo: 8-14 de agosto

1RM EJERCICIO		**OTRAS PRUEBAS** 1. Sentarse y alcanzar

DE POTENCIA 1. Cargada de fuerza 2. Arrancada colgante 3. Empuje sobre la cabeza 4. Extensiones de hombros	**10RM PARA EJERCICIOS TRONCALES DE NO POTENCIA** 1. Sentadillas trasnuca 2. Sentadillas frontales 3. *Press* de banca	2. Encogerse de hombros 3. Rodaje de 2,4 km 4. *Course navette* de 274 m 5. Ejercicios de agilidad y potencia usando las líneas de la cancha 6. Test de T 7. Salto vertical 8. Composición corporal (pliegues cutáneos)
Otros ejercicios para la prueba basados en el programa de plena temporada		

Comentarios:

- Este programa en plena temporada incorpora un método no lineal con variaciones del volumen y la carga, de la intensidad del entrenamiento (kg) y de los ejercicios de entrenamiento propuestos.
- No se usan las cargas de las repeticiones máximas, ya que el entrenamiento hasta el fallo ha demostrado reducir la producción de potencia y aumentar el riesgo de sobreentrenamiento. Por tanto, se usan porcentajes de las cargas de la RM para evitar la fatiga acumulada que se asocia con el entrenamiento en plena temporada y con las competiciones. • Es importante reparar en que estas son las series ideales, y se deben practicar de tres a cinco tandas de calentamiento para proporcionar un calentamiento específico para las cargas programadas.
- Remitimos a la tabla 17.7 para las relaciones entre el porcentaje de la RM y el número de repeticiones permitidas, así como a la tabla 17.8 para el cálculo de 1RM.
- Remitimos a la tabla 17.12 para la asignación del período de descanso basado en la meta de repeticiones.

TÉRMINOS CLAVE

descanso activo
fase
  de fuerza básica
  de fuerza/potencia
  de hipertrofia/fuerza resistencia
  preparatoria específica
  preparatoria general
macrociclo
mantenimiento
mesociclo
microciclo
paradigma de la condición física
  y la fatiga
periodización

- lineal
- no lineal
- ondulante diaria
- tradicional

período
- competitivo
- de primera transición
- preparatorio

pico
plan anual de entrenamiento
recuperación
restablecimiento
segundo período de transición
síndrome general de adaptación (SGA)
supercompensación
teoría del estímulo-fatiga y la recuperación-adaptación

PREGUNTAS DE REPASO

(respuestas en la página 657)

1. ¿Durante qué estadio del síndrome general de adaptación se adapta fisiológicamente el cuerpo a cargas de entrenamiento más pesadas?
   a. Alarma.
   b. Resistencia.
   c. Agotamiento.
   d. Restablecimiento.

2. Al relacionar la terminología sobre la temporada con los períodos de periodización, ¿qué temporada se corresponde con el período preparatorio del entrenamiento?
   a. Plena temporada.
   b. Pretemporada.
   c. Fuera de temporada.
   d. Postemporada.

3. ¿Durante cuál de los siguientes períodos se practican actividades específicas del deporte con el máximo volumen?

a. Preparatorio.
b. Primera transición.
c. Competición.
d. Segunda transición.

4. ¿Cómo se denomina el ciclo de entrenamiento de duración media de dos a seis semanas?
   I. Bloque de entrenamiento.
   II. Macrociclo.
   III. Microciclo.
   IV. Mesociclo.
   a. Solo II y IIII.
   b. Solo I y IV.
   c. Solo I, II y IV.
   d. Solo III y IV.

5. ¿Cuáles de las siguientes fases se suelen usar para varias las sesiones de ejercicio durante el período preparatorio?
   I. Hipertrofia.
   II. Cardiovascular.
   III. Fuerza básica.
   IV. Supercompensación.
   a. Solo I y III.
   b. Solo II y IV.
   c. Solo I, II y III.
   d. Solo II, III y IV.

CAPÍTULO 22

Rehabilitación y reacondicionamiento físico

David H. Potach y Terry L. Grindstaff

A la conclusión del capítulo, el lector:

- Identificará a los miembros del equipo de medicina del deporte y sus responsabilidades durante la rehabilitación o reacondicionamiento físico de atletas lesionados.
- Reconocerá los tipos de lesiones que sufren los atletas.
- Tendrá conciencia de la duración y los procesos de curación de los tejidos.
- Entenderá los objetivos de cada fase del proceso de curación de los tejidos.
- Describirá el papel del especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico durante la rehabilitación de las lesiones y el reacondicionamiento físico.

A medida que aumenta el empleo de especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico, su papel se amplía para permitir una participación más activa en la rehabilitación y reacondicionamiento físico de los atletas lesionados. El especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico tiene unos conocimientos y un discernimiento únicos sobre la función atlética óptima y cumple un rol vital durante las fases finales de los programas de rehabilitación avanzados al preparar a los atletas para la vuelta a la competición. Estas capacidades le confieren responsabilidades evidentes durante la rehabilitación de lesiones de origen deportivo. Para entender plenamente el modo en que estos especialistas mejoran y potencian la rehabilitación de los atletas lesionados, primero hay que reconocer el papel de cada miembro del equipo de medicina del deporte. Además, conocer los distintos tipos de lesiones y su proceso fisiológico de curación es esencial para acelerar la recuperación.

La intención de este capítulo no es proporcionar al lector protocolos de rehabilitación para lesiones específicas, sino explicar los procesos

fisiológicos que siguen a una lesión musculoesquelética, para así posibilitar el establecimiento óptimo de objetivos por parte del especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico con el fin de mejorar los resultados tras las lesiones. La información de este capítulo se debe utilizar en último término para potenciar al máximo la función del atleta lesionado. El método de rehabilitación y reacondicionamiento físico sigue cinco principios básicos, enumerados en el cuadro de la página siguiente.

Equipo de medicina del deporte

El equipo de medicina del deporte proporciona servicios sanitarios teniendo como interés primario las necesidades y preocupaciones del atleta (8). Todos los miembros del equipo de medicina del deporte son responsables de educar a entrenadores y atletas sobre las lesiones deportivas, las precauciones y tratamientos; también deben prevenir las lesiones y participar en la rehabilitación de los atletas que se hayan lesionado. Varios profesionales desempeñan papeles importantes en la vuelta de los atletas lesionados al terreno de juego, y necesitan buenas destrezas comunicativas.

Miembros del equipo de medicina del deporte

El **médico del equipo** proporciona asistencia médica a una organización, escuela o equipo. El médico del equipo suele ser doctor en medicina (DM) o doctor en osteopatía (DO). Este médico puede tener formación especializada (distintos períodos de especialización sin correspondencia exacta con el MIR en España) en diversos campos, como medicina de familia, medicina interna, pediatría y ortopedia (43, 60), pero debe ser experto en el tratamiento de lesiones musculoesqueléticas y afecciones vinculadas al deporte (20). Las responsabilidades específicas del médico del equipo tal vez incluyan revisiones físicas previas, asistencia urgente sobre el terreno, evaluación y diagnóstico de las lesiones y enfermedades, y derivación a otros profesionales sanitarios si fuese necesario (43). Aunque no sea responsable de la rehabilitación diaria, el médico del equipo suele hacer la determinación final de la disposición del atleta para la vuelta a la competición (20, 43). Otro papel importante del médico del equipo es la prescripción de medicamentos cuando sea necesario, como antiinflamatorios, analgésicos, anticatarrales y antigripales.

La persona típicamente responsable de la salud física diaria del atleta es el

entrenador deportivo o el terapeuta físico. En Estados Unidos, el preparador físico tiene el título de *Entrenador deportivo titulado* (EDT) por el Comité de Certificación de la Asociación Nacional de Preparadores Físicos. El entrenador deportivo trabaja bajo la supervisión del médico del equipo y lo emplean sobre todo centros escolares, institutos o equipos profesionales, pero tal vez trabaje también en un centro ambulatorio de terapia física. Las responsabilidades primarias de esta profesión comprenden el tratamiento y rehabilitación de lesiones producto de la actividad física, y la prevención de lesiones mediante la prescripción de ejercicio para el deporte específico y la aplicación de equipamiento profiláctico (p. ej., cintas o vendas y férulas). Específicamente, el entrenador deportivo evalúa las lesiones, proporciona a los atletas lesionados ejercicios terapéuticos para acelerar el proceso de rehabilitación, trata las lesiones con modalidades terapéuticas y actúa de administrador del equipo de medicina del deporte (8). Como el entrenador deportivo tiene mucho contacto con los atletas, desempeña un papel clave en promocionar la comunicación entre los miembros del equipo de medicina del deporte, el entrenador y los atletas (8).

Un **terapeuta físico** (o **fisioterapeuta**) especializado en traumatología o medicina del deporte puede desempeñar un valioso papel a la hora de reducir el dolor y restablecer la función del atleta lesionado. Aunque los fisioterapeutas suelen trabajar en centros ambulatorios de fisioterapia, muchos equipos universitarios y profesionales emplean directamente fisioterapeutas que se integran en el equipo de medicina del deporte. Un fisioterapeuta puede ayudar a desarrollar estrategias para tratamientos específicos o gestionar la rehabilitación a largo plazo. En Estados Unidos, los fisioterapeutas con experiencia en el tratamiento de lesiones deportivas pueden llegar a tener un título del American Board of Physical Therapy Specialties (ABPTS; Consejo Americano de Especialidades de Fisioterapia). Estos especialistas titulados cada vez participan más en la evaluación, tratamiento y rehabilitación de atletas con lesiones agudas, y a menudo desempeñan la actividad dual de entrenador deportivo del equipo y fisioterapeuta deportivo.

El **especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico** se suele centrar en la mejora de la fuerza, la potencia y el rendimiento. También desempeña un papel valioso en el equipo de medicina del deporte y forma parte integral del proceso de rehabilitación y reacondicionamiento físico. Lo ideal es que esta persona cuente con el título de Especialista en Entrenamiento de la

Fuerza y Acondicionamiento Físico (*Certified Strength and Conditioning Specialist* [CSCS]) por la National Strength and Conditioning Association (NSCA; Asociación Nacional de Fuerza y Acondicionamiento Físico) para garantizar que tiene los conocimientos y formación necesarios para contribuir al proceso de rehabilitación. En consulta con el entrenador deportivo o el fisioterapeuta deportivo, este profesional recurre a sus conocimiento de la técnica y aplicación correctas de varios tipos de ejercicios (p. ej., ejercicio resistido, pliométrico y aeróbico) para desarrollar un programa de reacondicionamiento físico con el cual preparar al atleta lesionado para la vuelta a la competición. Además, los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico poseen —sobre el papel— amplios conocimientos de biomecánica en gran variedad de deportes y actividades, lo cual tal vez les permita sugerir ejercicios para la rehabilitación avanzada y el reacondicionamiento de muchas lesiones.

Principios de la rehabilitación y el reacondicionamiento físico

- No hay que centrarse en exceso en la curación de los tejidos.
- El atleta debe cumplir unos criterios específicos para pasar de una fase a otra durante el proceso de rehabilitación.
- El programa de rehabilitación se debe basar en las investigaciones clínicas y científicas actuales.
- El programa debe ser adaptable a cada individuo y sus requisitos y metas específicos.
- La rehabilitación es un proceso en el que interviene todo el equipo de medicina del deporte y actúa de manera conjunta para alcanzar el objetivo común de devolver al atleta a la competición sin restricciones lo más rápido y seguro posible.

Adicionalmente, el equipo de medicina del deporte suele incluir miembros especializados que ayudan a la rehabilitación posaguda y al reacondicionamiento de atletas lesionados. Un **fisiólogo del ejercicio** cuenta con formación formal en ciencias del ejercicio y aplica sus conocimientos al diseño de programas de acondicionamiento físico que tengan cuidadosamente en cuenta la respuesta metabólica del cuerpo al ejercicio y las formas en que esa reacción ayuda al proceso de curación. Como la correcta nutrición es crucial para la recuperación de las lesiones, un **nutricionista** o dietista titulado con estudios de nutrición deportiva puede aportar pautas para la elección de alimentos correctos con que mejorar la recuperación de los tejidos. Lo ideal es que el nutricionista haya recibido formación en comida y

ciencias de la nutrición y sea un dietista titulado, reconocido por la Comisión de Acreditación para la Educación Dietética de la Academia de Nutrición y Dietética (*Academy of Nutrition and Dietetics Commission on Dietetic Registration*). Por último, la recuperación de una lesión tal vez haya sido mentalmente traumática para el atleta; un **asesor**, **psicólogo** o **psiquiatra** con conocimientos sobre deporte tal vea aporte estrategias que ayuden al atleta lesionado a afrontar mejor la tensión mental asociada con las lesiones.

Comunicación

La comunicación entre los miembros del equipo de medicina del deporte es esencial (8, 65). Lo más habitual es que el atleta lesionado tenga mucho contacto con entrenadores, con el entrenador deportivo y con el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico. En algunos casos, los atletas revelan el inicio de una lesión a un entrenador o especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico antes de consultar con el entrenador deportivo. Por tanto, es imprescindible la comunicación constante entre estas personas. Esto no impide la comunicación con otros miembros del equipo de medicina del deporte (médico, fisioterapeuta, nutricionista, psicólogo deportivo) que tal vez no tengan interacciones tan frecuentes durante la semana. Una reunión semanal de los miembros del equipo de medicina del deporte ofrece un foro para que todos puedan discutir los requisitos del entrenamiento y las restricciones necesarias para cada atleta lesionado. Las preguntas relevantes para el debate podrían incluir las siguientes: ¿Cuál es el estado actual del atleta (sin participación, participación limitada, participación total)? ¿Qué ejercicios o actividades está practicando actualmente el atleta? ¿Hay alguna restricción o modificaciones necesarias? ¿Cómo está progresando el atleta? ¿Hay que establecer cambios en el programa?

Para desarrollar con más eficacia programas de entrenamiento para atletas lesionados, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe entender el diagnóstico de la lesión en cuestión, así como las indicaciones y contraindicaciones para el ejercicio. Una **indicación** es una forma de tratamiento requerido por el atleta en rehabilitación. Por ejemplo, una jugadora exterior de béisbol femenino con un síndrome por compresión en el hombro debe mantener la función de las extremidades inferiores, por lo que el entrenador deportivo puede requerir que la atleta siga practicando ejercicios de fuerza, velocidad, agilidad y potencia con las extremidades

inferiores durante la rehabilitación del hombro. Por tanto, el ejercicio para las extremidades inferiores está indicado. Una **contraindicación** es una actividad o práctica que es desaconsejable o está prohibida debido a la lesión. Por ejemplo, durante las fases finales de la rehabilitación de una luxación anterior del hombro, un jugador de fútbol americano tal vez requiera el fortalecimiento del hemicuerpo superior antes de contar con el alta médica para jugar. El entrenador deportivo exige que el atleta inicie el fortalecimiento del hemicuerpo superior, si bien el ejercicio de *press* de banca puede estar contraindicado porque coloca el hombro lesionado en una posición vulnerable en caso de inestabilidad anterior. Para dejar claro el papel del especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico durante este proceso, tal vez resulte beneficioso que el equipo de medicina del deporte utilice un formulario que especifique las indicaciones y contraindicaciones para los ejercicios con el fin de garantizar la seguridad y eficacia del acondicionamiento físico (figura 22.1). Además, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico puede usar un formulario similar (figura 22.2) para comunicar los componentes de un programa dado, así como las respuestas subjetivas y objetivas del atleta a esos componentes.

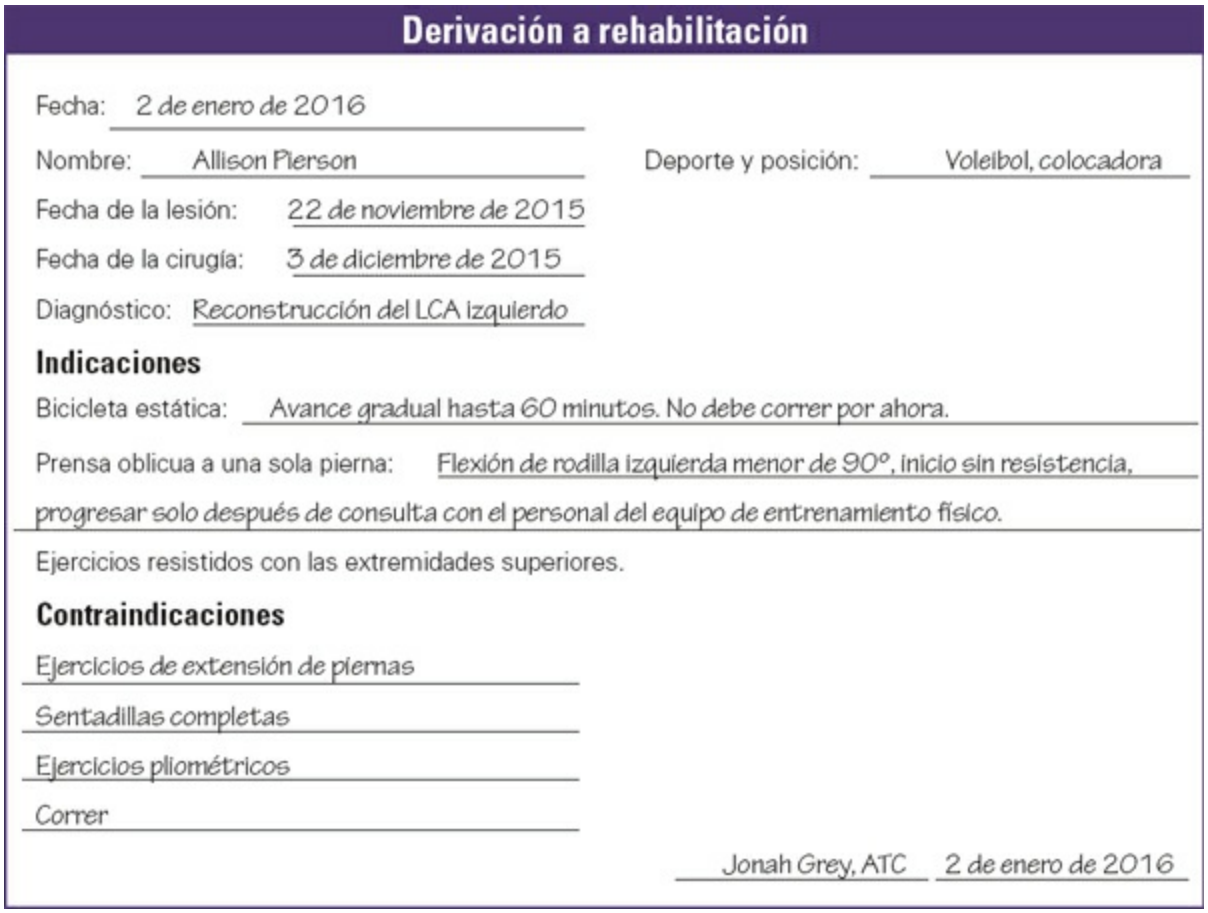
El equipo de medicina del deporte comprende un largo número de profesionales que actúan de manera conjunta para ofrecer un entorno óptimo para la rehabilitación y el reacondicionamiento físico. Por tanto, la relación entre los miembros del equipo de medicina del deporte requiere una estrecha comunicación para garantizar un entorno seguro y armonioso al atleta lesionado.

Tipos de lesiones

Un **macrotraumatismo** es un episodio específico y repentino en que se produce una lesión por sobrecarga de un tejido y provoca la disrupción de su integridad. Un traumatismo óseo puede derivar en una contusión o una fractura. Las fracturas óseas se producen por un golpe directo en un hueso y reciben muy diversas clasificaciones (p. ej., cerradas, abiertas, por arrancamiento, incompletas). Los traumatismos articulares se manifiestan en forma de **luxación** (desplazamiento completo de las superficies articulares) o **subluxación** (desplazamiento parcial de las superficies articulares), y tal vez causen laxitud o inestabilidad articulares. Los traumatismos ligamentarios reciben el nombre de **esguince** y se les asignan una clasificación de *primer grado* (rotura parcial del ligamento sin aumento de la inestabilidad articular),

de *segundo grado* (rotura parcial con mínima inestabilidad articular) y de *tercer grado* (rotura completa con inestabilidad articular).

Los traumatismos musculotendinosos se clasifican como **contusión** (si el traumatismo fue directo) o distensión (si el traumatismo fue indirecto). Una contusión muscular es una zona de excesiva acumulación de sangre y líquidos en los tejidos que rodean el músculo lesionado; tal vez limite gravemente la función del músculo dañado. Las **distensiones** musculares son roturas de fibras musculares y se les asignan grados. Una distensión de *primer grado* es una rotura parcial de fibras individuales y se caracteriza por una actividad muscular potente pero dolorosa. Una distensión de *segundo grado* es una rotura parcial con actividad muscular dolorosa. Una distensión muscular de *tercer grado* es una rotura completa de las fibras y se manifiesta con una actividad muscular muy débil e indolora. Un tendón, igual que un músculo, también se puede romper si la carga de tracción aplicada supera su límite. Por lo general, las fibras colágenas del tendón son significativamente más fuertes que las fibras musculares en las que se insertan, por lo que es más probable que fallen en el vientre muscular, en la unión musculotendinosa, o más en la inserción del tendón en el hueso que en la sustancia del tendón.



Derivación a rehabilitación

Fecha: 2 de enero de 2016

Nombre: Allison Pierson Deporte y posición: Voleibol, colocadora

Fecha de la lesión: 22 de noviembre de 2015

Fecha de la cirugía: 3 de diciembre de 2015

Diagnóstico: Reconstrucción del LCA izquierdo

Indicaciones

Bicicleta estática: Avance gradual hasta 60 minutos. No debe correr por ahora.

Prensa oblicua a una sola pierna: Flexión de rodilla izquierda menor de 90°, inicio sin resistencia, progresar solo después de consulta con el personal del equipo de entrenamiento físico.

Ejercicios resistidos con las extremidades superiores.

Contraindicaciones

Ejercicios de extensión de piernas

Sentadillas completas

Ejercicios pliométricos

Correr

Jonah Grey, ATC 2 de enero de 2016

FIGURA 22.1 Formulario de muestra de derivación a rehabilitación, donde aparecen las indicaciones y contraindicaciones para los miembros del equipo de medicina del deporte.

Resumen de fuerza y acondicionamiento físico

Fecha: 22 de octubre de 2015
Nombre: Molly Jackson
Deporte: Fútbol
Posición: Mediocampista
Diagnóstico: Esguince de 2.° grado del LCM derecho
Fecha de la lesión: 8 de octubre de 2015

Resumen de actividades

Número de sesiones: 7
Fecha de inicio: 15 de octubre de 2015

Actividades actuales

Actividad	Series	Repeticiones	Resistencia
Medias sentadillas	3	10	115
Extensión de piernas	3	10	60
Flexión de piernas	3	10	50
Gemelos	3	15	95

	Tiempo	Velocidad
Bicicleta estática	20 minutos	80 rpm
Escalador	20 minutos	21,3 m/min
Correr al trote	10 minutos	8 km

Evaluación previa

Sin dificultad con medias sentadillas; tal vez aumente la profundidad de la sentadilla a tres cuartos.

Sugerencias

Aumento de la profundidad de las sentadillas, aumento del tiempo y la velocidad de la carrera al trote.

Jill Michaels, CSCS 22 de octubre de 2015

FIGURA 22.2 Formulario de muestra del resumen de fuerza y acondicionamiento físico, donde se registran las actividades actuales del atleta y las respuestas a dichas actividades.

Un **microtraumatismo** o lesión por uso excesivo es producto de un esfuerzo repetido y anormal aplicado a un tejido mediante un entrenamiento continuado o un entrenamiento con muy poco tiempo de recuperación. Las lesiones por uso excesivo tal vez se deban a errores de entrenamiento (p. ej., un diseño deficiente del programa, un volumen excesivo), a superficies para entrenar subóptimas (p. ej., demasiado duras o irregulares), a fallos en la biomecánica o la técnica durante las actuaciones, a un insuficiente control

motor, a una disminución de la flexibilidad, a una alineación defectuosa de los huesos o a una predisposición (54, 66). Dos lesiones habituales por uso excesivo afectan al hueso y al tendón. La lesión por uso excesivo más habitual son las fracturas por sobrecarga. Aunque el somatotipo y la estructura del cuerpo, la nutrición y factores metabólicos desempeñen un papel importante, las fracturas por sobrecarga a menudo son el resultado de un rápido incremento del volumen de entrenamiento o un volumen excesivo de entrenamiento sobre superficies de entrenamiento duras (3, 66). **Tendinitis** es la inflamación de un tendón (52) y, si la causa de la inflamación no se corrige, tal vez devenga en una tendinitis crónica o una tendinopatía. (Todo término con el sufijo *–itis* se refiere a una afección por inflamación [p. ej., tendinitis, artritis]). Una tendinopatía es una afección degenerativa que se caracteriza por mínima inflamación y por neovascularización (52).

Curación tisular

El proceso de retorno a la competición después de una lesión implica la curación de los tejidos dañados y su preparación para la vuelta a la función. Para entender mejor el papel del especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico durante la rehabilitación y el reacondicionamiento, es necesario revisar las fases generales de la curación tisular después de una lesión musculoesquelética (22, 24). La duración de los acontecimientos que se producen en cada fase de la curación tisular difiere según el tipo de tejido y se ve afectada por diversos factores locales y generales, como la edad, el estilo de vida, el grado de la lesión y la estructura que se ha dañado. Sin embargo, todos los tejidos siguen el mismo patrón básico de curación (tabla 21.1).

El proceso de vuelta a la competición tras una lesión implica la curación de los tejidos dañados, la preparación de dichos tejidos para su retorno funcional y el uso de técnicas adecuadas para potenciar al máximo la rehabilitación y el reacondicionamiento físico.

TABLA 22.1 Curación tisular

Fase de respuesta inflamatoria	Dolor, edema y eritema
↓	Disminución de la síntesis de colágeno
	Aumento del número de células inflamatorias

Fase de reparación fibroblástica	Producción de fibras colágenas
↓	Disminución de la organización de las fibras colágenas
	Disminución del número de células inflamatorias
Fase de maduración y remodelación	Correcta alineación de las fibras colágenas
	Aumento de la fuerza del tejido

Fase de respuesta inflamatoria

La **inflamación** es la reacción inicial a una lesión (22, 24) y es necesaria para que se produzca la curación normal del tejido. La inflamación local y general ocurre durante la fase de **respuesta inflamatoria**, que permite la curación final y el remplazamiento del tejido dañado. Durante la fase inflamatoria, varios acontecimientos indican que todo eso contribuye a la curación tisular y a una disminución inicial de la función. El área dañada se enrojece y presenta edema debido a cambios en la vascularización, el riego sanguíneo y la permeabilidad de los capilares. Una vez dañados los tejidos, un entorno hipóxico a nivel local provoca cierta muerte de tejido, lo cual permite la liberación de varios mediadores químicos, entre otros la histamina y la bradicinina. Estas sustancias aumentan más el riego sanguíneo y la permeabilidad capilar de esa zona local, con lo cual se aprecia edema, es decir, escape de líquido a los tejidos circundantes. El **edema** inhibe los tejidos contráctiles y puede limitar significativamente la función. Los residuos tisulares y los organismos patógenos se eliminan de la zona dañada mediante el aumento del riego sanguíneo y un proceso llamado *fagocitosis*; la fagocitosis permite la liberación de macrófagos, que buscan y eliminan los restos celulares que podrían ralentizar la curación.

Las sustancias inflamatorias presentes durante esta fase tal vez estimulen las fibras álgicas y provoquen que el atleta lesionado experimente dolor, lo cual agudiza la limitación funcional. Esta fase suele durar dos o tres días después de una lesión aguda, pero tal vez dure más si está comprometido el riego sanguíneo y hay más y más graves daños estructurales. Aunque la fase inflamatoria sea crítica para la curación tisular, si esto no termina en una cantidad de tiempo razonable, tal vez no se den las fases que le siguen, retrasando por lo tanto el proceso de rehabilitación. Por lo general, esta fase dura menos de una semana.

Fase de reparación fibroblástica

Una vez ha terminado la fase inflamatoria, se inicia la **reparación** del tejido (22, 24); la fase de **reparación fibroblástica** se caracteriza por catabolismo (destrucción de tejido) y la sustitución de tejidos que ya no son viables después de una lesión. En un intento por mejorar la integridad tisular, en el área se forman nuevos capilares y tejido conjuntivo (tejido cicatricial). Colágeno tipo III se deposita aleatoriamente a lo largo de la estructura dañada y sirve de marco para la regeneración del tejido. Este tejido de nueva formación es más débil que el tejido original; por tanto, no ha alcanzado la resistencia óptima del nuevo tejido. Las fibras colágenas son más resistentes cuando se depositan longitudinalmente respecto a la línea primaria de esfuerzo, aunque muchas de las fibras nuevas se distribuyen transversalmente, lo cual limita su capacidad para transmitir fuerzas con eficacia. Esta fase de la curación tisular se inicia pronto, unos dos días después de la lesión, y tal vez dure hasta dos meses.

Fase de maduración y remodelación

El tejido debilitado y producido durante la fase de reparación adquiere fuerza durante la fase de **maduración y remodelación** del proceso de curación (22, 24). La producción de fibras colágenas ha variado a un colágeno tipo I más resistente, lo cual brinda al tejido de reciente formación la oportunidad de mejorar su estructura, fuerza y función. Al aumentar la carga, las fibras colágenas del tejido cicatricial recién formado empiezan a hipertrofiarse y alinearse con las líneas de tensión (18). Cuanto más gruesas y más óptimamente se alineen las fibras colágenas, más fuertes serán y más fácil será que recuperen su capacidad funcional. Aunque mejore la fuerza de las fibras colágenas y mejore el tejido en proceso de curación, este tejido no es tan fuerte como el tejido que ha remplazado. La **remodelación** del tejido en la fase de maduración y remodelación puede durar meses o años tras la lesión (22, 24, 32).

Después de una lesión, todos los tejidos dañados experimentan las mismas fases generales de curación: inflamación, reparación y remodelación. La duración de los procesos que ocurren en cada fase de la curación tisular difiere según el tipo de tejido, y en ella influyen diversos factores generales y locales, como la edad, el estilo de vida, el grado de la lesión y la estructura dañada. Procesos característicos definen cada fase y diferencian una fase de otra.

Metas de la rehabilitación y el reacondicionamiento físico

El especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe tener en cuenta tanto la respuesta subjetiva del atleta a la lesión como los mecanismos fisiológicos de la curación tisular; ambos son esenciales para la vuelta del atleta a un rendimiento óptimo. El proceso de reincorporación a la competición tras una lesión implica la curación de los tejidos dañados, la preparación de esos tejidos para la vuelta a la función y el uso de técnicas correctas para potenciar al máximo la rehabilitación y el reacondicionamiento físico. Aunque el objetivo sea con frecuencia una rápida reanudación de la actividad, es importante recordar que cada atleta responde de manera diferente a las lesiones y, por tanto, progresa de forma única durante la rehabilitación.

Hay que abordar dos puntos antes de pasar a la exposición de los objetivos del tratamiento durante la rehabilitación de lesiones. En primer lugar, no hay que sobrecargar el tejido en proceso de curación (44). Durante la curación tisular, se necesita un esfuerzo terapéutico controlado para mejorar la formación de la matriz de colágeno (4, 18), aunque si es excesivo dañará las nuevas estructuras y ralentizará significativamente la vuelta del atleta a la competición. Esto significa elegir un nivel de carga que no genere demasiado esfuerzo ni muy poco en el tejido en proceso de curación del atleta. Debería resultar evidente que, cuando se elige la carga, es necesario tener en cuenta la fase de curación y el tipo de atleta. Por ejemplo, un ejercicio que aporte muy poca carga al tejido durante la fase de maduración y remodelación tal vez sea excesivo durante la fase de respuesta inflamatoria. Además, un ejercicio que aporta muy poco esfuerzo a un pívot de baloncesto profesional tal vez resulte excesivo para un corredor de *cross* amateur. El plano de movimiento es otra consideración importante. Como ejemplo, el ligamento colateral medial de la rodilla se somete a una tensión máxima cuando soporta una carga en el plano frontal (es decir, tensión en valgo) durante la extensión terminal de la rodilla. Por tanto, si el atleta sufre una lesión en el ligamento colateral medial, se evitarán los movimientos en el plano frontal (tensión en valgo) durante las fases iniciales de la curación; sin embargo, esos movimientos en el plano frontal es probable que se deban incluir de alguna forma en fases posteriores.

En segundo lugar, el atleta debe cumplir objetivos específicos para pasar de una fase de curación a la siguiente (67, 68). Estos objetivos quizá

dependan del grado de movilidad articular, de la fuerza y la actividad. El médico del equipo, el entrenador deportivo, el fisioterapeuta o una combinación de estos profesionales son los responsables de establecer estas pautas.

No hay que excederse en el interés por la curación tisular, pero se requiere un esfuerzo terapéutico controlado para mejorar la formación de la matriz de colágeno. El atleta debe cumplir unos objetivos específicos para avanzar de una fase de curación a la siguiente.

Fase de respuesta inflamatoria

La primera respuesta a una lesión es la inflamación, una reacción esencial para la posterior curación, aunque también sea importante su correcto tratamiento para que no retarde el proceso de rehabilitación.

Objetivo del tratamiento

El objetivo primario del tratamiento durante la fase de respuesta inflamatoria es prevenir la disrupción de más tejido. Un entorno saludable para la regeneración y formación de nuevo tejido es esencial para prevenir una inflamación prolongada y la disrupción de nuevos vasos sanguíneos y la producción de colágeno, todo lo cual prolongará la lesión. Con frecuencia, las opciones primarias de tratamiento son descanso relativo y **agentes físicos** (p. ej., modalidades), como hielo, compresión, elevación y estimulación eléctrica con el fin de reducir al mínimo los daños tisulares y aliviar el dolor agudo, aunque los resultados sobre su eficacia han sido contradictorios (40, 62).

También es importante reparar en que una rápida vuelta a la función depende de la salud de los otros tejidos corporales. En consecuencia, es necesario mantener la potencia, fuerza y tolerancia física de los tejidos musculoesqueléticos, así como la función del sistema cardiorrespiratorio. El especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico aportará sus conocimientos y experiencia en esta área. Para cumplir este cometido, este especialista debe consultar con el entrenador deportivo y determinar los tipos de ejercicios indicados y contraindicados para la lesión específica. Durante esta fase, el objetivo primario es la máxima protección de las estructuras lesionadas. Asumiendo que este requisito se cumple, los ejercicios pueden incluir un entrenamiento aeróbico y anaeróbico, así como un entrenamiento con resistencia de las extremidades sanas. Si el movimiento de la extremidad

lesionada no está contraindicado, tal vez estén permitidos ejercicios aislados que trabajen las áreas proximal y distal de la zona lesionada, siempre y cuando no pongan en tensión ni ejerciten el área lesionada. Son ejemplos los ejercicios de abducción y rotación de las caderas tras una lesión de rodilla (14, 26, 41), o los ejercicios de estabilización de la escápula después de una lesión de la articulación glenohumeral (35, 64, 69).

Estrategias del ejercicio

Aunque uno de los objetivos habituales sea una rápida vuelta a la competición, el descanso pasivo de la zona lesionada es inicialmente necesario para proteger los tejidos dañados de lesiones adicionales. En consecuencia, durante esta fase no se recomienda ejercicio que ejercite o someta a esfuerzo el área dañada. Es posible, no obstante, realizar ejercicios que no impliquen ni trabajen directamente el área lesionada (p. ej., ejercicios con las extremidades superiores para lesiones de las extremidades inferiores, ejercicios con una sola pierna con la extremidad sana).

Fase de reparación fibroblástica

Después de la fase de respuesta inflamatoria, el cuerpo empieza la reparación del tejido dañado con tejido nuevo y similar; sin embargo, la elasticidad de este tejido nuevo es escasa en este momento. La reparación del foco de la lesión puede tardar hasta ocho semanas si se aplica la cantidad apropiada de esfuerzo reconstituyente, o más tiempo si se aplica un esfuerzo excesivo o demasiado escaso.

Objetivo del tratamiento

El objetivo del tratamiento durante la fase de reparación fibroblástica es prevenir una excesiva atrofia muscular y deterioro articular del área lesionada. Además, se debe mantener un equilibrio precario en que se evite la disrupción de las fibras colágenas de nueva formación, pero se introduzcan esfuerzos de baja carga para permitir un aumento de la síntesis de colágeno y se prevenga la pérdida de movilidad articular. Con el fin de proteger las nuevas fibras colágenas relativamente débiles, el atleta debe evitar ejercicios con resistencia activa que ejerciten el tejido dañado. Sin embargo, muy poca actividad también tendrá un efecto pernicioso, ya que las fibras recién formadas no se alinearán óptimamente y tal vez se formen adherencias que

impedirán la movilidad total. Una temprana movilidad controlada acelera la alineación óptima de las fibras colágenas y favorece una mejora de la movilidad tisular. Al igual que en la fase inflamatoria, se permiten modalidades terapéuticas, aunque su objetivo durante la reparación es favorecer la síntesis de colágeno y aliviar el dolor. Prosigue el tratamiento con ultrasonidos, estimulación eléctrica y aplicación de hielo con el fin de respaldar y acelerar la formación de tejido nuevo (5, 27, 51). Una vez más, el mantenimiento de la función muscular y cardiorrespiratoria es esencial para las áreas sanas del cuerpo. El especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico tiene suficiente experiencia profesional como para ofrecer a los otros miembros del equipo de medicina del deporte orientación en la selección de actividades apropiadas. Posibles formas de ejercicio durante la fase de reparación son el fortalecimiento de las extremidades sanas y las áreas proximal y distal a la lesión, así como ejercicio aeróbico y anaeróbico, y mejora de la fuerza y el control neuromuscular de las áreas implicadas.

Estrategias del ejercicio

Los siguientes ejercicios se deben usar durante la fase de reparación solo después de consultar al médico del equipo, al entrenador deportivo o al fisioterapeuta. Se puede practicar ejercicio isométrico siempre y cuando sea indoloro y, por otra parte, esté indicado por el médico o el entrenador deportivo. El ejercicio isométrico submáximo permite al atleta mantener la función neuromuscular y mejorar la fuerza con movimientos practicados a una intensidad lo bastante baja como para que no se rompan las fibras colágenas de reciente formación. Por desgracia, el fortalecimiento isométrico es específico del ángulo articular; es decir, el aumento de la fuerza solo ocurre en los ángulos ejercitados (28). Por tanto, si está indicado, tal vez sea apropiado que el atleta practique ejercicios isométricos en múltiples ángulos (28). El ejercicio isocinético requiere equipamiento que ofrezca resistencia al movimiento a una velocidad dada (p. ej., 60°/s o 120°/s). Como el deporte no se practica a una sola velocidad constante, el ejercicio isocinético queda limitado en el mundo real. Además, la mayor parte del equipamiento isocinético solo permite ejercitar una sola articulación, lo cual posibilita la concentración en una articulación o músculo específicos, si bien no siempre es el método más funcional de fortalecimiento.

Aunque el ejercicio isotónico (es decir, concéntrico y excéntrico) implica movimientos con resistencia externa constante, la cantidad de fuerza

requerida para mover la resistencia varía, dependiendo sobre todo del ángulo articular y de la longitud de cada músculo agonista. El ejercicio isotónico emplea distintas formas de resistencia, entre otras la gravedad (es decir, ejercicios practicados sin equipamiento, siendo los efectos gravitatorios la única fuente de resistencia), mancuernas, halteras y máquinas de musculación con pesas. Las acciones musculares concéntricas y excéntricas sirven para aumentar la fuerza y someter a un esfuerzo apropiado los tejidos en proceso de curación. El ejercicio excéntrico permite una mayor producción de fuerza y requiere menos gasto de energía en comparación con el ejercicio concéntrico (38). Las cargas tal vez se incrementen para proporcionar un mayor desafío mientras avanza la curación de los tejidos. La velocidad a la que se produce el movimiento es controlada por el atleta; la velocidad de movimiento puede ser una variable en el diseño de programas, siendo las lesiones más agudas las que requieren movimientos más lentos y las fases finales de la curación más aptas para movimientos más rápidos y más específicos del deporte.

El **control neuromuscular** es la capacidad de los músculos para responder a información sensitiva aferente con el fin de mantener la estabilidad articular (53). Esta información sensitiva aferente recibe el nombre de **propiocepción** y ocurre como respuesta a la estimulación de receptores sensitivos de la piel, músculos, tendones, ligamentos y la cápsula articular. La propiocepción contribuye al control eferente consciente e inconsciente de la postura, el equilibrio, la estabilidad y el sentido de la posición (53). Por ejemplo, al correr por una superficie irregular, los corredores de fondo dependen de la percepción sensorial (propiocepción) de sus extremidades inferiores para ajustarse a las irregularidades del suelo y evitar caídas y lesiones; esa capacidad de ajuste es el control neuromuscular. Después de una lesión, el control neuromuscular, como la fuerza y la flexibilidad, se suele alterar (13). Existen tipos específicos de ejercicios para mejorar el control neuromuscular tras una lesión que se manipulan mediante alteraciones de la estabilidad superficial, la visión y la velocidad. Las minicamas elásticas, las tablas de equilibrio y las pelotas de estabilidad sirven para crear superficies inestables para el entrenamiento de las extremidades superiores e inferiores. Los atletas pueden realizar actividades corrientes como sentadillas y flexiones de brazos en superficies irregulares con el fin de mejorar el control neuromuscular. Los ejercicios también se pueden practicar con los ojos cerrados, con lo cual se suprime la percepción visual, para seguir desafiando el equilibrio. Por último,

el aumento de la velocidad a la que se practican los ejercicios aporta desafíos adicionales al sistema. Específicamente, el control de estas variables en un entorno controlado permitirá al atleta avanzar a ejercicios más complicados en el siguiente estadio de la curación.

Fase de maduración y remodelación

El resultado de la fase de reparación es el remplazamiento de los tejidos dañados por fibras de colágeno. Una vez depositadas estas fibras, el cuerpo empieza a remodelarse y reforzar el tejido nuevo, permitiendo al atleta volver gradualmente a la actividad completa.

Objetivo del tratamiento

El objetivo primario durante la fase de maduración y remodelación es optimizar la función del tejido en la transición hacia la vuelta al juego o la actividad. Los atletas mejoran la función siguiendo y progresando los ejercicios practicados durante la fase de reparación y añadiendo otros más avanzados y específicos del deporte para poder aplicar esfuerzos progresivos al tejido lesionado. El atleta se puede ver tentado a hacer «demasiado en muy poco tiempo», lo cual también dañará más los tejidos lesionados. Es importante recordar que, aunque quizá en este punto haya menos dolor con la actividad, los tejidos dañados no se han recuperado totalmente y requieren más atención para lograr una recuperación completa (figura 22.3). La carga progresiva del tejido permite mejorar la alineación de las fibras colágenas y la hipertrofia de las fibras (4, 18). Las decisiones sobre la vuelta a la actividad o a la competición se deben tomar respetando los márgenes de tiempo normales para la curación de los tejidos, y siguiendo una progresión basada en criterios con objetivos predeterminados. Estos objetivos suelen incluir mediciones del grado de movilidad y de la fuerza, pruebas funcionales y la función referida por el paciente usando un cuestionario de resultados percibidos por los pacientes (1, 35, 69). Es importante que los miembros del equipo de medicina del deporte se comuniquen, tengan papeles claramente definidos y utilicen elementos de medición para volver a jugar que garanticen una vuelta segura a la competición.

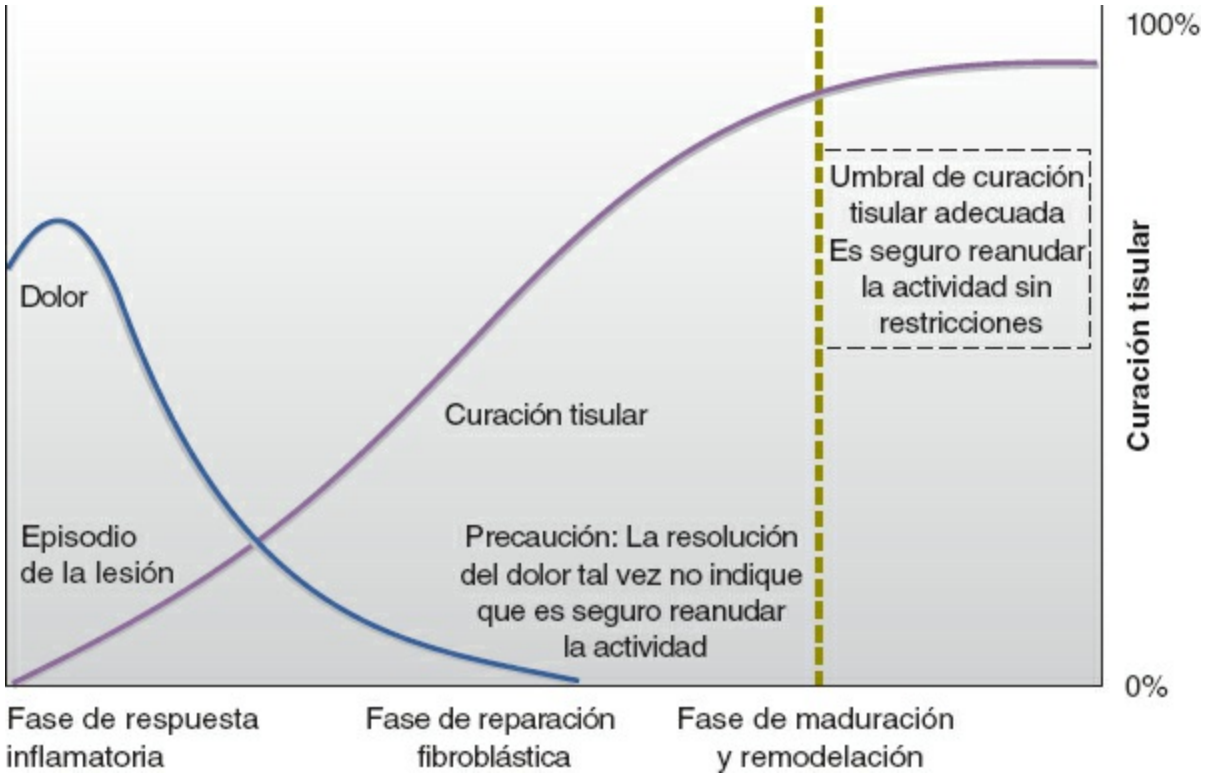


FIGURA 22.3 Perfil de la respuesta de una lesión típica de tejidos blandos. El dolor se suele usar de guía de la curación tisular. Los niveles de dolor (línea azul) disminuyen a menudo mucho antes de que se complete la curación tisular (línea morada), y eso puede hacer creer erróneamente a los atletas que ya se ha producido la curación tisular (línea vertical amarilla) y es seguro reanudar la actividad sin restricciones.

Estrategias del ejercicio

Por último, al igual que con otros aspectos de la fuerza y el acondicionamiento físico, los ejercicios de rehabilitación y reacondicionamiento físico deben ser funcionales y reproducir las exigencias de la actividad, es decir, reflejar especificidad. Ejemplos de entrenamiento funcionalmente específico incluyen el fortalecimiento articular en ángulos específicos, la actividad muscular a velocidades específicas, ejercicios en cadena cinética cerrada y ejercicios diseñados para mejorar el control neuromuscular. El fortalecimiento debe pasar una transición de ejercicios generales a ejercicios específicos del deporte y diseñados para replicar movimientos comunes a diversos deportes. Por ejemplo, en el caso de un escolta de baloncesto que ha sufrido un esguince de tobillo, los ejercicios de rehabilitación tal vez avancen de un ejercicio uniarticular general a otros más específicos del deporte y su posición (figura 22.4). La especificidad de la velocidad de movimientos es otra variable importante para el diseño de

programas. Los ejercicios de fortalecimiento practicados durante la rehabilitación también deben reproducir los requisitos de velocidad del deporte; es decir, actividades que requieren mayores velocidades (p. ej., esprines) deben incluir ejercicios practicados a mayor velocidad. Usando el ejemplo de la figura 22.4, los ejercicios avanzan de ejercicios de fuerza y equilibrio relativamente lentos y controlados a ejercicios pliométricos más rápidos y ejercicios de esprín. De forma similar, pensemos en un velocista con una distensión en la musculatura isquiotibial. Aunque el reacondicionamiento inicial tal vez se concentre en la recuperación de la flexibilidad y la fuerza de los músculos lesionados, la naturaleza del deporte de este atleta necesita ejercicios practicados a velocidades rápidas durante las fases posteriores de la rehabilitación y el reacondicionamiento físico. La selección de ejercicios para un velocista que presenta una mejora de la distensión isquiotibial podría pasar de ejercicios de flexibilidad para los isquiotibiales a ejercicios de fuerza excéntrica y luego fortalecimiento isotónico rápido. Los ejemplos de ejercicios de velocidad específica son el fortalecimiento resistido manualmente y ejercicios pliométricos y entrenamiento de velocidad. Remitimos a los capítulos 18 y 19 para una exposición exhaustiva del entrenamiento pliométrico y de la velocidad, respectivamente.



FIGURA 22.4 Muestra de progresión de los ejercicios que podrían usarse con jugadores de baloncesto que se recuperan de un esguince de tobillo.

La cadena cinética es la implicación o esfuerzo colectivo de dos o más articulaciones secuenciales para generar movimiento (56). Un ejercicio en **cadena cinética cerrada** es aquel en que la articulación terminal encuentra considerable resistencia que le impide o restringe su libre movilidad (56); es decir, el segmento articular distal es estático. Los ejercicios en cadena cinética cerrada para las extremidades inferiores se han clasificado a menudo como una forma más funcional de ejercicio que los ejercicios en cadena cinética abierta (23, 63), porque la mayoría de las actividades afines al deporte se practican con los pies «fijos» en el suelo y esencialmente no se mueven, proporcionando una base sobre la cual se produce el movimiento (figura 22.5*a*). Los ejercicios en cadena cinética cerrada presentan varias

ventajas, como el aumento de la estabilidad articular y los patrones de movimientos funcionales; durante la actividad deportiva, las articulaciones no se utilizan aisladas, sino que cooperan con las articulaciones adyacentes y la musculatura circundante. Aunque los ejercicios en cadena cinética cerrada se suelen considerar como ejercicios para las extremidades inferiores, también existen ejercicios en cadena cinética cerrada para las extremidades superiores (figura 22.5*b*) (35, 69).

Un ejercicio en **cadena cinética abierta** emplea una combinación de articulaciones ordenadas en sucesión donde la articulación terminal tiene libertad para moverse; los ejercicios en cadena cinética abierta permiten una mayor concentración en el músculo o articulación aislados (23). Un ejemplo es el ejercicio de extensión de piernas (rodillas), durante el cual se permite a los pies y las piernas moverse con libertad (figura 22.6). La extensión de las piernas permite una mayor concentración en el cuádriceps en la articulación de la rodilla; en comparación, las sentadillas, que también recurren a los músculos cuádriceps y la articulación de la rodilla, dependen también de la actividad muscular en las articulaciones de la cadera y los tobillos (figura 22.5*a*). Aunque los ejercicios en cadena cinética cerrada se consideren a menudo más funcionales, la mayoría de las actividades implican movimientos en cadena cinética cerrada y abierta. En los esprines, por ejemplo, mientras una extremidad inferior está en el suelo (cadena cinética cerrada), la otra está en el aire (cadena cinética abierta), lo cual significa que ambos tipos de movimiento pueden ocurrir simultáneamente (figura 22.7). En algunas situaciones, un ejercicio en cadena cinética abierta puede ser, por tanto, una opción igualmente apropiada.



FIGURA 22.5 Ejercicios en cadena cinética cerrada: (*a*) sentadillas (movimiento descendente), y (*b*) flexiones de brazos.



FIGURA 22.6 Ejemplo de un ejercicio en cadena cinética abierta: Extensión de piernas (rodillas).



FIGURA 22.7 Los esprines son un ejemplo de movimiento simultáneo en cadena cinética abierta y cerrada.

Metas y estrategias de la rehabilitación y el reacondicionamiento físico

Aunque los programas de rehabilitación y reacondicionamiento físico se deben individualizar, la siguiente es una lista de metas y estrategias generales para cada fase.

Fase de respuesta inflamatoria

- Prevención de nuevos daños en el tejido o de una inflamación prolongada mediante reposo relativo y modalidades pasivas de ejercicio.
- Mantenimiento de la función de los sistemas cardiorrespiratorio y neuromusculoesquelético circundante.
- Ningún ejercicio activo para la zona dañada.

Fase de reparación fibroblástica

- Prevención de una excesiva atrofia muscular y deterioro articular de la zona lesionada.
- Mantenimiento de la función de los sistemas neuromusculoesquelético y cardiorrespiratorio.
- Posibles opciones de ejercicio:
  - Ejercicio submáximo isométrico, isocinético e isotónico.
  - Actividades de entrenamiento del equilibrio y la propiocepción.

Fase de maduración y remodelación

- Optimización de la función tisular.
- Carga progresiva de los sistemas neuromusculoesquelético y cardiorrespiratorio según esté indicado.
- Posibles opciones de ejercicio:
  - Fortalecimiento del ángulo articular específico.
  - Actividad muscular a velocidad específica.
  - Ejercicios en cadena cinética cerrada y abierta.
  - Actividades de entrenamiento de la propiocepción.

Los ejercicios pensados para mejorar el control neuromuscular, que se introdujeron durante la fase de reparación, deben continuar siendo apropiados y avanzar durante la fase de maduración y remodelación. Las metas y estrategias de la rehabilitación y el reacondicionamiento físico se resumen en el cuadro.

Diseño de programas

El área en la que los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico más pueden contribuir al proceso de rehabilitación y reacondicionamiento físico es la provisión de programas de entrenamiento aeróbico y con resistencia pensados para atletas lesionados. Su experiencia al prescribir ejercicio para atletas sanos confiere a los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico la capacidad de adaptar correctamente los programas de entrenamiento a quienes se recuperan de una lesión. Aunque

existen protocolos para la prescripción de ejercicio tras una lesión, muchos no incorporan variables para el diseño de programas para deportes específicos; los mismos principios usados para diseñar programas de entrenamiento aeróbico y con resistencia se deben aplicar durante la rehabilitación y el reacondicionamiento físico.

Entrenamiento con resistencia

Se han desarrollado varios programas para ayudar al diseño de programas de entrenamiento resistido (9, 12, 29, 57, 73) y se ha abogado por el uso de muchos de estos programas en el marco de la rehabilitación (9, 29, 36, 42, 73). Tanto los programas de De Lorme (9) como de Oxford (73) usan tres series de 10 repeticiones con un diseño de tipo piramidal. El programa de De Lorme avanza de resistencia ligera a pesada. La serie inicial implica 10 repeticiones al 50% de 10RM del atleta; la segunda serie aumenta la resistencia al 75% de las 10RM, y la serie final exige el 100% de las 10RM (9, 10). El sistema Oxford (73) es el inverso al sistema de De Lorme; es decir, pasa de grandes resistencias a una resistencia ligera. La primera serie se practica al 100% de las 10RM del atleta; la segunda, al 75% de las 10RM, y la tercera, al 50% de las 10RM (73).

El sistema de **ejercicio de resistencia progresiva ajustable diariamente (ERPAD)** requiere y permite una mayor manipulación de la intensidad y el volumen que los sistemas de De Lorme y de Oxford (9, 10, 73); el sistema ERPAD contiene cuatro series, oscilando las repeticiones entre diez y posiblemente solo una durante la serie final. La primera serie requiere 10 repeticiones al 50% de 1RM estimada, y la segunda, 6 repeticiones al 75% de 1RM estimada. La tercera serie del ERPAD exige el máximo número de repeticiones al 100% de 1RM estimada; el número de repeticiones practicadas durante la tercera serie determina el ajuste que se debe hacer en la resistencia para la cuarta serie (tabla 22.2). Los protocolos y sistemas de De Lorme, Oxford y Knight han demostrado aumentar la fuerza muscular (10, 30, 36, 42, 73) y tal vez sean apropiados cuando se están diseñando programas de rehabilitación con entrenamiento resistido. No obstante, los atletas precisan programas de rehabilitación y reacondicionamiento físico adaptados a las exigencias de sus respectivos deportes. Aunque estos protocolos (10, 30, 73) sean programas de fortalecimiento, tal vez sean demasiado estrictos como para permitir la individualización de atletas de

distintos deportes.

Los programas para los tejidos dañados y sanos de un atleta lesionado requieren los mismos principios básicos para su diseño que se vieron en el capítulo 17. Según el principio de las adaptaciones específicas a las exigencias impuestas (AEEI), el sistema se adaptará a las exigencias que se le impongan. Por lo tanto, el objetivo del entrenamiento (adaptación específica) debe dictar el diseño del programa de entrenamiento resistido (exigencias impuestas). Por ejemplo, durante la fase de remodelación de la rehabilitación femororrotuliana de un maratoniano lesionado, se deben entrenar sus músculos cuádriceps con énfasis en la tolerancia muscular. Por ello, el atleta tiene que practicar muchas repeticiones de los ejercicios de rehabilitación con el fin de preparar los músculos para las exigencias de este deporte de fondo. Por el contrario, un halterófilo olímpico con la misma lesión en proceso de rehabilitación precisa menos repeticiones de alta intensidad de ejercicios de rehabilitación y reacondicionamiento durante las etapas finales de la fase de remodelación a fin de preparar los músculos para las exigencias de potencia de este deporte. Remitimos a la tabla de aplicaciones para ver un ejemplo con el que comparar las estrategias de rehabilitación para estos dos atletas.

Entrenamiento aeróbico y anaeróbico

Aunque los estudios de investigación todavía tengan que definir un programa de entrenamiento aeróbico óptimo para su aplicación en el marco de la rehabilitación, se suele aceptar que el programa debería imitar en la medida de lo posible las exigencias metabólicas y deportivas específicas. El especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico, con estudios sobre el diseño y la aplicación de ejercicios de acondicionamiento a atletas sanos, es el miembro ideal del equipo de medicina del deporte para prescribir y supervisar la parte de entrenamiento aeróbico del programa de reacondicionamiento físico del atleta lesionado. Al igual que sucede con el programa de entrenamiento resistido, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe contemplar las exigencias que ese deporte impone al atleta lesionado. Teniendo en mente esas exigencias y las contraindicaciones de la lesión, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico puede usar las pautas para la prescripción de los capítulos 17 y 20 a fin de crear un programa apropiado de entrenamiento que permita una vuelta sin complicaciones a la competición.

Pensemos una vez más en la rehabilitación de una lesión femororrotuliana de un maratoniano, un luchador y un halterófilo olímpico; las exigencias de energía metabólica de su rehabilitación y reacondicionamiento físico son muy distintas. En el caso de los objetivos del maratoniano, la capacidad aeróbica es mucho más importante y se debe abordar de inmediato. Las exigencias metabólicas del luchador implican una combinación de los sistemas aeróbico y anaeróbico; por tanto, el entrenamiento por intervalos es más apropiado (16). En contraste, el programa del halterófilo olímpico se centrará en mantener la capacidad anaeróbica. La selección del medio apropiado para el entrenamiento depende de la región del cuerpo lesionada. Pese a que la especificidad del entrenamiento es importante, las mejoras en la capacidad para el ejercicio se pueden conseguir mediante ejercicios con otras regiones del cuerpo (es decir, ejercicio para las extremidades superiores con el fin de mejorar el consumo de oxígeno) (61). Existen diversas opciones para modificar el entrenamiento aeróbico y anaeróbico, como el ergómetro de brazos, correr en agua profunda, pedaleo con las extremidades inferiores y bicicletas elípticas. Las estrategias para mantener la capacidad cardiorrespiratoria se pueden aplicar pronto, incluso durante la fase de respuesta inflamatoria. Como ya se ha subrayado, es importante recordar que, para lograr una curación óptima, se debe intentar reducir inicialmente al mínimo el esfuerzo de los tejidos en proceso de curación, si bien es posible aplicar esfuerzos relevantes en las áreas sanas. Un ejemplo sería el de un futbolista con una lesión aguda en la rodilla derecha.

TABLA 22.2 Ajustes de la resistencia para el protocolo de ejercicio de resistencia progresiva ajustable a diario (ERPAD)

Número de repeticiones durante la serie 3	Resistencia ajustable para la serie 4	Resistencia para la siguiente sesión de ejercicio
0-2	−2,3 kg a 4,5 kg	−2,3 a 4,5 kg
3-4	−0 a 2,3 kg	Igual resistencia
5-6	Igual resistencia	− 2,3 kg a 4,5 kg
7-10	− 2,3 kg a 4,5 kg	− 4,5 kg a 6,8 kg
11	− 4,5 kg a 6,8 kg	− 4,5 kg a 9 kg

Aplicación de los principios del diseño a programas de entrenamiento resistido durante la rehabilitación y

reacondicionamiento físico de una lesión femororrotuliana

Fase de la curación	Variable del diseño	ATLETA	
		Maratoniano	Halterófilo olímpico
Fase de respuesta inflamatoria	Metas y ejercicios	• Ninguno con actividad del cuádriceps: es necesario el reposo relativo de esta área para reducir la inflamación • Mantenimiento de la fuerza y resistencia musculares de las áreas adyacentes (es decir, extensores de cadera, flexores de rodilla y flexores plantares) • Mantenimiento de la capacidad cardiorrespiratoria	• Ninguno con actividad del cuádriceps: es necesario el reposo relativo de esta área para reducir la inflamación • Mantenimiento de la fuerza y resistencia musculares de las áreas adyacentes (es decir, extensores de cadera, flexores de rodilla y flexores plantares) • Mantenimiento de la fuerza y potencia musculares del hemicuerpo superior
Fase de reparación fibroblástica	Metas y ejercicios	• De ejercicios isométricos de fortalecimiento del cuádriceps a extensión completa de la rodilla (progreso a múltiples ángulos) • Progreso a ejercicios isotónicos indoloros de fortalecimiento del cuádriceps (tras consulta con el equipo de medicina del deporte) • Prosigue el ejercicio de áreas adyacentes • Prosigue el ejercicio aeróbico; tal vez bicicleta estática o escalador (por recomendación del equipo de medicina del deporte)	• De ejercicios isométricos de fortalecimiento del cuádriceps a extensión completa de la rodilla (progreso a múltiples ángulos) • Progreso a ejercicios isotónicos indoloros de fortalecimiento del cuádriceps (tras consulta con el equipo de medicina del deporte) • Prosigue el ejercicio de áreas adyacentes • Prosiguen los ejercicios de la fuerza y potencia musculares del hemicuerpo superior
	Series × repeticiones	2-3 × 15-20	3-4 × 8-10
	Intensidad	Submáxima (≤50% 1RM)	Submáxima (≤50% 1RM)
Fase de maduración y remodelación	Metas y ejercicios	• Inicio de actividades, velocidades y movimientos más específicos del deporte • Vuelta a correr, aumento gradual de la distancia y velocidad según tolerancia • Se suman tijeras y sentadillas (aumento del arco de movilidad de la rodilla)	• Inicio de actividades, velocidades y movimientos más específicos del deporte • Aumento y ajuste de las velocidades de movimiento a las propias de la competición • Se suman peso muerto rumano y sentadillas (aumento del arco de movilidad de la rodilla)
	Series × repeticiones	2-3 × 15-20	4-5 × 3-8
	Intensidad	Progresa a la intensidad máxima (50-75% 1RM)	Progresa a la intensidad máxima (>75% 1RM)

Aunque las opciones para el fortalecimiento de la extremidad inferior derecha quizá sean limitadas inicialmente, se pueden practicar ejercicios con las extremidades superiores, así como con la extremidad inferior izquierda sana (p. ej., sentadilla a una pierna con pesas). El especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico tal vez necesite modificar los ejercicios de la extremidad inferior sana con el fin de asegurarse de que la extremidad

inferior derecha está protegida. Los ejercicios destinados a la extremidad sana pueden mejorar la fuerza muscular de la extremidad afectada (33, 34).

El diseño de programas de la fuerza y el acondicionamiento físico de atletas lesionados requiere que el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico examine las metas de la rehabilitación y el reacondicionamiento físico para determinar el tipo de programa que permitirá el retorno más rápido a la competición.

Por tanto, es importante que los atletas lesionados sigan practicando ejercicios de fuerza y acondicionamiento con las regiones sanas del cuerpo.

Reducción del riesgo de lesiones y recaídas

Además de usar estrategias de acondicionamiento y entrenamiento de la fuerza para la rehabilitación de atletas con lesiones, los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico pueden realizar estudios de investigación para reducir tanto el riesgo inicial de una lesión como el riesgo de recaída después de la misma (49, 58). Se han desarrollado programas estructurados para las extremidades inferiores (15, 17, 21, 48) y superiores (35, 71). Estos programas a menudo son específicos del deporte y tratan factores de riesgo habituales de lesiones.

Las lesiones previas son uno de los factores de riesgo más importantes ante la posibilidad de futuras lesiones en personas activas (19, 47, 54, 59). Los factores de riesgo de lesiones en las extremidades superiores comprenden disminución de la movilidad glenohumeral, discinesia escapular y disminución de la fuerza del hombro (6, 7, 70). El ejercicio de movilidad articular y el Programa de Diez Ejercicios para Lanzadores se suelen usar como un programa estructurado para reducir el riesgo de lesiones en las extremidades superiores (71). Los factores de riesgo de lesiones de las extremidades inferiores comprenden disminución del equilibrio, reducción del control neuromuscular durante los aterrizajes de saltos y disminución de la fuerza muscular de las extremidades inferiores (2, 31, 72). Los programas estructurados para las extremidades inferiores con el fin de reducir el riesgo de lesiones deben ser específicos del deporte y centrarse en el control neuromuscular durante actividades como los aterrizajes de los saltos y los recortes. Dos ejercicios que sirven para reducir el riesgo de lesiones en las extremidades inferiores son la técnica correcta para saltos y aterrizajes durante ejercicios pliométricos (figura 22.8*a*) y las sentadillas a una pierna

para hacer hincapié en la fuerza unilateral (figura 22.8*b*).



FIGURA 22.8 Dos ejercicios para reducir el riesgo de lesión en las extremidades inferiores son: (*a*) la técnica correcta de salto y aterrizaje durante ejercicios pliométricos; (*b, c*) sentadillas a una pierna para potenciar la fuerza unilateral.

Las lesiones previas son uno de los factores de riesgo más sustanciales de sufrir nuevas lesiones en personas activas. Los programas para las extremidades inferiores diseñados para reducir el riesgo de lesiones deben ser específicos de las exigencias del deporte y centrarse en el control neuromuscular requerido durante actividades específicas, como aterrizajes tras los saltos y los recortes y fintas.

Aunque existen programas para reducir el riesgo de lesiones en las extremidades superiores (71), gran parte de los estudios de investigación se han centrado en la prevención de lesiones en las extremidades inferiores, específicamente del ligamento cruzado anterior (LCA). Dos ejemplos de programas estructurados y pensados para reducir el riesgo de lesiones son Sportsmetrics (21) y PEP (*prevent injury and enhance performance*) (39). Aunque con intereses ligeramente distintos, cada uno de estos programas introduce ejercicios y movimientos destinados a abordar los factores de riesgo de lesiones y a reducir las tasas de lesiones de las extremidades inferiores (15, 17, 21, 48). Además, el uso de ejercicios excéntricos ha demostrado reducir el riesgo de lesiones en los músculos isquiotibiales (46, 50).

Una vez se ha vuelto a la práctica deportiva, los individuos tal vez sigan mostrando déficits en la fuerza, la biomecánica y el rendimiento funcional (45, 55). Los déficits se comparan con frecuencia con la extremidad contralateral (37) o con valores normativos (11, 25). Las diferencias laterolaterales en la fuerza y el rendimiento funcional inferiores al 10% tal vez se consideren aceptables (37). La transición entre la rehabilitación supervisada de una lesión y la participación en la actividad sin restricciones es un momento crítico en el que los miembros del equipo de medicina del deporte necesitan estar comunicados para plantear la forma de gestionar los déficits de fuerza y rendimiento.

Conclusión

La rehabilitación y reacondicionamiento eficaces de lesiones deportivas requieren una comunicación eficaz entre los miembros del equipo de medicina del deporte. Todos y cada uno de los miembros desempeñan un papel diferente a la hora de garantizar la recuperación funcional del atleta lesionado; aunque la labor de cada profesional sea diferente, las tareas de todos los miembros del equipo se complementan. Hay que establecer objetivos para cada atleta y diseñar y administrar programas de ejercicios terapéuticos para avanzar según la secuencia de curación tisular. El programa debe ser individual para que haya una vuelta eficaz del atleta a la función normal y al deporte de competición. La temprana rehabilitación para la protección inicial del tejido y su fortalecimiento está más estructurada que las fases posteriores de la rehabilitación; estas últimas permiten la progresión a

actividades funcionales que son específicas del deporte y posición del atleta. El diseño de programas de reacondicionamiento físico para atletas lesionados requiere un cuidadoso estudio de los requisitos del deporte y un profundo conocimiento del proceso de curación y del ejercicio terapéutico.

TÉRMINOS CLAVE

agente físico
asesor
cadena cinética
  abierta
  cerrada
contraindicación
control neuromuscular
contusión
distensión
edema
ejercicio de resistencia progresiva ajustable a diario (ERPAD)
entrenador deportivo
esguince
especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico
fisiólogo del ejercicio
fisioterapeuta
indicación
inflamación
luxación
macrotraumatismo
maduración y remodelación
médico del equipo
microtraumatismo
nutricionista
propiocepción
psicólogo
psiquiatra
remodelación
reparación fibroblástica
respuesta inflamatoria

subluxación
tendinitis
terapeuta físico

PREGUNTAS DE REPASO

(respuestas en la página 657)

1. Todos estos cargos pueden ejercer supervisión médica durante un partido de fútbol universitario EXCEPTO:
   a. Entrenador deportivo.
   b. Médico del equipo.
   c. Especialista titulado en entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico.
   d. Fisioterapeuta deportivo titulado.

2. ¿Cuál de las siguientes lesiones NO suele ser resultado de un uso excesivo?
   a. Fractura por sobrecarga.
   b. Esguince articular de tercer grado.
   c. Tendinitis.
   d. Lesión por microtraumatismo.

3. ¿Cuál de las siguientes NO es una fase de la curación después de una lesión?
   a. Respuesta inflamatoria.
   b. Reacondicionamiento físico-hipertrofia.
   c. Maduración y remodelación.
   d. Reparación fibroblástica.

4. ¿Cuál de los siguientes tipos de actividades es inapropiado durante la fase de respuesta inflamatoria de un esguince del ligamento colateral medial?
   a. Pliometría para las extremidades inferiores.
   b. Fortalecimiento isométrico submáximo del cuádriceps.
   c. Estiramientos de la articulación coxofemoral.
   d. Ergometría de extremidades superiores.

5. Los músculos del manguito de los rotadores actúan de estabilizadores de

la articulación escapulohumeral. Durante la fase de maduración y remodelación de la rehabilitación de una tendinitis del manguito de los rotadores (músculo supraespinoso) de un jugador de baloncesto, ¿qué margen de repeticiones de los ejercicios es el MÁS apropiado para mejorar la resistencia de estos músculos?

a. 3-5.
b. 5-8.
c. 8-12.
d. 12-20.

CAPÍTULO 23

Diseño, distribución y organización de las instalaciones

Andrea Hudy*

A la conclusión del capítulo, el lector:

- Identificará los aspectos del diseño de nuevas instalaciones y sus cuatro fases (prediseño, diseño, construcción y preoperación).
- Distinguirá los aspectos de la modificación de unas instalaciones ya existentes, junto con las diferencias entre el diseño de unas instalaciones nuevas y la modificación o renovación de otras ya existentes.
- Explicará el modo de evaluar las necesidades de un programa deportivo con el fin de diseñar unas instalaciones apropiadas para tal fin.
- Describirá el modo de diseñar las características de unas instalaciones específicas, como la supervisión, la ubicación, los accesos, la altura de los techos, los suelos, los factores ambientales, las instalaciones eléctricas y los espejos.
- Justificará el modo de ubicar y disponer el equipamiento en grupos organizados, creando un mejor flujo de personas por las instalaciones.
- Discernirá las necesidades respecto al mantenimiento y limpieza de las superficies, así como el equipamiento de las instalaciones para el entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico.

* La autora agradece la significativa aportación de Michael Greenwood y Lori Greenwood en la redacción de este capítulo.

Organizar el diseño y la construcción de un centro para el entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico requiere un plan muy bien pensado por un comité de profesionales con experiencia. Este capítulo suministra información sobre las distintas fases de la planificación de unas instalaciones

nuevas, junto con información sobre el diseño y organización de las mismas y sobre el mantenimiento del material deportivo. El capítulo se centra, así mismo, en las fases de construcción o remodelación de las instalaciones. El diseño debe tener en cuenta las necesidades de los programas deportivos, de los atletas y del personal con el fin de que la distribución sea más eficiente.

Aspectos generales del diseño de nuevas instalaciones

Construir unas instalaciones desde los cimientos lleva mucho tiempo y requiere mucha planificación. Una de las primeras cosas que hay que hacer es reunir un comité de profesionales. El comité debe estar integrado por un contratista, un arquitecto, diseñadores, abogados y futuros usuarios de las instalaciones. Al menos uno de los instructores, entrenadores, especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico y otros expertos que trabajarán en el centro deben considerarse posibles miembros del comité para que haya otros puntos de vista que ayuden a un pleno aprovechamiento del espacio y garanticen la seguridad. Este comité ayudará a diseñar el centro además de contemplar los aspectos económicos de la apertura del negocio y las instalaciones. Uno de los retos principales en cuanto al diseño de un centro para el entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico es adaptar las instalaciones a los usuarios. La figura 23.1 presenta las cuatro fases del diseño de un centro nuevo, junto con los principales objetivos de cada fase.

Fase de prediseño

La **fase de prediseño** es el primer paso para construir unas instalaciones nuevas. Esta fase debe consistir en un análisis de las necesidades, un estudio de viabilidad y formación en un plan maestro. Al final de la fase de prediseño, se contrata a un arquitecto acreditado —tal vez mediante un concurso— y se inicia el anteproyecto para las instalaciones.

El **análisis de las necesidades** es el paso en el que los diseñadores y expertos colaboran y determinan las necesidades del programa deportivo (5). Ejemplos de preguntas son: «¿Cuánto espacio se necesita?» y «¿Qué se necesita para ajustarse al espacio adjudicado?» El análisis de las necesidades debe ser acorde con la filosofía del especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico y con el programa atlético. Por ejemplo, si un entrenador programa habitualmente ejercicios pliométricos y prescribe acondicionamiento físico, se debe adjudicar una zona a esas actividades.

La segunda parte de la fase de prediseño recibe el nombre de **estudio de viabilidad**. El estudio de viabilidad debe analizar las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades (el llamado análisis DAFO) (5). El objetivo del estudio de viabilidad es garantizar que la inversión económica dé unos dividendos viables y sostenibles. El estudio de viabilidad también debe tener en cuenta la localización, las fortalezas y debilidades de cualquier idea planteada, y el potencial de desarrollo de los programas deportivos y de entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico. También hay que contemplar las potenciales oportunidades y amenazas de la competición. Esto pasa por una evaluación del mercado con el fin de identificar la mejor oportunidad de entrenar más atletas y con más eficacia, además de analizar cualquier competencia en el mercado objetivo y el crecimiento potencial del centro. El objetivo de este paso del estudio de viabilidad es determinar si el centro deportivo tendrá alguna oportunidad de éxito frente a la competencia.

El **plan maestro** es el plan general de todas las fases del nuevo centro. El plan maestro debe incluir los planos del edificio y de la construcción, el diseño de las instalaciones, información sobre el presupuesto y un plan de operaciones con el que actuar una vez las instalaciones estén completas (5). El plan de operaciones debe consistir en los objetivos a corto y largo plazo que auspiciarán el éxito del centro tanto en el presente como en el futuro. El plan de operaciones también debe contemplar el desarrollo de la plantilla y un plan para el proceso de contrataciones.

El último paso de la fase de prediseño es la contratación de un arquitecto. La selección del arquitecto es crucial para cumplir los objetivos de la administración y los entrenadores. Es importante hacer la elección a partir de una lista de arquitectos que tengan buena reputación y basada en sus obras previas. Si fuese posible, lo mejor es elegir un arquitecto que tenga experiencia previa en la industria del *fitness* y la rehabilitación. Es probable que se escoja mediante un concurso en que se suele optar por el presupuesto más bajo. Los planes de licitación exigen un uso eficiente de las finanzas para que el dinero se gaste en lo que sea más útil para los usuarios de las instalaciones.

Fase de prediseño		Fase de diseño	Fase de construcción		Fase de preoperación	
Análisis de las necesidades	Estudio de viabilidad	Dar punto final al comité	Seguir el plan maestro	Disponer y ubicar el equipamiento	Contratar personal	Establecer un calendario de limpieza
Plan maestro	Contratar arquitecto	Crear un proyecto	Comprobar el avance de la construcción		Asignar tareas	Crear un plan de operaciones

FIGURA 23.1 Fases y objetivos del diseño de nuevas instalaciones.

Fase de diseño

La **fase de diseño** es la segunda fase del proceso de construcción de unas nuevas instalaciones. En la fase de diseño se funden las ideas del comité respecto a la estructura y los elementos de diseño de las instalaciones. Es muy importante contemplar el flujo de personas en el centro al tiempo que se cumplen todas las normas y pautas. El reglamento municipal suele ser muy específico sobre los aspectos del diseño. El departamento de planificación municipal puede proporcionar los reglamentos y pautas del municipio en cuestión.

El primer paso de la fase de diseño es dar por concluido el comité de diseño. Repitamos que el comité debería contar con especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico con experiencia en la producción y diseño de instalaciones de este tipo. Esta es también la fase en la que los diseñadores necesitan trabajar estrechamente con el arquitecto para contar con un proyecto de las instalaciones.

El proyecto y el diseño tienen que considerar las especificaciones sobre el equipamiento. Esto contribuye al flujo de personas por las instalaciones e influirá en la eficacia con la que se muevan las personas de una zona a otra del centro una vez que sea operativo. El flujo de personas es uno de los aspectos más importantes del diseño de las instalaciones. Crear un acceso fácil para la gente tendrá mucha influencia en su funcionalidad y seguridad cuando haya presentes múltiples grupos de atletas al mismo tiempo. El flujo de personas debe permitir también que entrenadores y supervisores tengan una visión clara de toda la planta del edificio. Para facilitar el acceso y para crear espacio con una vista diáfana del centro de la sala, las máquinas más bajas y los percheros de mancuernas se pueden colocar en el centro.

Fase de construcción

La **fase de construcción** es el período de tiempo que transcurre desde el inicio hasta el final de la edificación. Suele ser la fase más larga del proceso. Durante la construcción, el comité tiene que remitirse continuamente al plan maestro para asegurarse de que el proyecto sigue el camino correcto respecto a los objetivos establecidos y el diseño. Mantener el proyecto en marcha en relación con la fecha límite también debe ser una prioridad. El sobrecoste de los retrasos tal vez recaiga en el constructor o el arquitecto si no se cumplen las fechas tope y los propietarios pierden ingresos potenciales. Esta situación suele terminar en un pleito para recuperar dinero, o se reembolsa a los propietarios y se reduce el precio de la licitación inicial.

Fase de preoperación

La **fase de preoperación** conforma los pasos finales antes de que el centro pueda abrir sus puertas. Estos pasos comprenden la decoración interior (repárese en que una buena estética mejora en gran medida la experiencia de los usuarios) y la contratación de personal cualificado. El personal debe contar con unos estudios y titulación mínimos. La Asociación Nacional Atlética Universitaria hace cumplir la legislación que exige que los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico tengan titulación de Especialista en Fuerza y Acondicionamiento Físico. Contratar empleados que sean honrados, trabajadores, leales y entendidos en su materia es crucial para el éxito de todo programa de fuerza y acondicionamiento físico. Durante la fase de preoperación también es importante incluir un plan para la formación continua de la plantilla, lo cual podría consistir en talleres semianuales o en reuniones semanales del personal.

Durante la fase de preoperación es vital crear un plan que facilite la apertura del centro deportivo. Por ejemplo, labores como la limpieza y el mantenimiento se deben delegar semanalmente en el personal. Esto es más sencillo cuando se ha establecido un calendario de limpieza y mantenimiento, y se activa y sigue en cuanto el centro es operativo.

También durante la fase de preoperación se debe crear un plan sobre las tareas administrativas con el fin de organizar el trabajo relacionado con materias como las responsabilidades civiles, y la planificación y la elaboración de presupuestos. Detalles como la elección de un programa informático para la planificación y la delegación de tareas administrativas se

tienen que abordar antes de que abra el centro deportivo.

Instalaciones existentes para el desarrollo de la fuerza y el acondicionamiento físico

Modificar un centro ya existente dedicado a la fuerza y el acondicionamiento físico se parece a diseñar unas instalaciones nuevas, pero ahorrándose el proceso de construir el edificio desde los cimientos. En algunos casos, la modificación de un centro ya existente es un proceso largo. También se puede formar un comité, pero tal vez no se necesiten un contratista y un arquitecto. Un centro ya existente puede requerir un proceso de contratación diferente. A veces los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico continúan trabajando en las mismas instalaciones con independencia del cambio de dueño o administración. Sin embargo, debe seguir prestándose interés a los niveles de profesionalidad, al currículo, las normas y el desarrollo del personal. La figura 23.2 subraya los pasos principales para modificar un centro o unas instalaciones ya existentes.

El especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe evaluar el equipamiento y el material basándose en las necesidades de todos los atletas y equipos que emplean esas instalaciones.

Evaluación de las necesidades de los programas deportivos

Una de las consideraciones más importantes en el proceso de construcción de un centro de entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico son las necesidades y requisitos de los atletas y el programa deportivo. El número de atletas, la filosofía de los entrenadores, la edad de los atletas y su experiencia en el entrenamiento, los calendarios de los atletas y el equipamiento disponible influyen en el diseño de las instalaciones (6). Cuando llega el momento de evaluar dichas necesidades, los diseñadores del centro deben poder responder estas preguntas:

- *¿Cuántos atletas usarán las instalaciones?* Esta es una consideración importante porque el tamaño de las instalaciones influye mucho en el número de atletas que usan el centro al mismo tiempo y en el número total a diario, semanalmente y durante la temporada completa. El

número de atletas también influirá en los horarios y en el flujo de personas si dos o más grupos entrenan simultáneamente. Basándose en regulaciones como las normas contra incendios u otras normas de seguridad y salud laboral, el departamento de urbanismo de la localidad especificará cuántos atletas pueden usar las instalaciones a la vez.

- *¿Cuáles son las metas del entrenamiento de los atletas, entrenadores y administración*? Las metas del entrenamiento de entrenadores y atletas influyen en el equipamiento con que se dota el centro deportivo. Por ejemplo, si un entrenador quiere que los atletas se centren en la pliometría y la agilidad, el centro necesitará contar con una zona (campo) designada para ese propósito. El especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe seguir su filosofía como guía en la elección del material deportivo. Si se va a programar entrenamiento resistido, los soportes de pesas y las plataformas aprovecharán mejor el espacio disponible que los espacios dotados de bancos de pesas, que solo cumplen un propósito.
- *¿Cuál es el perfil demográfico de los atletas?* Este es un dato importante para determinar el material deportivo que se necesita en las instalaciones. ¿Son los usuarios principalmente mayores, jóvenes, hombres, mujeres, estudiantes de instituto, universitarios o profesionales? Un centro en que predominan los usuarios mayores quizá no necesite tantas pesas libres como máquinas de musculación. Cuando predominan equipos o universitarios, la utilización del material deportivo tal vez sea más eficiente si se agrupa en secciones para que múltiples grupos puedan entrenar simultáneamente sin interferir unos con otros.
- *¿Cuál será la experiencia con el entrenamiento de los atletas?* Responder esta pregunta ayudará al especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico a diseñar planes de entrenamiento, lo cual a su vez dictará el equipamiento necesario. El entrenamiento variará de acuerdo con la experiencia del atleta. Los atletas sin experiencia previa en el levantamiento de pesas tal vez hagan más ejercicios con el peso del cuerpo que los de nivel avanzado, que posiblemente levanten más pesas. También es importante evaluar si las necesidades cambiarán con el tiempo y si el material deportivo necesario variará dependiendo de la temporada. Por ejemplo, en el caso de estudiantes de instituto y universidad, los atletas con poca experiencia en levantar pesas tal vez

empiecen a acudir al centro al comienzo del año académico.

- *¿Cómo se organizará el horario de los atletas?* Programar el horario de los atletas o grupos puede ser uno de los aspectos más difíciles cuando se gestiona un centro deportivo. Los horarios de los atletas influyen en el número de miembros del personal, en la distribución del espacio y el diseño de las instalaciones. Si acude más de un grupo al centro a la vez, tiene sentido dividir las instalaciones en secciones para que la coincidencia entre grupos a la hora de usar el equipamiento sea mínima. Los atletas deben acudir al centro siguiendo un horario para que no se presenten todos a la misma hora. Esto ayuda a mantener la relación sugerida entre el número de miembros del personal y el número de atletas, y asegura que haya material deportivo para todos. (Véanse detalles adicionales en el capítulo 24).
- *¿Qué material se tiene que reparar o modificar?* Ningún implemento del centro debe presentar defectos o deterioros como agujeros, cortes o piezas que faltan. Si el cable de una polea está deshilachado o ha sufrido daños, se prohibirá su uso hasta que se haya remplazado. Todo el equipamiento existente se debe reparar o remplazar si está roto. Se debe limpiar con regularidad el equipamiento existente y arreglarse prontamente, o se venderá para aportar fondos para comprar nuevo material. En algunos casos, un implemento está en buen uso pero necesita un accesorio para ponerse al día. Por ejemplo, las máquinas de polea tal vez precisen nuevos accesorios para ser totalmente funcionales.

Primeros pasos	Constituir un comité	Estudio de viabilidad	Análisis de las necesidades
Segundos pasos	Crear un plan de operaciones	Remodelar y/o modernizar	Finalizar el diseño y la decoración
Terceros pasos	Disponer el equipamiento	Crear y programar las tareas de los empleados	Contratar/conservar al personal

FIGURA 23.2 Pasos para modificar unas instalaciones.

Una vez respondidas todas estas preguntas, el proceso de diseñar las instalaciones resulta mucho más sencillo. Lo ideal es que los diseñadores del centro tengan una solución para todos los problemas; así se logrará que haya

un entorno óptimo para el entrenamiento. En realidad, las limitaciones de presupuesto y espacio se cruzan a menudo en el camino. Es importante centrarse en aquello que vaya a influir más en las instalaciones y, teniendo eso en cuenta, iniciar el diseño a partir de ahí. Por ejemplo, carecer de espacio suficiente tendrá más impacto en el ámbito de los entrenamientos y en los horarios que no tener suficientes máquinas especializadas. El espacio mínimo recomendado por atleta son 9,3 m^2.

Diseño de instalaciones para el desarrollo de la fuerza y el acondicionamiento físico

Antes de organizar y colocar el material deportivo, se tiene que tener en cuenta el diseño del centro de entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico, sea nuevo o se haya reformado uno ya existente. El especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe prestar especial atención a la ubicación y acceso al centro, a los aspectos estructurales y funcionales, a los factores ambientales y a la seguridad y la supervisión.

Ubicación

El centro de entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico debería localizarse idealmente en la planta de calle, lejos de las oficinas y las salas para clases colectivas. Esto evitará interrupciones en otras áreas del edificio causadas por la caída de pesas, la música y otros ruidos habituales en los centros de entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico. Si el centro no está en la planta de calle; el suelo debe ser lo bastante estable como para soportar el peso de las máquinas de musculación y las pesas que se dejan caer al suelo. La capacidad para soportar cargas debe ser por lo menos de 488 kg/m^2.

Ubicación del supervisor

La oficina o puesto del supervisor del centro debe ocupar un lugar central donde pueda ver la sala con claridad y los espejos le den la oportunidad de echar un vistazo a todo el mundo. Una opción es que la oficina esté elevada sobre el suelo de la sala de pesas para tener una mejor visión.

Acceso

El centro debe facilitar el acceso a personas con discapacidades, sea mediante una rampa o un salvaescaleras para sillas de ruedas siempre que haya un cambio de altura que supere los 13 mm. La rampa debe contar con 30,5 cm de recorrido por cada 2,5 cm de elevación, y los escalones presentarán una banda antideslizante de superficie rugosa para prevenir que nadie se caiga. Otra opción para personas con discapacidades es una grúa o una plataforma elevadora. Las salas de pesas deben contar con puertas dobles para que las grandes máquinas o cualquier otro equipamiento puedan entrar y salir con facilidad. No obstante, si el vestíbulo es demasiado estrecho, el tamaño de las puertas no supondrá ninguna diferencia (8), motivo por el cual se tendrá que abrir temporalmente alguna pared exterior, o abrir una puerta de garaje, cuando haya que mover el equipamiento.

Altura de los techos

El techo debe tener suficiente altura como para permitir actividades explosivas y saltos. Esto supone tener en cuenta la altura de los atletas más el espacio requerido para los saltos desde un cajón, los saltos verticales y los ejercicios de halterofilia. Una altura recomendada son entre 3,66 y 4,27 metros de altura, suficiente para que los atletas practiquen cómodamente estas actividades (8).

Suelos

Existen varias opciones para los suelos de los centros de entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico. La opción más habitual es algún tipo de suelo de goma y una moqueta antifúngica. Otra opción es césped artificial, que resulta útil cuando se planea que la gente practique ejercicios pliométricos y ejercicios de agilidad y acondicionamiento físico. El césped artificial también es una buena opción para movimientos en el suelo y para el desplazamiento de trineos. Aunque suelen ser más caros, los suelos de goma son más fáciles de limpiar que las moquetas. El suelo de goma se suele vender en rodillos, baldosas y revestimientos de caucho líquido.

Lo ideal es que las plataformas de halterofilia tengan una porción media de madera y otras secciones de caucho. La madera impide que el calzado resbale o se trabe, de modo que el área de madera crea una superficie segura para los

levantamientos y movimientos con pesas.

Factores ambientales

La iluminación del centro debe contar con fuentes de luz natural y artificial. Las luces tendrán entre 50 y 100 lúmenes, dependiendo de la altura de los techos y de la cantidad de luz natural. La luz natural es la luz del sol que penetra por las ventanas. Las ventanas ayudan a que estos centros deportivos parezcan más abiertos y modernos, y los espejos aumentan la cantidad de luz al reflejarla hasta puntos de las salas donde no hay luz natural (2).

Un centro de entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico tiene que mantener una temperatura agradable para entrenar. El sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) tendrá capacidad para calentar y enfriar secciones individuales del centro. La mayoría de las fuentes indican que una temperatura entre 20 °C y 25 °C es buena, sugiriendo muchas que la temperatura óptima oscila entre 22 °C y 25 °C (2, 4). Si en la sala hace demasiado calor o frío, los atletas tal vez no se sientan cómodos y se verá afectada la calidad de su entrenamiento.

La humedad relativa también se debe controlar en los centros de entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico. En cualquier espacio donde se desarrolle alguna actividad física, la humedad relativa no debe superar el 60%. Esto frena la proliferación de bacterias y microbios, y evita la propagación de infecciones y enfermedades (2).

La circulación de personas también es un aspecto importante para el diseño de las instalaciones y el sistema HVAC. Un sistema HVAC, un sistema de renovación del aire y la disposición de ventiladores en el techo aportarán la circulación necesaria. El aire se debe renovar entre 8 y 12 veces por hora para prevenir olores por el aire viciado (4). Si se usan ventiladores, una pauta general son dos a cuatro ventiladores por cada 111,5 m^2). Los ventiladores evitan que el aire se vicie y humedezca, lo cual asegura un mejor entorno para el entrenamiento.

Muchas instalaciones cuentan con sistemas de sonido que ayudan a crear un ambiente que favorece el trabajo duro. Aunque no sea esencial, la música ayuda a los atletas a motivarse y a adquirir ritmo. Dos aspectos importantes al instalar un sistema de sonido son la ubicación y el volumen de los altavoces. La potencia debe ser inferior a 90 decibelios para que los atletas oigan las órdenes e indicaciones (2). Los altavoces deben estar en puntos elevados y en

las esquinas para prevenir daños y para que proyecte el sonido hacia el centro de la sala, para que se distribuya por todas partes por igual.

El ruido de fondo y el ruido excesivo procedente del exterior son otros problemas que hay que considerar. Estos sonidos pueden proceder desde el sistema HVAC hasta las personas del edificio contiguo. En un centro que tenga clases de yoga y danza, se deben insonorizar suelos y paredes para que no llegue mucho ruido a las otras salas del centro. Los suelos de goma absorbente sirven para eliminar el ruido que hace la gente al saltar, correr y dejar caer las pesas (4).

Instalaciones eléctricas

Un centro de entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico suele requerir más enchufes que otros edificios. Algunos enchufes necesitan mayor voltaje para equipamiento de mayor potencia, como los escaladores, las bicicletas elípticas y las cintas de correr. Las instalaciones eléctricas tienen que discurrir bajo el suelo para protegerlas de rayos y subidas de tensión. También se necesitan circuitos con toma de tierra para garantizar la seguridad de los atletas en caso de cortocircuitos eléctricos (1).

Espejos

Los espejos cumplen muchas funciones en los centros de entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico. Sirven de herramienta de aprendizaje si los soportes de las pesas y las plataformas se disponen en la posición correcta, ya que aportan claves visuales inmediatas a los atletas (8). Los espejos también sirven para mejorar la estética de las salas, haciendo que parezcan más grandes al reflejar la luz de las ventanas y de las luces artificiales.

Los espejos deben estar por lo menos a 15 cm de cualquier equipamiento y un mínimo de 51 cm por encima del suelo. El propósito de que estén por encima del suelo es que si las pesas ruedan, botan o se deslizan, no golpeen los espejos ni los rompan. El disco estándar de pesas tiene 46 cm de diámetro, lo cual deja un margen de seguridad de 5 cm a los espejos en el caso de que se caiga un disco cerca del suelo o se apoye contra la pared (8).

Otras consideraciones

Las fuentes para beber son un elemento positivo para los centros de entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico. Deben estar retiradas del área de entrenamiento y no deben interrumpir el flujo de personas. Las fuentes se suelen colocar cerca de la entrada del centro o junto a los baños y los vestuarios.

Los vestuarios también son una buena adición para las instalaciones. Como mínimo, contar con unas duchas en algún punto del edificio hará que sea más cómodo el asearse después de una sesión de entrenamiento. Una buena higiene es importante para prevenir la propagación de infecciones y enfermedades. Aunque no todo el mundo use las duchas o los vestuarios, contar con ellas es un estímulo más para los atletas y es posible que les dé una razón más para esforzarse durante el ejercicio.

Todos los centros deben contar por lo menos con un teléfono accesible también a personas en silla de ruedas. Así se cumple la Ley de ciudadanos discapacitados (ADA); también aporta seguridad en caso de emergencia si la única persona que puede ayudar va en silla de ruedas. Lo ideal es que el teléfono se sitúe delante del centro, dentro o fuera de una oficina, para que el supervisor pueda llamar a los servicios de urgencias lo antes posible tras un accidente (2).

Se usan zonas almohadilladas o barandillas en zonas que requieran protección, como espejos o paneles de yeso. Las barras impiden que se produzcan daños en personas u objetos que caigan y choquen con esas superficies. Las barras también se usan en salas como estudios de yoga y danza. Las personas se pueden sostener con ellas y mantener el equilibrio cuando sea necesario.

Los centros de entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico necesitan un espacio en el que almacenar implementos como material extra, artículos de limpieza, herramientas o material averiado. Los centros más grandes con más equipamiento requieren un almacén más grande que un centro más pequeño. La mayor parte del espacio del almacén es probable que se dedique a guardar equipamiento no utilizado.

Disposición del material deportivo en las instalaciones para el desarrollo de la fuerza y el acondicionamiento físico

Es esencial considerar ciertos requisitos particulares cuando se distribuye

material deportivo sobre el espacio disponible. Se puede crear un plano para visualizar la forma de disponer el equipamiento, sobre todo porque hay recomendaciones de seguridad y eficacia para cada tipo de implementos y cada modo de ejercicio.

Distribución del equipamiento

El equipamiento se debe agrupar en secciones, como una zona de estiramientos y para calentar, otra de agilidad y ejercicios pliométricos, otra de pesas libres, un área aeróbica y otra para máquinas de resistencia. Lo ideal es que las pesas libres y los soportes se organicen a lo largo de la pared y haya pasillos entre las pesas libres y las máquinas de musculación (1). Esto permite una mejor circulación de los atletas por la sala de pesas, previniendo la congestión y aprovechando al máximo el espacio para su uso.

Las máquinas de musculación se pueden alinear en medio de la sala de pesas para crear un pasillo a ambos lados de la sala. Planificar por adelantado y organizar el equipamiento para que se pueda usar en un circuito también ayudará al flujo de los atletas. Las máquinas altas se deben asegurar con pernos al suelo, a una columna o a una pared, de modo que no haya posibilidad de que se vuelquen.

Las máquinas cardiorrespiratorias deben ocupar su propia sección y se deben alinear y organizar de modo que se agrupen las cintas de correr, las bicicletas elípticas, los escaladores y las bicicletas estáticas. Hay que tener en mente que la mayoría de las máquinas funcionan con electricidad y deberán situarse a lo largo de una pared, a menos que haya enchufes en el suelo o en una columna. El equipamiento se dispondrá alejado de los pasillos para reducir al mínimo las posibilidades de que alguien tropiece con el material deportivo o con los cables eléctricos.

Halteras y mancuernas deben estar separadas un mínimo de 91 cm entre sí para permitir el movimiento entre los soportes sin peligro para el levantador o el vigilante. Si se necesita un vigilante (p. ej., junto al soporte), se dejará más espacio para que más de un vigilante tenga acceso al soporte. Los soportes para discos de halteras deben estar próximos a las barras para poder cargarlas, mientras que la distancia entre el material para levantar pesas y los soportes de discos debe ser de 91 cm.

Los soportes para las halteras se alinean junto a una pared a menos que haya una fila de dos soportes con el dorso de los soportes en oposición. En

cualquier caso, debe haber al menos 91 cm de espacio para caminar alrededor de todos los soportes.

Se recurrirá a la visibilidad como guía. Es mejor situar el material más bajo en medio de la sala, de modo que los entrenadores o preparadores físicos puedan ver lo que ocurre en todas partes. El material deportivo más alto se asegurará con pernos a las paredes, preferiblemente en partes de la pared sin ventanas ni espejos.

Flujo de personas

En el flujo de personas influye mucho la ubicación del material deportivo. La mayoría de las instalaciones consisten en una gran sala en la que se pueden crear pasillos colocando el material acertadamente. Como se acaba de mencionar, la mayoría de los soportes de halteras y las máquinas están mejor alineados formando una fila a lo largo de la sala. Así se suelen crear dos o tres pasillos principales de al menos 91 cm de anchura.

La seguridad y la funcionalidad son las principales prioridades en la toma de decisiones sobre la colocación y ubicación del equipamiento en unas instalaciones.

Área de estiramientos y calentamiento

El área de estiramientos y calentamiento es una zona abierta con implementos blandos, bandas elásticas y colchonetas. Esta zona también puede contener rodillos de gomaespuma; cañerías de PVC; pelotas de tenis, pelotas de golf y de béisbol femenino, y quizá también combas. Si es posible, debe haber un espacio despejado de al menos 4,6 m^2 para que los atletas practiquen un calentamiento dinámico (7), así como suficiente espacio para que varias personas usen el área al mismo tiempo. Las colchonetas se emplean en ocasiones para que los atletas no tengan que tumbarse en el suelo, pero su presencia no es obligatoria.

Área del entrenamiento en circuito

Un área de entrenamiento en circuito suele ser un espacio con máquinas alineadas o agrupadas para facilitar que la gente cambie y pase de una máquina a la siguiente. Hay varias formas de agrupar las máquinas. Ejemplos de distintos agrupamientos son máquinas para el hemicuerpo superior y para

el hemicuerpo inferior, para acciones de empuje y acciones de tracción, y en grupos según las distintas zonas del cuerpo. En muchas instalaciones, los atletas lesionados usan las máquinas en circuito para ejercitar partes del cuerpo sanas. Hay que facilitar el acceso de una a otra máquina, y tenerlo en cuenta para que los atletas lesionados se puedan mover con libertad.

Las máquinas para el entrenamiento en circuito deben estar separadas entre sí al menos 61 cm —preferiblemente 91 cm— para dejar suficiente espacio de tránsito y algo adicional por motivos de seguridad, el llamado **colchón de seguridad**. Cualquiera de los pasillos designados del área de entrenamiento en circuito tendrá una anchura de 1,2 a 2,1 m para disponer de suficiente espacio para moverse con libertad (7).

Pesas libres

El equipamiento de pesas libres comprende mancuernas, halteras, bancos, pesas rusas, asas para el paseo del granjero, barras hexagonales, jaulas para sentadillas y cualquier otro equipamiento necesario para usar estos artículos. Como se ha dicho con anterioridad, los soportes y las mancuernas se deben alinear en una pared con suficiente espacio para caminar entre la pared y las pesas, y con al menos 91 cm entre los extremos de las barras colgadas. Esto no solo concede más espacio al personal para limpiar, sino que también previene que las pesas choquen con la pared o los espejos. Las pesas rusas se alinean debajo de un soporte de mancuernas u ocupan su propia sección. Como la mayoría de las actividades con pesas rusas son dinámicas y ocupan mucho espacio, esta sección debe ser amplia.

Área de halterofilia

El área de halterofilia suele contener soportes de halteras con plataformas o una plataforma aislada. Podría ser también un área abierta donde se practican los levantamientos de pesas sin una plataforma. Esto se suele hacer sobre un suelo de goma con base de hormigón. Para mantener todo organizado, los soportes de discos de halteras y los soportes de las barras se pueden utilizar cuando el equipamiento no esté en uso.

Los soportes de pesas y las plataformas deben contar con suficiente espacio entre ellos para que, si alguien se cayese, las personas próximas no resulten heridas, y deben estar separados entre 0,9 y 1,2 metros.

Los soportes de halterofilia deben asegurarse al suelo para que no se

muevan durante su uso. Si un soporte de pesas es portátil, se llevará a la zona de almacenamiento designada cuando no se utilice.

Área de ejercicio aeróbico

El área de ejercicio aeróbico es donde se agrupa el material deportivo para el entrenamiento cardiopulmonar. Este equipamiento consiste en bicicletas estáticas, escaladores, bicicletas elípticas, cintas de correr, remos, etc. En la tabla 23.1 aparecen los requisitos de espacio para el equipamiento aeróbico y el espacio entre elementos (7). Estos requisitos ponen de manifiesto el espacio necesario para cada pieza de material deportivo, además del espacio requerido para moverse y prevenir accidentes causados por caídas y golpes contra el equipamiento.

Organizar un centro comienza por disponer el equipamiento de una forma funcional y segura. Las pautas de este capítulo proporcionan los medios necesarios para distribuir correctamente el material deportivo. Tomar un plano de las instalaciones y bosquejar la disposición de los distintos elementos e implementos sobre el papel ayudará a la colocación final. Las figuras 23.3 y 23.4 casi al final del capítulo muestran ejemplos de la posible organización de una sala de pesas para grupos de instituto y universitarios. Obsérvese el espacio y disposición de los pasillos, así como la organización y agrupamiento del material deportivo. También hay que fijarse en la ubicación de las ventanas y la oficina del supervisor. La tabla 23.2 nos proporciona cálculos para determinar las necesidades de espacio para diversos tipos de equipamiento.

TABLA 23.1 Espacio necesario para el equipamiento aeróbico

Equipamiento	Espacio necesario (m^2)
Bicicletas	2,2
Escaladores	2,2
Máquina de esqu	0,6
Remos	3,7
Cintas de correr	4,2

Fuente: Adaptado, con autorización, de Kroll, 1991 (7).

Limpieza y mantenimiento de superficies y material

deportivo

Las superficies del centro de entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico se deben limpiar constantemente para asegurarse de que el material deportivo sigue siendo seguro y funcional. Su correcto mantenimiento ahorrará dinero a largo plazo, porque los productos de limpieza son más baratos que remplazar los elementos acolchados, el suelo, etc. Los microbios empezarán a proliferar si las superficies no se limpian a fondo con un producto de limpieza que contenga un germicida. El equipamiento que se use con más frecuencia y tenga más posibilidades de que se desarrollen bacterias (p. ej., almohadillado, vinilo) se limpiará a diario o cada dos días. Es importante que el producto de limpieza con germicida que se use en el centro tenga entre sus propiedades la de prevenir la propagación del VIH y la hepatitis. Los suelos no absorbentes se deben fregar con regularidad para eliminar la acumulación de polvo y suciedad. Las plataformas de halterofilia de madera también se deben inspeccionar por si presentasen astillas y rajas, y se limpiarán con un producto apropiado que elimine el polvo y la suciedad que puedan provocar resbalones. Durante la limpieza en la zona de los soportes de pesas y las máquinas de musculación, también se apretarán o revisarán con regularidad los pernos y tornillos que aseguran las máquinas al suelo. Las máquinas con cables y poleas se revisarán con regularidad y se repararán si presentan piezas sueltas o si los cables se están deshilachando. Si el centro cuenta con un suelo de baldosas o rollo de caucho, debería haber espacios mínimos entre las piezas y no debe haber pegamento a la vista que sobresalga entre las juntas. A las moquetas se les debe pasar el aspirador y limpiarse con regularidad para prevenir la aparición de moho, mildéu o la proliferación bacteriana.

Paredes y techos también se deben limpiar al menos una vez por semana o cada dos semanas. No se debe permitir la acumulación de suciedad en paredes y techos, y no debe haber polvo en las esquinas. Las telarañas tienden a formarse en lo más alto de las esquinas donde las paredes se encuentran con el techo y se deben eliminar. Si el centro cuenta con ventanas y espejos, se comprobarán con regularidad por si hubiese grietas o roturas, y se remplazarán en cuanto se descubran fisuras o grietas. La limpieza de las ventanas y los espejos también mejorará la estética de las salas. Se usará un limpiacristales y una toalla de microfibras para no dejar manchas en la superficie. La suciedad y el polvo se pueden acumular en los cantos planos de

todos los elementos fijados a la pared o los complementos que pendan del techo. A todos los alféizares, estanterías y a todo lo que penda del techo se le quitará el polvo con regularidad. Si el material deportivo pende del techo, se comprobará con regularidad que esté bien asegurado y que no haya peligro de que caiga (3). La figura 23.5, casi al final del capítulo, presenta una lista de los suelos, paredes y techos a los que referirse cuando se elabore un calendario de limpieza.

TABLA 23.2 Cálculo de las necesidades de espacio

Área	Ejemplos	Fórmulas
Ejercicios en decúbito prono y supino	*Press* de banca Extensiones de tríceps en decúbito	**Fórmula:** Longitud de la banca de pesas (1,8-2,4 m) + espacio de seguridad de 0,9 m *multiplicado* por un espacio sugerido de los usuarios para una anchura de la banca de pesas de 2,1 m + un espacio de seguridad de 0,9 m
		Ejemplo 1: Si se usa un banco de pesas de 1,8 m de largo para el *press* de banca (1,8 + 0,9 m) × (2,1 + 0,9) = 8,1 m^2
		Ejemplo 2: Si usamos una banca de pesas de 2 m de largo para el ejercicio de *press* de banca (2 m [banca] + 1 m [espacio de seguridad]) × (2 m [espacio del usuario] + 1 m [espacio de seguridad]) = 9 m^2
Ejercicios en bipedestación	Flexiones de bíceps Remo vertical	**Fórmula:** Longitud de la barra (1,2-2,1 m) + un doble espacio de seguridad en anchura de 1,8 m multiplicado por un espacio sugerido de los usuarios para una anchura del ejercicio en bipedestación de 1,2 m
		Ejemplo 1: Si se usa una barra de flexiones de 1,2 m para el ejercicio de flexiones de bíceps (1,2 + 1,8) × (1,2 m) = 3,6 m^2
		Ejemplo 2: Si se usa una barra de flexiones de 1 m para el ejercicio de flexiones de bfceps (1 m [barra] + 2 m [espacio de seguridad]) × (1 m [espacio del usuario]) = 3 m^2
Ejercicios en bipedestación en una jaula	Sentadillas trasnuca *Press* de hombros	**Fórmula:** Longitud de la barra (1,5-2,1 m) + un doble espacio de seguridad en anchura de 1,8 m multiplicado por un espacio sugerido de los usuarios para un ejercicio en bipedestación (jaula de pesas) de 2,4-3 m
		Ejemplo 1: Si se usa una barra olímpica de 2,1 m para el ejercicio de sentadillas trasnuca (1,2 + 1,8) × (3 m) = 9 m^2
		Ejemplo 2: Si se usa una barra olímpica de 2 m para el ejercicio de sentadillas trasnuca (2 m [barra] + 2 m [espacio de seguridad]) × (3 m [espacio del usuario]) = 12 m^2

Área de levantamientos olímpicos	Cargada de fuerza	**Fórmula:** Altura de la plataforma de levantamientos (habitualmente 2,4 m + espacio perimetral de seguridad para caminar de 1,2 m *multiplicado* por la anchura de la plataforma de levantamientos (habitualmente 2,4 m espacio perimetral de seguridad de 1,2 m
		Ejemplo 1: (2,4 m + 1,2 m) × (2,4 m + 1,2 m) = 12,96 m^2
		Ejemplo 2: (2,5 m [plataforma] + 1 m [espacio de seguridad]) × (2,5 m [plataforma] + 1 m [espacio de seguridad]) = 12,25 m^2

La programación con frecuencia de la limpieza y mantenimiento garantiza la seguridad en los entrenamientos, protege la inversión y mantiene la buena apariencia de las instalaciones de entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico.

El mantenimiento debe comprender no solo los materiales para las superficies, sino también el equipamiento deportivo. El equipamiento se debe comprobar por si hubiera partes rotas o dañadas, sobre todo las que afectan a la funcionalidad. Si el equipamiento se usa con frecuencia y no se limpia lo suficiente, se pueden acumular los residuos y provocar problemas de salud o funcionales. El equipamiento que no se pueda utilizar se descartará con un cartel que ponga «Fuera de servicio» (2). Si el arreglo de las máquinas rotas requiriera cierto tiempo, se retirarán y guardarán en el almacén. Al igual que con las superficies, el equipamiento puede terminar costando mucho más si no se mantiene y limpia correctamente.

La lista de verificación de puntos de seguridad de la Asociación Nacional de Fuerza y Acondicionamiento Físico para el mantenimiento del equipo y el centro deportivo (figura 23.6) es útil para determinar las necesidades de mantenimiento del equipamiento del centro. Debe haber un calendario de limpieza que especifique el equipamiento que se limpiará a diario, cada semana, cada dos semanas o mensualmente. La lista de verificación también tocará temas sobre la distribución de las instalaciones, especialmente las que guarden relación con la seguridad.

Los productos para la limpieza y el mantenimiento se mantendrán en el almacén o en un armario. Si es posible, los productos de limpieza deben estar bajo llave y usarse solo cuando sea necesario. Todas las herramientas se deben guardar en una caja, que se guardará fuera de la vista de la sala de pesas. Las herramientas y productos de limpieza también deben constar en inventario y reponerse. En la tabla 23.3 aparece una lista de los suministros

de limpieza y mantenimiento del material deportivo.

TABLA 23.3 Equipamiento y material para el mantenimiento y la limpieza

Equipamiento de mantenimiento	Material de limpieza
Lima	Desinfectante (germicida)
Martillo	Limpiadores especiales (madera, paredes, tapicería, etc.)
Alicates	Limpiacristales
Destornilladores	Lubricantes
Juego de llaves inglesas	Toallas de papel
Navaja	Pulverizadores
Grapadora	Toallas y trapos
Cinta adhesiva	Esponjas
Tuercas, tornillos y arandelas de repuesto	Escobas y recogedores
Pegamento extrafuerte	Aspirador
Taladradora y juego de taladros	Cubo y fregona
Pinzas de presión	Quitamanchas

Conclusión

El diseño de un centro de entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico es un proceso largo de diseño y planificación. El proceso comienza con la formación de un comité que ayudará a la construcción y diseño de las instalaciones. El siguiente paso implica evaluar las necesidades del programa deportivo. Esta es la fase en que se determina el número de atletas, la experiencia de los atletas con el entrenamiento, las necesidades de los entrenadores, los calendarios y las necesidades de equipamiento. Una vez hechas estas determinaciones, debe empezar el proceso de diseño de las instalaciones y la disposición del material deportivo y las máquinas de musculación. Se debe tener cuidado y seguir las pautas para ese cometido.

Una vez completo el proceso de diseño, las instalaciones y el equipamiento se deben mantener y cuidar correctamente para garantizar la seguridad del entrenamiento y proteger la inversión. El mantenimiento y limpieza

habituales del equipamiento y las superficies son vitales para la longevidad de las instalaciones. La limpieza y mantenimiento se deben centrar sobre todo en el equipamiento que se utilice con más frecuencia. Esto ayudará a prevenir la propagación de infecciones entre los usuarios, además de favorecer una correcta higiene y mantener la estética del centro.

TÉRMINOS CLAVE

análisis de las necesidades
colchón de seguridad
estudio de viabilidad
fase
  de construcción
  de diseño
  de prediseño
  de preoperación
plan maestro

PREGUNTAS DE REPASO

(respuestas en la página 657)

1. ¿Cuál es el orden de las cuatro fases del diseño de unas nuevas instalaciones de fuerza y acondicionamiento físico?
   a. Construcción, prediseño, diseño, preoperación.
   b. Preoperación, diseño, construcción, prediseño.
   c. Prediseño, construcción, diseño.
   d. Prediseño, diseño, construcción, preoperación.

2. ¿En cuál de las siguientes fases se debe crear un plan de operaciones?
   a. Fase de prediseño.
   b. Fase de diseño.
   c. Fase de construcción.
   d. Fase de preoperación.

3. ¿Cuál es la distancia mínima recomendada entre el suelo y la base de los espejos en las paredes?
   a. 41 cm.
   b. 46 cm.

c. 51 cm.
d. 56 cm.

4. ¿Cuál de las siguientes NO es una consideración clave al determinar los requisitos de espacio de unas instalaciones universitarias para la fuerza y el acondicionamiento físico?
   a. Accesibilidad de los atletas.
   b. Cantidad y tipo de equipamiento.
   c. Número de atletas que usan las instalaciones.
   d. Número de equipos deportivos que desean usar las instalaciones.

5. ¿Cuál es el espacio mínimo recomendado entre los extremos de los soportes para que los vigilantes tengan espacio?
   a. 30 cm.
   b. 61 cm.
   c. 91 cm.
   d. 123 cm.

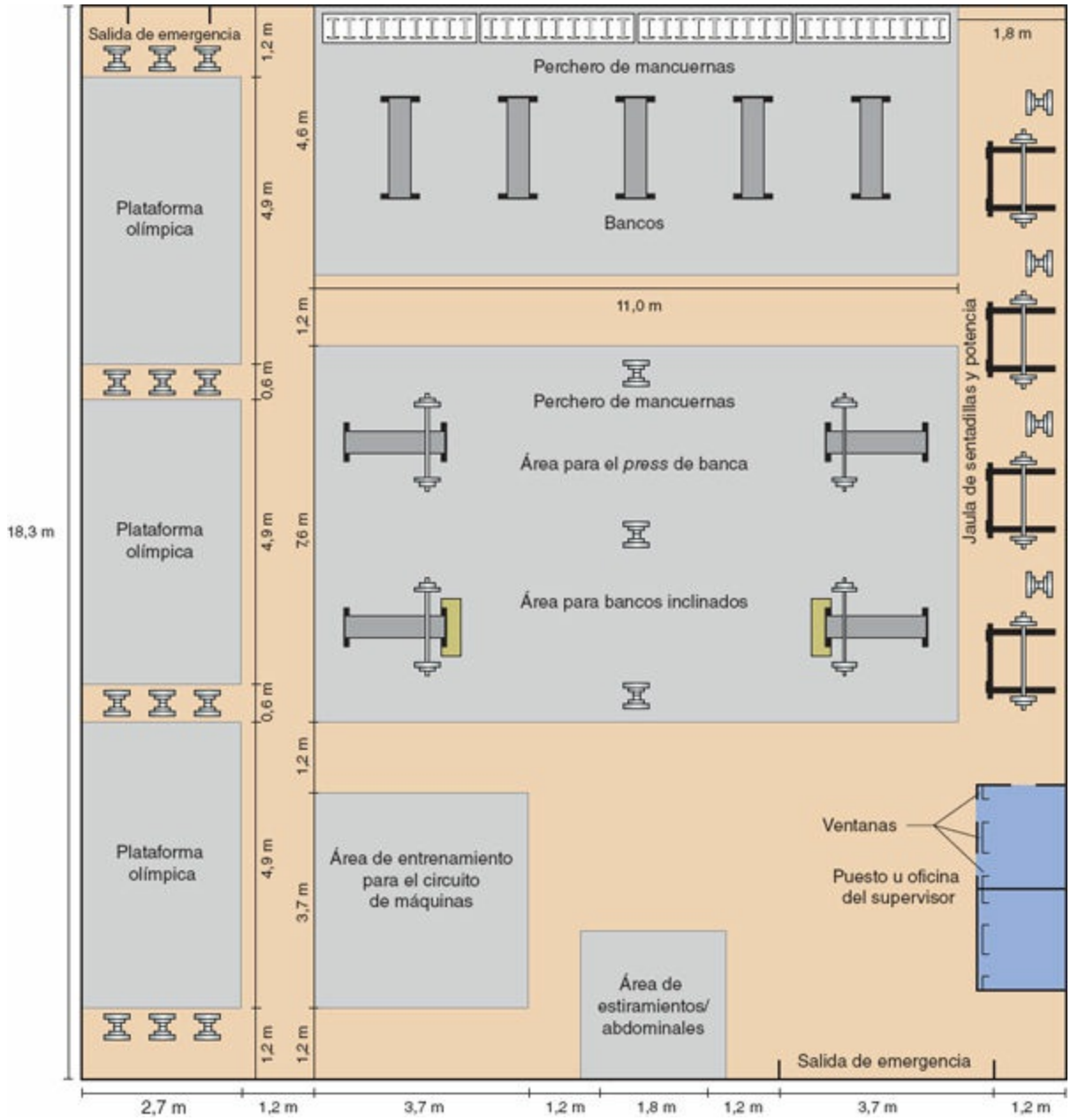


FIGURA 23.3 Ejemplo de plano de unas instalaciones para el entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico de un instituto.

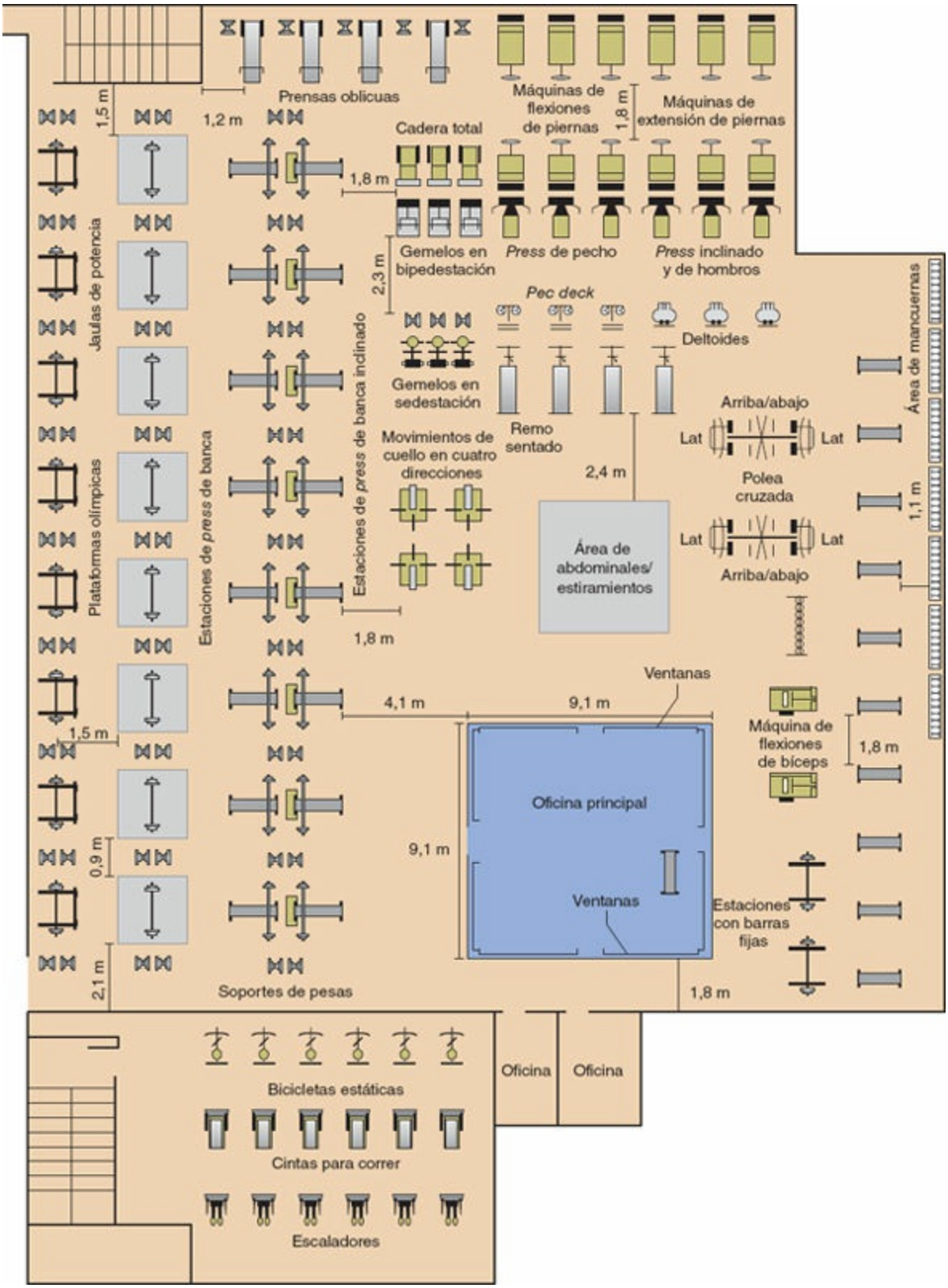
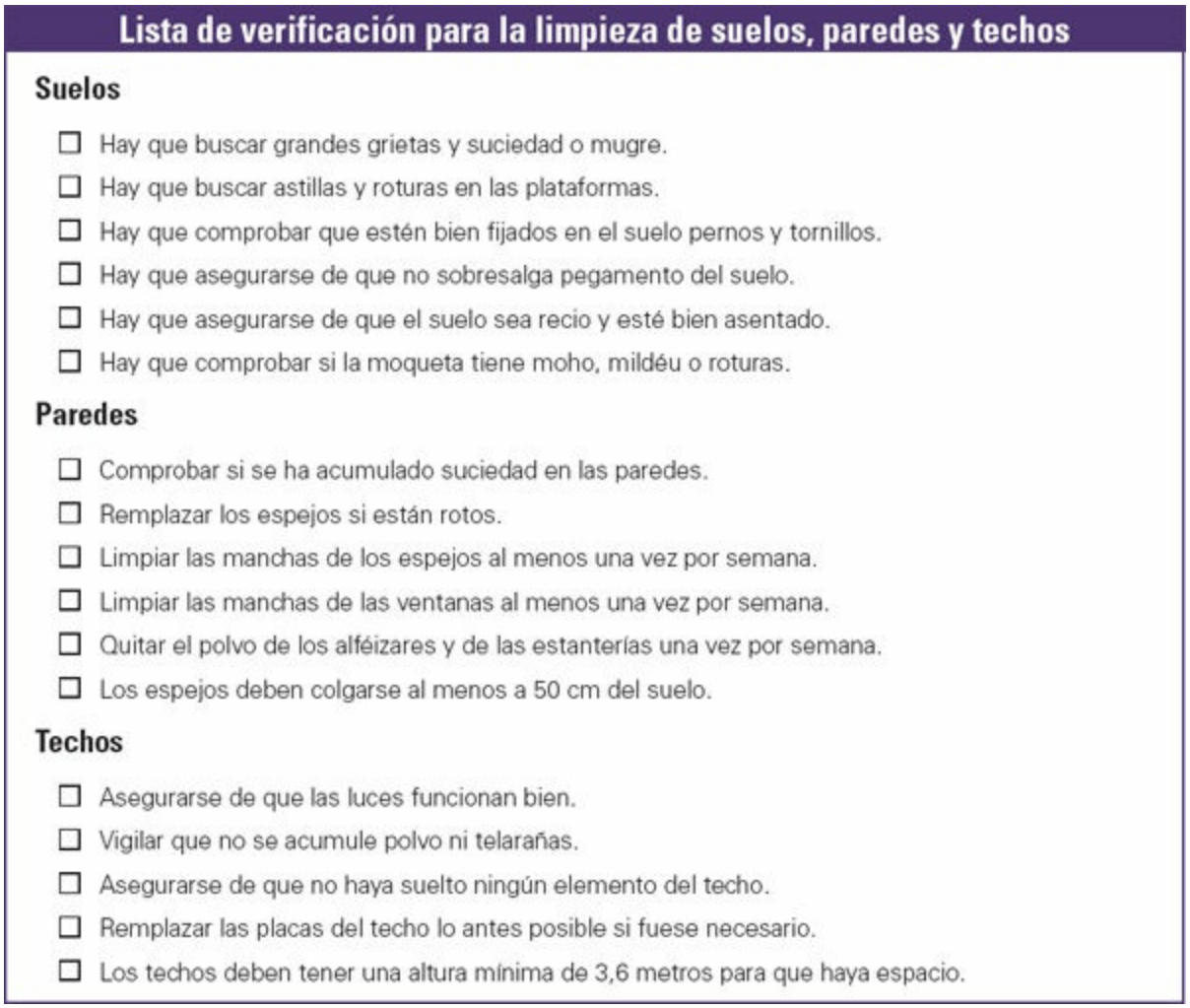


FIGURA 23.4 Ejemplo de plano de unas instalaciones para el entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico de una universidad.



Lista de verificación para la limpieza de suelos, paredes y techos

Suelos

- ☐ Hay que buscar grandes grietas y suciedad o mugre.
- ☐ Hay que buscar astillas y roturas en las plataformas.
- ☐ Hay que comprobar que estén bien fijados en el suelo pernos y tornillos.
- ☐ Hay que asegurarse de que no sobresalga pegamento del suelo.
- ☐ Hay que asegurarse de que el suelo sea recio y esté bien asentado.
- ☐ Hay que comprobar si la moqueta tiene moho, mildéu o roturas.

Paredes

- ☐ Comprobar si se ha acumulado suciedad en las paredes.
- ☐ Remplazar los espejos si están rotos.
- ☐ Limpiar las manchas de los espejos al menos una vez por semana.
- ☐ Limpiar las manchas de las ventanas al menos una vez por semana.
- ☐ Quitar el polvo de los alféizares y de las estanterías una vez por semana.
- ☐ Los espejos deben colgarse al menos a 50 cm del suelo.

Techos

- ☐ Asegurarse de que las luces funcionan bien.
- ☐ Vigilar que no se acumule polvo ni telarañas.
- ☐ Asegurarse de que no haya suelto ningún elemento del techo.
- ☐ Remplazar las placas del techo lo antes posible si fuese necesario.
- ☐ Los techos deben tener una altura mínima de 3,6 metros para que haya espacio.

FIGURA 23.5 Lista de verificación para la limpieza de suelos, paredes y techos.

Fuente: Haff, G., y Triplett, T. (eds.) (2016). NSCA, *Essentials of strength training and conditioning*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Lista de seguridad de la NSCA para el mantenimiento del material deportivo y las instalaciones

Instalaciones deportivas

Suelo

- ☐ Inspección y limpieza diarias.
- ☐ Los suelos de parqué deben estar libres de astillas, agujeros, clavos que sobresalgan y tornillos sueltos.
- ☐ Las baldosas de los suelos serán antideslizantes; no se dejará que se acumule la humedad ni el magnesio.
- ☐ Los suelos de caucho estarán limpios de cortes, rendijas y huecos amplios entre placas.
- ☐ Las moquetas deben estar bien seguras y montadas sin que sobresalgan las presillas.
- ☐ Las moquetas no absorbentes no deben presentar desgarros; las áreas de mayor desgaste se protegerán con colchonetas de caída.
- ☐ El área se debe barrer, pasar el aspirador o fregar con regularidad.
- ☐ El solado tiene que estar firmemente unido al suelo.

Paredes

- ☐ Las paredes se limpiarán dos o tres veces por semana (o con más frecuencia si fuera necesario).
- ☐ Las paredes de las zonas de mucha actividad tienen que estar limpias, sin aparatos, material deportivo ni colgantes que sobresalgan.
- ☐ Espejos y estanterías estarán fijos con seguridad a las paredes.
- ☐ Espejos y ventanas se limpiarán con regularidad (sobre todo en áreas de mucha actividad, como en las zonas donde haya fuentes para beber y alrededor de las puertas).
- ☐ Los espejos se deben colgar al menos a 50 cm del suelo en todas las áreas.
- ☐ Los espejos no pueden estar rotos ni reflejar imágenes distorsionadas (se remplazarán de inmediato si están dañados).

Techo

- ☐ Se quitará el polvo con regularidad a todos los elementos colgantes o unidos al techo.
- ☐ Las placas del techo se mantendrán limpias.
- ☐ Se remplazarán las placas del techo dañadas o que falten.
- ☐ Los techos abiertos con tuberías y conductos a la vista se limpiarán siempre que sea necesario.

Material deportivo

Área de estiramientos y ejercicios con el peso del cuerpo

- ☐ El área de moqueta estará libre de bancos de pesas y material deportivo.
- ☐ Las moquetas y el tapizado de los bancos no presentarán grietas ni roturas.
- ☐ No debe haber grandes huecos entre las colchonetas de estiramientos.
- ☐ El área se debe barrer y desinfectar a diario.
- ☐ El material deportivo se guardará ordenadamente después de su uso.

(continúa)

(continuación)

- ☐ Las cuerdas elásticas estarán aseguradas por la base con nudos de seguridad y se comprobará su integridad y desgaste.
- ☐ Las superficies en contacto con la piel se tratarán a diario con agentes antifúngicos y antibacterianos.
- ☐ La superficie superior y la base de los cajones de los ejercicios pliométricos se forrarán con material antideslizante.
- ☐ La altura de los techos debe ser suficiente para hacer ejercicios por encima de la cabeza (3,7 m mínimo) y despejados de aparatos que cuelguen a baja altura (vigas, tuberías, luces, letreros, etc.).

Área de entrenamiento resistido con máquinas

- ☐ Fácil acceso a las estaciones (con un mínimo de 61 cm entre máquinas; 91 cm es lo óptimo).
- ☐ El área tiene que estar libre de pernos, tornillos, cables y cadenas.
- ☐ Correcto uso de las clavijas reguladoras del peso o la resistencia.
- ☐ Asegurarse de que los velcros funcionen bien.
- ☐ Las piezas y superficies deben estar correctamente lubricadas y limpias.
- ☐ Las almohadillas protectoras deben estar libres de grietas y roturas.
- ☐ Las superficies en contacto con la piel se tratarán a diario con agentes antifúngicos y antibacterianos.
- ☐ No habrá tornillos o piezas sobresalientes que necesiten apretarse o retirarse.
- ☐ Los cinturones, cadenas y cables estarán alineados con la maquinaria.
- ☐ No debe haber partes deterioradas (cable deshilachado de una polea, cadenas sueltas, pernos gastados, junturas agrietadas, etc.).

Área de entrenamiento resistido con pesas libres

- ☐ Fácil acceso a las áreas o bancos (con un mínimo de 61 cm entre máquinas; 91 cm es lo óptimo).
- ☐ Las barras olímpicas deben estar correctamente espaciadas (91 cm entre los extremos).
- ☐ Todo el material se devolverá a su sitio tras su uso para que no obstaculice las vías de paso.
- ☐ El equipo de seguridad (cinturones, collarines, barras de seguridad) se usará y se devolverá a su sitio.
- ☐ Las almohadillas protectoras deben estar libres de grietas y roturas.
- ☐ Las superficies en contacto con la piel se tratarán a diario con agentes antifúngicos y antibacterianos.
- ☐ Se asegurarán con firmeza los pernos y piezas de los aparatos (collarines, barras en Z).
- ☐ Las colchonetas y el suelo de la jaula de sentadillas serán antideslizantes.
- ☐ Las barras olímpicas deben girar correctamente y estar bien ajustadas y lubricadas.
- ☐ Los bancos, soportes de pesas, postes y similares estarán asegurados al suelo o la pared.
- ☐ El equipamiento roto o que no funcione se retirará de la sala y se guardará en un sitio seguro.
- ☐ La altura de los techos debe ser suficiente para hacer ejercicios por encima de la cabeza (3,7 metros como mínimo) y despejados de aparatos que cuelguen a baja altura (vigas, tuberías, luces, letreros, etc.).

Área de halterofilia

- ☐ Las barras olímpicas estarán separadas correctamente (91 cm entre los extremos).
- ☐ Se devolverá todo el material deportivo después de su uso para evitar obstaculizar el área de levantamientos.
- ☐ Las barras olímpicas deben girar correctamente y estar bien ajustadas y lubricadas.
- ☐ Se remplazarán las barras olímpicas dobladas; se limpiarán de suciedad los mangos rugosos.

(continúa)

(continuación)

- ☐ Los collarines deben funcionar bien.
- ☐ Habrá suficiente magnesio.
- ☐ Habrá disponibles muñequeras, rodilleras y cinturones de halterofilia, que funcionen bien y estén bien guardados.
- ☐ Los bancos, sillas y cajones se mantendrán a distancia de la zona de levantamientos.
- ☐ Las colchonetas no deben presentar huecos, cortes, rajas ni divisiones.
- ☐ El área se barrerá y fregará correctamente para eliminar astillas y magnesio.
- ☐ La altura de los techos debe ser suficiente para hacer ejercicios por encima de la cabeza (3,7 metros como mínimo) y despejados de aparatos que cuelguen a baja altura (vigas, tuberías, luces, letreros, etc.).

Área de ejercicio aeróbico

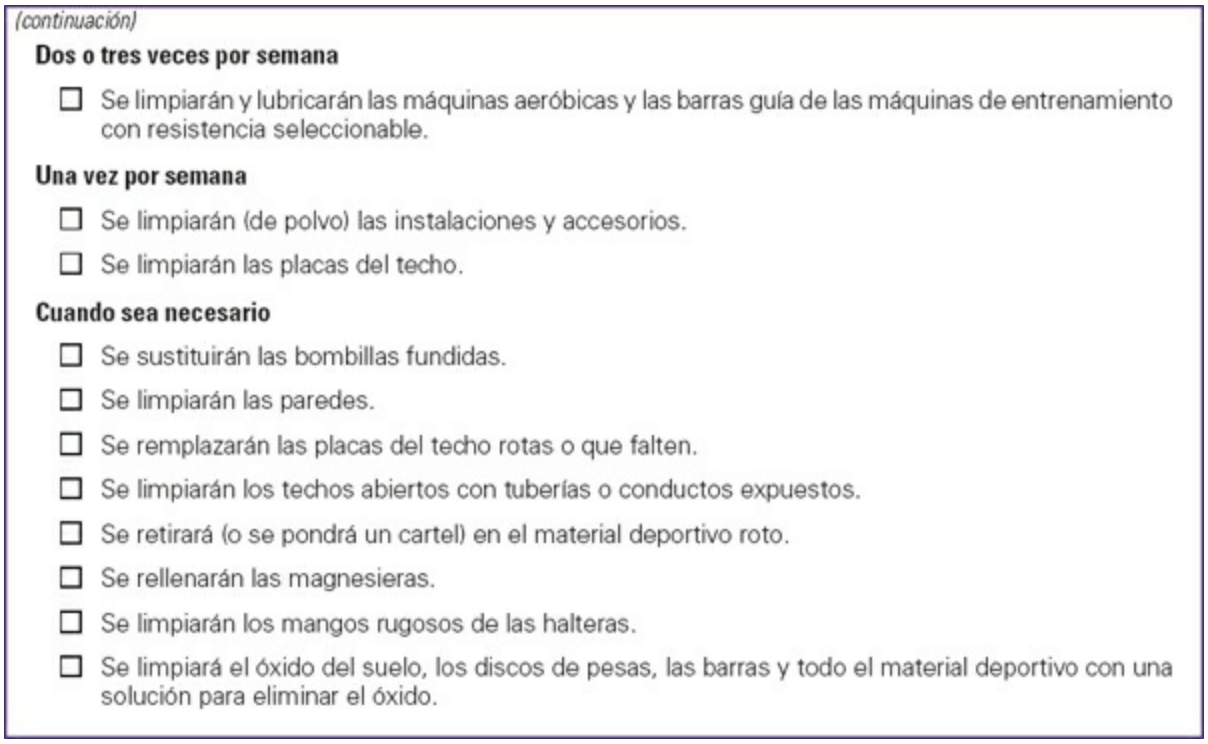
- ☐ Fácil acceso a las estaciones (separación mínima de 61 cm entre máquinas; 91 m es la distancia óptima).
- ☐ Los pernos y tornillos deben estar bien asegurados.
- ☐ Las partes en funcionamiento se ajustarán con facilidad.
- ☐ Las piezas y superficies estarán correctamente lubricadas y limpias.
- ☐ Se vigilará la seguridad de las correas para los pies y el cuerpo y que no presenten roturas.
- ☐ Se comprobará el correcto funcionamiento de los aparatos de medición de la tensión, el tiempo y las revoluciones por minuto.
- ☐ Las superficies en contacto con la piel se tratarán a diario con agentes antifúngicos y antibacterianos.

Frecuencia del mantenimiento y las tareas de limpieza

A diario

- ☐ Se inspeccionarán todos los suelos por si hubiera daños o desgaste.
- ☐ Se limpiarán (barrer, pasar el aspirador y fregar y desinfectar) todos los suelos.
- ☐ Se limpiará y desinfectará la tapicería.
- ☐ Se limpiarán y desinfectarán las fuentes para beber.
- ☐ Se inspeccionarán los puntos de conexión del material deportivo con el suelo.
- ☐ Se limpiarán y desinfectarán las superficies del equipamiento en contacto con la piel.
- ☐ Se limpiarán los espejos.
- ☐ Se limpiarán las ventanas.
- ☐ Se inspeccionarán los espejos por si hubieran sufrido algún daño.
- ☐ Se inspeccionará todo el equipamiento por si hubiera daños o desgaste; cintas, tornillos, cables o cadenas sobresalientes o sueltos; correas para los pies y el cuerpo poco seguras o que no sirven; incorrecto funcionamiento o uso de los puntos de unión, clavijas y otros aparatos.
- ☐ Se limpiarán y lubricarán las piezas móviles del material deportivo.
- ☐ Se inspeccionarán todas las almohadillas de protección por si hubiera grietas o desgarros.
- ☐ Se inspeccionará que el material antideslizante y las colchonetas estén bien colocadas y no presenten daños ni desgaste.
- ☐ Se vaciarán papeleras y se sacará la basura.
- ☐ Se limpiarán luces, ventiladores, conductos de ventilación, relojes y altavoces.
- ☐ Se comprobará que el equipamiento se devuelve y se guarda correctamente tras su uso.

(continúa)



(continuación)

Dos o tres veces por semana

- ☐ Se limpiarán y lubricarán las máquinas aeróbicas y las barras guía de las máquinas de entrenamiento con resistencia seleccionable.

Una vez por semana

- ☐ Se limpiarán (de polvo) las instalaciones y accesorios.
- ☐ Se limpiarán las placas del techo.

Cuando sea necesario

- ☐ Se sustituirán las bombillas fundidas.
- ☐ Se limpiarán las paredes.
- ☐ Se remplazarán las placas del techo rotas o que falten.
- ☐ Se limpiarán los techos abiertos con tuberías o conductos expuestos.
- ☐ Se retirará (o se pondrá un cartel) en el material deportivo roto.
- ☐ Se rellenarán las magnesieras.
- ☐ Se limpiarán los mangos rugosos de las halteras.
- ☐ Se limpiará el óxido del suelo, los discos de pesas, las barras y todo el material deportivo con una solución para eliminar el óxido.

FIGURA 23.6 Lista de seguridad de la Asociación Nacional de Fuerza y Acondicionamiento Físico para el mantenimiento del material deportivo y las instalaciones deportivas.

Fuente: Haff, G., y T. Triplett, T. (eds.) (2016). NSCA, *Essentials of strength training and conditioning*. Champaign, IL: Human Kinetics. Adaptado, con autorización, de Earle, R.W., y Baechle, T.R. (eds.) (2004). Champaign, IL: Human Kinetics; pp. 604-606.

CAPÍTULO 24

Principios, intervenciones y temas legales relacionados con las instalaciones

Traci Statler y Victor Brown*

A la conclusión del capítulo, el lector:

- Desarrollará o aclarará los objetivos y metas de un programa de fuerza y acondicionamiento físico.
- Entenderá las prácticas diarias de un programa de fuerza y acondicionamiento físico y de las instalaciones, todo lo cual ayudará a conseguir las metas y objetivos.
- Establecerá un estándar en las prácticas que asegure la seguridad y eficacia del programa de fuerza y acondicionamiento físico.
- Identificará áreas comunes de potencial exposición a responsabilidades legales, y aplicará las estrategias apropiadas para la gestión de riesgos.
- Determinará un manual de políticas y procedimientos para un centro y un programa de fuerza y acondicionamiento físico.
- Hará una programación correcta y establecerá los horarios del centro de entrenamiento de fuerza y acondicionamiento físico, además de formular pautas sobre la planificación de la temporada y la relación entre personal y atletas.

* Los autores agradecen la significativa aportación de Boyd Epley, John Taylor, Michael Greenwood y Lori Greenwood en la redacción de este capítulo.

La profesión de entrenador de la fuerza y del acondicionamiento físico no para de evolucionar. Lo habitual es que la formación académica y las destrezas adquiridas impliquen competencias para el ejercicio de la disciplina de la ciencia del deporte, su administración, gestión, enseñanza y entrenamiento (20). Anteponiendo siempre la seguridad y bienestar de los

estudiantes y atletas, el desarrollo de un manual de principios e intervenciones proporciona un proyecto para una correcta y eficaz aplicación de programas y servicios.

Los **principios** son, en esencia, las normas y directrices de un centro deportivo; reflejan las metas y objetivos del programa. Las **intervenciones** describen la forma de aplicar o cumplir los principios. Es necesario examinar las metas y objetivos de los programas, porque constituyen la base sobre las que se erigen los principios e intervenciones. Además, los principios e intervenciones específicos deben contener elementos que protejan el programa y a sus empleados del peligro de enfrentarse a **litigios**; también deben contemplar aspectos tales como las pautas para la supervisión e instrucción de los usuarios, la administración del centro, y la planificación y respuesta en casos de emergencia. El objetivo de este capítulo es identificar áreas de riesgo y establecer medios para aumentar la seguridad, amén de encaminar al especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico en el ejercicio y mejora de la calidad de los servicios y programas.

Declaración de objetivos y metas del programa

Una **declaración de objetivos** es una exposición por medio de la cual una organización revela su propósito (2). Establecer una declaración de objetivos exige prever y tener en mente el resultado final. Una buena declaración de objetivos confiere al programa de fuerza y acondicionamiento físico un objetivo y una dirección que constituyen los cimientos de su eficaz administración. Según la Fundación Drucker (22), los siguientes son los criterios sugeridos para una declaración de objetivos eficaz:

- Debe ser corta y con un objetivo evidente.
- Debe ser clara y de sencilla comprensión.
- Revela la razón de la existencia de la organización.
- No prescribe los medios.
- Tiene un amplio campo de acción.
- Muestra el camino para cumplir un código ético.
- Afronta y está a la altura del alcance de las competencias de la organización.
- Anima a comprometerse.

La declaración de objetivos contempla tres componentes importantes: dirigirse a una clientela (principal mercado), prestar un servicio (contribución) y diferenciar ese servicio (distinción) (2).

El siguiente es un ejemplo de una declaración de objetivos de un programa de fuerza y acondicionamiento físico:

> Proporcionar a los atletas el medio para entrenar de forma constante, con sensatez y sistemáticamente durante períodos de tiempo establecidos en un entorno seguro, limpio y profesional con el fin de prevenir lesiones y mejorar el rendimiento deportivo.

Dicho de una forma amplia y general, los **propósitos del programa** son el producto final que se quiere lograr con un programa de fuerza y acondicionamiento físico. Un programa eficaz de fuerza y acondicionamiento físico se debe basar en principios científicos para mejorar el rendimiento y aumentar la resistencia a las lesiones, y tener unos objetivos específicos respecto al deporte o la posición del atleta en el deporte (7).

Desarrollar unas normas de asistencia es una responsabilidad colectiva; por tanto, el desarrollo de una declaración y lista de objetivos del programa debe implicar no solo al departamento de fuerza y acondicionamiento físico, sino también a la institución, por ejemplo, la administración deportiva y el departamento de medicina del deporte, aunque sin limitarse solo a ellos. Cuanta más gente participe, mejor, porque así todos los grupos e individuos implicados asumen su responsabilidad y compromiso en la consecución de la misión, las metas y los objetivos del programa de fuerza y acondicionamiento físico.

Una declaración de intenciones es una declaración que hace una organización sobre sus propósitos, ofreciendo al programa de fuerza y acondicionamiento físico una dirección y un centro de atención.

Objetivos del programa

Los **objetivos del programa** son medios específicos para alcanzar sus metas. Si se establecen las metas del programa pero los medios para lograrlas son inespecíficos, el resultado quizá sea que los atletas nunca las alcancen. Los objetivos del programa deben abarcar todas las áreas del programa para garantizar que se consigan las metas. El siguiente es un ejemplo de una lista

de objetivos que llevan a la consecución de los objetivos de un programa y preparan al especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico para encargarse de los requisitos laborales.

- Diseñar y administrar programas de entrenamiento de la fuerza, la flexibilidad, la capacidad aeróbica, la pliometría, etc., que reduzcan la posibilidad de sufrir lesiones y mejoren el rendimiento deportivo. Exactamente, se trata de diseñar programas de entrenamiento que generen los resultados deseados respecto a la composición corporal, hipertrofia, fuerza, resistencia muscular, resistencia cardiovascular, velocidad, agilidad, coordinación, equilibrio y potencia.
- Desarrollar programas de entrenamiento que contemplen las diferencias biomecánicas y fisiológicas entre atletas, teniendo en cuenta su edad, sexo, estado de entrenamiento, limitaciones físicas y si están lesionados.
- Reconocer las respuestas y adaptaciones fisiológicas agudas y crónicas al entrenamiento y sus implicaciones para el diseño de programas de entrenamiento para un deporte específico.
- Señalar a los atletas la importancia de una buena nutrición, así como del sueño y su papel en la salud y el rendimiento.
- Alertar a los atletas sobre los efectos del consumo y dependencia de fármacos para mejorar el rendimiento, así como las leyes y la política del centro al respecto.

El concepto de intervención del equipo, es decir, de la dedicación de ciertas personas con áreas específicas de experiencia y formación, es aplicable a la creación de un programa de fuerza y acondicionamiento físico cuyo objetivo sea cumplir los objetivos anteriores. Por ejemplo, cuando un atleta precisa rehabilitación y reacondicionamiento físico, se debe consultar al personal de medicina del deporte. El director del programa de fuerza y acondicionamiento físico tiene que establecer por escrito los principios e intervenciones para determinar el empleo adecuado del personal en sus funciones y que los servicios se desarrollen de forma segura, eficaz y eficiente. Además, se debe celebrar una reunión anual de orientación al comienzo del año escolar o de la temporada deportiva para que la plantilla, los entrenadores y los participantes se familiaricen con las metas, objetivos, principios e intervenciones. Habrá que reevaluar y revisar periódicamente las metas y objetivos.

Equipo de especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico

Las responsabilidades del especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico están cambiando continuamente a medida que este campo crece y aumenta el reconocimiento de sus aplicaciones (14). El personal de especialistas se puede regular con la contratación de practicantes con estudios formales y especialización en campos científicos específicos (p. ej., anatomía, fisiología aplicada al ejercicio, biomecánica). Un equipo bien organizado permite que haya una cooperación entre los especialistas con destrezas complementarias, y brinda oportunidades de formación para que los miembros de la plantilla adquieran conocimientos aparte de los de su especialidad. La tabla 24.1 aporta un ejemplo práctico de un equipo con estas características. El director del equipo de fuerza y acondicionamiento físico es responsable de delinear las tareas y responsabilidades del personal respecto al diseño del programa, la técnica de los ejercicios, la organización y administración, así como las pruebas y evaluaciones.

Aunque las responsabilidades del trabajo varían según la institución, sería prudente consultar las *Strength and Conditioning Professionals Standards and Guidelines* (20) cuando se esté organizando el equipo de profesionales de la fuerza y el acondicionamiento físico. La pauta 2.3 de este documento establece lo siguiente:

> La productividad de la plantilla de fuerza y acondicionamiento físico, además del aprendizaje y adquisición de destrezas por parte de sus miembros, debe mejorar al adquirir un equipo de expertos compuesto por practicantes cualificados con experiencia interdependiente y que compartan su rol de líderes. Una vez formado el equipo, se delegarán las respectivas actividades y responsabilidades en el terreno de lo «práctico/aplicado», todo lo cual quedó identificado en la Descripción del Contenido del Examen para Especialistas Titulados de Fuerza y Acondicionamiento Físico, así como en la asignación de funciones de coordinador entre especialidades, según los conocimientos de «base científica» de cada miembro concreto del personal.

TABLA 24.1 Muestra de responsabilidades del equipo de entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico

Fundamentos científicos Estudios y experiencia	Responsabilidades y actividades practicas y aplicadas	Asignación de funciones de coordinación
Anatomía aplicada a la actividad física y al deporte; biomecánica	Técnicas de ejercicio, pruebas y evaluacion, rehabilitación y reacondicionamiento físico	Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, entrenadores del equipo; equipo de medicina del deporte
Fisiología aplicada a la actividad física y el deporte	Diseño de programas, pruebas y evaluación	Facultad de Ciencias de la Actividad Ffsica y el Deporte, entrenadores del equipo
Nutrición aplicada a la actividad física y el deporte	Nutricionista	Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte
Pedagogía aplicada a la actividad física y el deporte	Diseño de programas, técnica del ejercicio, organización y administración	Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte
Psicología aplicada a la actividad física y el deporte, aprendizaje motor	Técnica del ejercicio, rehabilitación y reacondicionamiento físico	Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, equipo de medicina del deporte
Metodología del entrenamiento deportivo	Diseño de programas, organización y administración	Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, administración
Cinesiología, fisioterapia; medicina del deporte	Rehabilitación y reacondicionamiento físico	Equipo de medicina del deporte

Fuente: Adaptado, con autorización, de NSCA, 2009 (20).

Director de fuerza y acondicionamiento físico (entrenador jefe de fuerza y acondicionamiento físico)

El director de fuerza y acondicionamiento físico (llamado de aquí en adelante *director*) —también denominado con frecuencia entrenador jefe de fuerza y acondicionamiento físico— es tanto un especialista como un administrador. Esta persona es responsable del programa general de fuerza y acondicionamiento físico, de las instalaciones, del equipamiento, el personal, y de tareas administrativas como la preparación de un presupuesto, la compra del material deportivo, la preparación de propuestas y el trabajo con la administración y los medios de comunicación. La figura 24.1 muestra un

ejemplo de lista de cometidos propios de este cargo. La figura 24.2 ofrece una descripción general de las responsabilidades del director de fuerza y acondicionamiento físico.

Ofertas de empleo y cometidos para el director de fuerza y acondicionamiento físico

Las responsabilidades y deberes asignados al director de atletismo comprenden el desarrollo y control de los programas de entrenamiento deportivo para los equipos de atletas; la implementación de diseños de programas seguros y eficaces basados en principios científicos; la instrucción de técnicas correctas para los ejercicios de entrenamiento con resistencia, para el desarrollo de la velocidad y la agilidad, y, por último, la aplicación de pruebas y evaluaciones. El especialista jefe de la fuerza y el acondicionamiento físico supervisará los principios e intervenciones, la organización del centro y la gestión de riesgos por parte del equipo de fuerza y acondicionamiento físico en colaboración con la institución. El especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe cooperar con el personal médico en interés del desarrollo, salud y bienestar de los estudiantes-atletas. Se requiere un título universitario, preferiblemente acompañado de un máster (con especial hincapié en las ciencias del ejercicio). El especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe contar con el título de un organismo acreditador independiente (p. ej., Especialista titulado en Entrenamiento de la Fuerza y el Acondicionamiento por la Asociación Nacional de Fuerza y Acondicionamiento Físico) y acudir a los cursos de formación continuada. Se requiere titulación en primeros auxilios, reanimación cardiopulmonar y desfibrilador eléctrico externo. Se precisan dos años de experiencia en posiciones de responsabilidad creciente en el desarrollo y gestión de programas de entrenamiento deportivo individuales o para grupos en deportes específicos. Se requieren excelentes destrezas de gestión y supervisión. El salario será acorde a la formación y experiencia.

FIGURA 24.1 Un anuncio de trabajo similar a este sirve para atraer a candidatos de nivel.

Fuente: Basado en Casa *et al*., 2012 (6).

Responsabilidades del director de la fuerza y el acondicionamiento físico

- Dirige todas las facetas del funcionamiento del centro, el programa y el personal.
- Diseña (o hace la revisión final) de todos los programas de entrenamiento.
- Supervisa el funcionamiento del elemento deportivo para garantizar el cumplimiento de las normas y directrices de los órganos rectores, institucionales y asamblearios.
- Desarrolla y presenta el presupuesto anual y garantiza el cumplimiento presupuestario mediante una gestión financiera eficiente.
- Genera los fondos del presupuesto e ingresos para el mantenimiento y mejora de las instalaciones.
- Supervisa la selección, instalación y mantenimiento del material deportivo, atendiendo también a su limpieza y reparación.
- Dirige reuniones de orientación para estudiantes-atletas sobre temas tales como las normas del centro, el valor de una nutrición y entrenamiento correctos, y los peligros de las sustancias prohibidas.
- Desarrolla la labor del personal y supervisa los horarios, asigna tareas y evalúa el rendimiento.
- Coordina los horarios de empleo de las instalaciones por cada equipo deportivo y por los estudiantes-atletas.
- Acude a actividades de reclutamiento en campus en busca de estudiantes-atletas.
- Participa en diversos grupos de trabajo y comités profesionales, asamblearios e institucionales, en departamentos y consejos de administración.
- Trabaja y se comunica con los entrenadores en el departamento de deporte.
- Viaja con los equipos (si es posible) y aporta programas de entrenamiento deportivo para esos desplazamientos, incluyendo el calentamiento previo a los partidos.
- Mantiene una biblioteca dedicada al entrenamiento deportivo para su desarrollo profesional.
- Tiene y mantiene al día los títulos profesionales continuando con su formación y siguiendo un código ético, como las credenciales del CSCS a través de la NSCA. Dependiendo del alcance de las actividades, responsabilidades y conocimientos del profesional, también pueden ser apropiados los títulos relevantes que expidan otros organismos (5).
- Practica otros deberes y proyectos especiales a petición del supervisor.
- Practica los deberes del profesional asistente de fuerza y acondicionamiento físico, y de supervisor del centro cuando haya necesidad.

FIGURA 24.2 Muestra de descripción de un trabajo para un director de fuerza y acondicionamiento físico.

Fuente: Adaptado de Earle, 1993 (7), y Epley, 1998 (8).

El director es también responsable de desarrollar, presentar y aplicar los principios escritos e intervenciones del personal y los participantes del programa. Es responsabilidad suya asegurarse de que el personal esté bien entrenado y preparado. Esto lo consigue mediante las reuniones de orientación con el personal y los estudiantes-atletas, así como con las evaluaciones periódicas de las actuaciones profesionales de la plantilla, además de determinando y evaluando la consecución de las metas profesionales. En la figura 24.3 aparece un formulario de muestra para la evaluación del personal estudiante. Este formulario sirve para evaluar a estudiantes internos, y se puede adaptar para aplicarse de forma más específica y eficaz a miembros del equipo de entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico.

Evaluación del personal estudiante

Evaluación del miembro del personal: _____

Durante el período desde: _____ hasta _____

El proceso de evaluación es un método para valorar el rendimiento individual. Es una oportunidad de que se evidencien contribuciones notables o deficiencias entre los miembros del personal estudiante, de que mejoren las actuaciones laborales individuales, de determinar las acciones apropiadas del personal y de estimular el desarrollo individual.

Comunicación

Tiene el respeto de los atletas y mantiene la disciplina	1	2	3	4	5	N/A
Enseña la técnica correcta de los ejercicios de entrenamiento resistido	1	2	3	4	5	N/A
Tiene capacidad de motivar a los atletas y lograr la unidad del equipo	1	2	3	4	5	N/A
Impone las reglas de conducta en la sala de pesas	1	2	3	4	5	N/A
Se muestra cortés con los atletas de ambos sexos	1	2	3	4	5	N/A
No insulta ni pega a los atletas	1	2	3	4	5	N/A

Asume la responsabilidad y el liderazgo

Sigue las instrucciones	1	2	3	4	5	N/A
Se adapta a las ideas nuevas	1	2	3	4	5	N/A
Siempre trata de aprender	1	2	3	4	5	N/A
No delega la autoridad sin autorización	1	2	3	4	5	N/A
Muestra un alto nivel de integridad	1	2	3	4	5	N/A
Ajusta la actividad del entrenamiento al nivel de destreza o a la edad	1	2	3	4	5	N/A
Muestra buen juicio en acciones y decisiones del atleta	1	2	3	4	5	N/A
Acude siempre al trabajo y lo hace con puntualidad	1	2	3	4	5	N/A
Presenta siempre a tiempo el papeleo requerido	1	2	3	4	5	N/A
Lleva a cabo los proyectos, sean grandes o pequeños	1	2	3	4	5	N/A
Practica un trabajo de gran calidad	1	2	3	4	5	N/A
Presenta la apariencia adecuada	1	2	3	4	5	N/A

Actitud

Muestra compatibilidad con el personal, los atletas y otros departamentos	1	2	3	4	5	N/A
Se le puede confiar información reservada	1	2	3	4	5	N/A
No cotillea de sus entrenadores, preparadores físicos ni atletas	1	2	3	4	5	N/A
Se esfuerza por los objetivos según lo dicho en la declaración de principios y la atribución de papeles en el departamento	1	2	3	4	5	N/A

Clave

1 = Significativamente por debajo de las expectativas.
2 = Actuación mínimamente aceptable.
3 = Cumple las expectativas con su actuación.
4 = Supera las expectativas con su actuación.
5 = Actuación claramente excepcional.

FIGURA 24.3 Esta muestra de formulario para la evaluación del personal estudiante se puede usar para valorar las competencias del personal.

Fuente: Haff, G. y Triplett, T. (eds.) (2016). NSCA, *Essentials of strength training and conditioning*. Champaign, IL: Human Kinetics. Reimpresión, con autorización, de Earle, R.W. (1993). *Staff and facility policies and procedures manual*. Omaha, NE: Creighton University.

Personal para el entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico (calificaciones personales)

La posesión de un título de una organización con acreditación independiente, como el de Especialista titulado en Entrenamiento de la Fuerza y el Acondicionamiento, establece un nivel asistencial. El 1 de agosto de 2015, la División I de la Asociación Nacional Atlética Universitaria (NCAA) adoptó una legislación «donde especifica que los entrenadores de la fuerza y la condición física deben estar titulados y mantener al día dicha titulación mediante un programa de certificación en esta especialidad acreditado a nivel nacional» (pág. 1) (16). La formación continua es una parte necesaria para conservar los títulos profesionales y reducir el riesgo de litigios, sobre todo en el área de supervisión e instrucción (1). Los juicios en esta área suelen abundar en preguntas relacionadas con la «titulación profesional de los instructores», lo cual también incluye la formación continua de los especialistas (19). Por tanto, los ayudantes de especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico también deben obtener y mantener al día un título profesional que incluya primeros auxilios, reanimación cardiopulmonar (RCP) y desfibrilador eléctrico externo (DEE). (Véanse en la figura 24.4 los puntos de preparación personal exigibles a todos los miembros de la plantilla).

Además, todos los miembros de la plantilla tienen que conocer y entender las metas y objetivos del programa de fuerza y acondicionamiento físico, trabajar y cooperar con los horarios y responsabilidades de los demás (como los de los otros miembros del equipo de medicina del deporte) y mantener un código de conducta profesional.

El Apéndice A de las *Strength and Conditioning Professionals Standards and Guidelines* define al especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico:

> Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico son profesionales que aplican en la práctica los conocimientos de su especialidad con el fin de evaluar, motivar, formar y entrenar a atletas con el principal objetivo de mejorar el rendimiento deportivo. Dichos especialistas realizan sesiones de prueba de los deportes específicos de los atletas; diseñan y aplican con seguridad y eficacia programas de entrenamiento de la fuerza y de acondicionamiento físico, y ofrecen asesoramiento a los atletas sobre nutrición y prevención de lesiones. Reconociendo que su área de especialización es independiente y distinta de los campos de la medicina, la dietética, el entrenamiento físico y la

instrucción deportiva, consultan y derivan a sus atletas a los Especialistas titulados en Entrenamiento de la Fuerza y el Acondicionamiento cuando lo consideran apropiado (pág. 13).

Preparación del personal

1. Tener al día la titulación profesional.
2. Tener al día la titulación de primeros auxilios, RCP y DEE.
3. Revisar las intervenciones de respuesta ante emergencias.
   a. Anualmente las intervenciones de primeros auxilios básicos.
   b. Lesiones habituales de entrenamiento en el centro y su prevención.
   c. Creación de un plan de evacuación.
4. Conocer y entender los principios y las intervenciones del programa.
   a. Revisión de la capacidad de las salas y la relación más segura entre el número de atletas y el de supervisores.
   b. Revisión del programa de detección sanitario previo a la participación y el procedimiento para obtener la autorización médica.
   c. Revisar posibles situaciones personales y profesionales de litigio, negligencia y cobertura de defensa jurídica y reclamación de daños.
5. Conocer y entender las reglas y directrices de los órganos rectores.
   a. Revisión del corpus legal general.
   b. Revisión de las normas específicas concernientes a la administración de un programa de fuerza y acondicionamiento físico.
6. Conocer y entender las cuestiones y necesidades de limpieza y mantenimiento.
7. Conocer y entender la filosofía del programa y los métodos de instrucción.
   a. Instrucción de la técnica y los ejercicios.
   b. Pautas sobre la composición corporal y las consultas sobre nutrición.
   c. Aspectos de la motivación:
      - Llevar a los atletas más allá de sus límites físicos.
      - Atletas que llegan al sobreentrenamiento.
      - Atletas que se niegan a seguir las recomendaciones del programa.

FIGURA 24.4 Puntos de preparación requeridos de cada miembro de la plantilla.

Fuente: Adaptado de Taylor, 2006 (23).

Problemas éticos y legales

Todos los que están involucrados en actividades deportivas, incluyendo a los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico, deben ser conscientes de los riesgos legales de afrontar un litigio. No es posible eliminar del todo el riesgo de lesiones, pero eso no significa que el especialista de la fuerza y el acondicionamiento no puede gestionarlo. La **administración de riesgos** es la aplicación de estrategias para disminuir y controlar el riesgo de lesiones en la participación atlética y, por tanto, el riesgo de afrontar litigios. Los primeros pasos en la administración de riesgos consisten en asumir los términos integrales clave y en identificar las áreas de posible exposición a denuncias y juicios debido a lesiones. Aunque no hay dos centros deportivos iguales, siempre hay zonas reconocibles de potenciales riesgos legales en todas las

instalaciones de fuerza y acondicionamiento físico. Las secciones siguientes abordan esas áreas de riesgo y la necesidad de un plan de asistencia de urgencia, mantener unos registros fiables y tener un seguro contra terceros.

Terminología legal habitual

Para entender las potenciales ramificaciones legales de la dirección de un centro de entrenamiento, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe entender primero los siguientes términos legales:

- **Consentimiento informado.** Proceso por el cual un participante describe una intervención o actividad, con una explicación de los riesgos y beneficios inherentes, permitiendo al individuo determinar si desea participar.
- **Responsabilidad.** Compromiso, deber u obligación legales. Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico tienen un deber para con sus atletas, a los que sirven por su oficio, no solo cuando se produce una lesión, sino también para prevenirlas (5).
- **Nivel de asistencia.** Lo que una persona prudente y razonable haría en circunstancias parecidas. Del especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico se espera que actúe de acuerdo con su formación académica, su nivel de preparación y su grado de titulación (p. ej., Especialista titulado en Entrenamiento de la Fuerza y el Acondicionamiento [CSCS], Entrenador personal titulado (*Certified Personal Trainer*) por la Asociación Nacional de Fuerza y Acondicionamiento Físico [NSCA-CPT], Auxiliar de Enfermería en el Servicio Médico de Urgencias (*Emergency Medical Technician* [EMT]), RCP, DEE, primeros auxilios).
- **Negligencia.** Error de actuación respecto a lo que una persona razonable y prudente haría en circunstancias similares. Se deben cumplir cuatro requisitos para hallar culpable de negligencia a un especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico: **obligaciones**, **incumplimiento de las obligaciones**, **causalidad** y **daños y perjuicios** (20). Se debe concluir que, teniendo el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico obligaciones que cumplir, se ha producido un incumplimiento de las mismas respecto al nivel esperable de asistencia, lo cual ha provocado daños y perjuicios (menoscabo físico o económico) a otra persona debido a la secuencia natural y continua de unos hechos

razonablemente predecibles (causalidad). Por ejemplo, un especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico repara en que un cable está excesivamente gastado en una máquina de musculación y toma nota de ello, pero no pone un cartel en la máquina que diga «fuera de servicio». Un atleta utiliza la máquina y sufre una lesión. En este caso, se podría culpar al especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico de negligencia: Su obligación era arreglar el cable o poner una señal avisando de ello, pero cometió un error de actuación y el atleta sufrió una lesión debido a la situación potencialmente lesiva de un cable que estaba a punto de romperse.

- **Asunción de riesgos.** Saber que existe un riesgo inherente en la participación en una actividad y decidirse voluntariamente a participar (11). Todas las actividades deportivas, incluyendo la fuerza y el acondicionamiento físico, implican cierto nivel de riesgo; los atletas deben ser informados del riesgo en todas sus consecuencias y deben firmar una declaración a tal efecto.

Programa de detección sanitario previo a la participación y autorización médica

Antes de que se permita el acceso de los atletas a las instalaciones para el entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico, estos precisan pasar por un programa de detección sanitario previo a la participación y contar con autorización de algún órgano rector (p. ej., la NCAA, el personal de la institución especializado en medicina del deporte y asociaciones deportivas de institutos). Este requisito se recoge en la Sección 1 de las *Strength and Conditioning Professionals Standards and Guidelines* (20). La norma 1.1 «exige a los participantes pasar por un programa de detección sanitario previo a cargo de un profesional de la medicina y contar con su autorización antes de la participación». El especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico no necesita una copia de la exploración física, pero sí una declaración firmada que muestre el permiso médico para la participación. Los atletas que vuelvan a la actividad tras una lesión o enfermedad o que tengan necesidades especiales (p. ej., diabetes, asma, epilepsia, hipertensión) también deberían aportar la prueba de una autorización médica antes de iniciar o volver a un programa de fuerza y acondicionamiento físico.

Se deben seguir los procedimientos para estar seguros de que se posee la

documentación que confirma que los atletas pasaron por un programa de detección sanitario y cuentan con autorización del personal de medicina del deporte, todo ello en los archivos de la oficina principal del programa de fuerza y acondicionamiento físico, antes de que se permita participar a los atletas. Hay que destacar, sin embargo, que es responsabilidad del personal de medicina del deporte (p. ej., del preparador físico titulado del programa o del equipo, del médico o del fisioterapeuta) dar permiso a un atleta para iniciar la participación formal en el programa de fuerza y acondicionamiento físico. En el caso de un centro escolar, esto se aplica tanto a los atletas nuevos en el centro escolar o en el programa, como a los atletas que se acaban de recuperar de una lesión o enfermedad. Esta disposición es importante porque no entra dentro de las **competencias** del especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico (es decir, dentro de sus parámetros legales y sus obligaciones profesionales) diagnosticar o evaluar el estado médico o de salud de una persona. Por tanto, solo el personal de medicina del deporte puede extender una autorización médica (y dar prueba de ello) y responder cualquier pregunta sobre la participación.

Criterios de elegibilidad

Para centrar la atención y los esfuerzos del personal de fuerza y acondicionamiento físico en la población objeto del entrenamiento, se deben establecer ciertos requisitos de elegibilidad. La siguiente es una lista de los típicos individuos y grupos a los que se permite utilizar el centro de entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico en una institución:

- Estudiantes-atletas a jornada completa o parcial que practican un deporte patrocinado por un departamento deportivo.
- Estudiantes-atletas recién llegados o a los que se acaba de transferir, que se han matriculado en un centro educativo y tienen la confirmación de pertenecer a un equipo y haber sido designados por el entrenador jefe.
- Estudiantes que asisten a clases de educación física.
- Todo el personal administrativo y de instrucción deportiva de los departamentos deportivos.
- Todo el personal del departamento de medicina del deporte.
- Estudiantes-atletas que participaron en un deporte patrocinado por un departamento deportivo y que aprobaron su aptitud y elegibilidad.
- Personas y grupos con la aprobación del director deportivo o el director

de fuerza y acondicionamiento físico.

Otras personas y grupos pueden solicitar acceso a las instalaciones de fuerza y acondicionamiento físico. Estas personas y grupos deben contar con la aprobación previa del director deportivo o el director de fuerza y acondicionamiento físico, y deben haber establecido previamente un horario que especifique cuándo utilizarán las instalaciones para poder ofrecer una correcta supervisión. Para ser consecuentes y objetivos, resulta más ventajoso haber instaurado una política al respecto que tener que decidir caso por caso. Esta política es especialmente importante porque guarda relación con los emolumentos del centro, si los hubiere. Los siguientes son ejemplos de criterios habituales para determinar si organizaciones externas pueden utilizar un centro de entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico:

- El usuario debe contar con la aprobación previa del director deportivo.
- El usuario debe contar con la aprobación previa del director de la fuerza y el acondicionamiento físico.
- El programa o sesión deben ser supervisados por personal del departamento de la fuerza y el acondicionamiento físico.
- El programa o sesión debe programarse durante las horas en que no haya atletas presentes.
- El individuo u organización debe aportar una prueba escrita de que cuenta con un seguro a terceros.
- Todos los participantes deben firmar un formulario de acuerdo de exención de responsabilidades. La figura 24.5 muestra un ejemplo de formulario de exención de responsabilidades. Se debe comprobar.
- Todos los participantes deben seguir las normas y directrices del centro de fuerza y acondicionamiento físico.
- El director deportivo y el director de fuerza y acondicionamiento físico tienen derecho a limitar el acceso de un grupo o individuo, si estuviere justificado.

Mantenimiento de registros

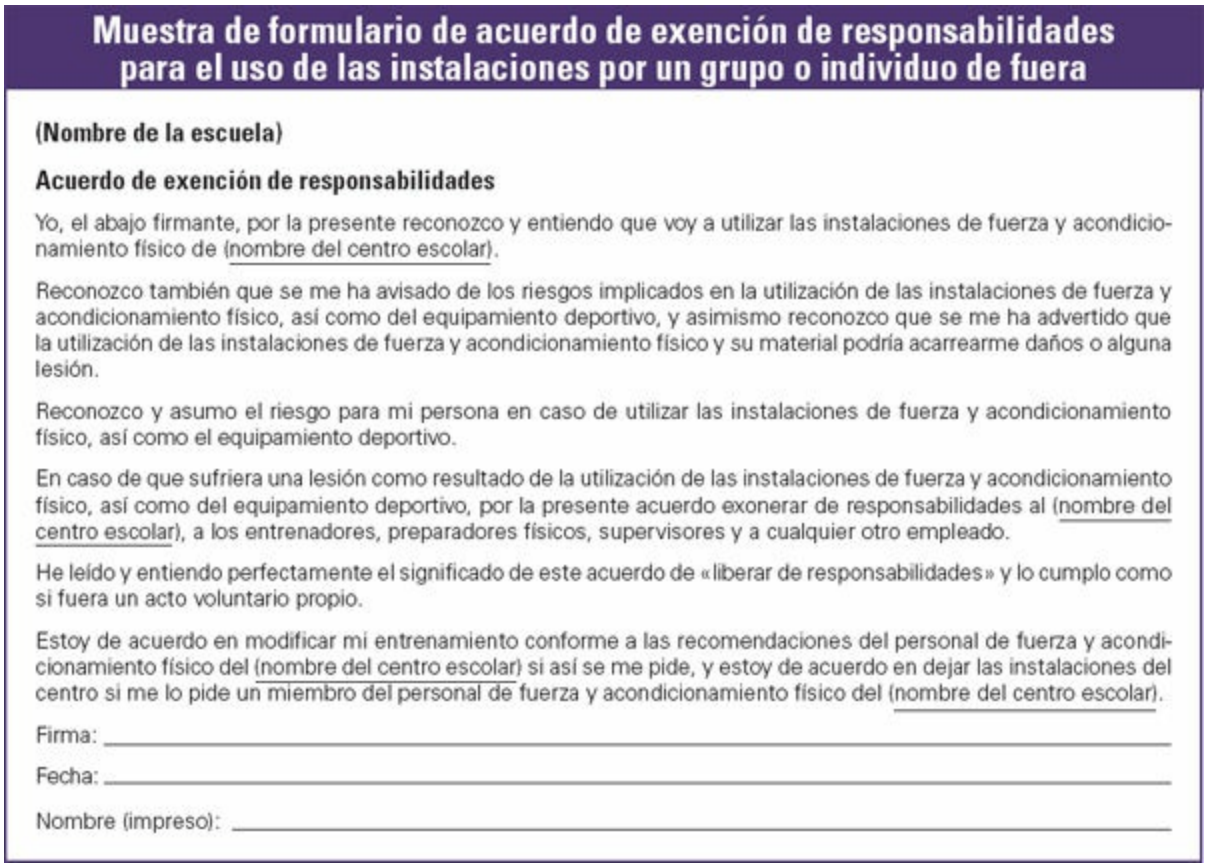
La documentación es fundamental para una gestión eficaz de los centros de fuerza y acondicionamiento físico. Se deben conservar a buen recaudo los informes de limpieza y mantenimiento, las intervenciones de seguridad, las garantías e instrucciones de los fabricantes, los formularios de asunción de

riesgos o de consentimiento informado, los formularios de permisos y autorizaciones médicas, las credenciales del personal, las pautas y recomendaciones para los profesionales (p. ej., uso de cinturones de halterofilia, técnicas para el entrenamiento con resistencia) y los formularios para informes de lesiones (20). Estos formularios se deben mantener el máximo tiempo posible para el caso de que se inicie un proceso judicial. El período durante el cual una persona puede presentar un pleito (es decir, la **ley de limitaciones**) varía (según el Estado en Estados Unidos, así como de un país a otro), por lo que es una buena práctica mantener los archivos indefinidamente o asesorarse con las autoridades legales (12).

Seguro contra terceros

Debido al riesgo potencial de que se produzcan lesiones en la participación deportiva, es esencial que los miembros del personal de fuerza y acondicionamiento físico tengan un seguro profesional contra terceros, sobre todo si no están cubiertos por el seguro del centro. El seguro contra terceros es un compromiso contractual por el cual el asegurador promete defender e indemnizar al asegurado —dentro de los límites definidos de la responsabilidad— de ciertos riesgos de responsabilidad definidos, a expensas del asegurador a cambio del pago de una prima. Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico deben consultar a su gestor de recursos humanos, a su asesor legal o a una organización profesional (p. ej., la NSCA) para asesorarse más a fondo sobre el tema.

Un seguro es un compromiso contractual por el cual el asegurador promete defender e indemnizar al asegurado, hasta los límites definidos de responsabilidad, de ciertos riesgos a cargo del asegurador a cambio del pago de una prima.



Muestra de formulario de acuerdo de exención de responsabilidades para el uso de las instalaciones por un grupo o individuo de fuera

(Nombre de la escuela)

Acuerdo de exención de responsabilidades

Yo, el abajo firmante, por la presente reconozco y entiendo que voy a utilizar las instalaciones de fuerza y acondicionamiento físico de (nombre del centro escolar).

Reconozco también que se me ha avisado de los riesgos implicados en la utilización de las instalaciones de fuerza y acondicionamiento físico, así como del equipamiento deportivo, y asimismo reconozco que se me ha advertido que la utilización de las instalaciones de fuerza y acondicionamiento físico y su material podría acarrearme daños o alguna lesión.

Reconozco y asumo el riesgo para mi persona en caso de utilizar las instalaciones de fuerza y acondicionamiento físico, así como el equipamiento deportivo.

En caso de que sufriera una lesión como resultado de la utilización de las instalaciones de fuerza y acondicionamiento físico, así como del equipamiento deportivo, por la presente acuerdo exonerar de responsabilidades al (nombre del centro escolar), a los entrenadores, preparadores físicos, supervisores y a cualquier otro empleado.

He leído y entiendo perfectamente el significado de este acuerdo de «liberar de responsabilidades» y lo cumplo como si fuera un acto voluntario propio.

Estoy de acuerdo en modificar mi entrenamiento conforme a las recomendaciones del personal de fuerza y acondicionamiento físico del (nombre del centro escolar) si así se me pide, y estoy de acuerdo en dejar las instalaciones del centro si me lo pide un miembro del personal de fuerza y acondicionamiento físico del (nombre del centro escolar).

Firma: _____

Fecha: _____

Nombre (impreso): _____

FIGURA 24.5 Todos los participantes deben firmar una renuncia de responsabilidad, que se debe modificar a conveniencia para cumplir las leyes autonómicas y nacionales. Reducir la responsabilidad en caso de lesiones o daños en las instalaciones durante el uso de las mismas es crítico en cualquier plan de gestión de riesgos.

Fuente: Adaptado de Earle, 1993 (7), y Epley, 1998 (8).

Responsabilidad del fabricante

La **responsabilidad del fabricante** se refiere a las responsabilidades legales de los que fabrican o venden productos si una persona sufre lesiones o daños de resultas de la utilización del producto (1). Aunque los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico no fabriquen o vendan un producto, se les puede citar como coacusados en pleitos por responsabilidad del fabricante. Por tanto, es importante que dichos especialistas entiendan el concepto de responsabilidad del fabricante y las acciones que suponen un riesgo de verse involucrados en un litigio. Aunque la responsabilidad del fabricante se aplique solo a los que se dedican a la fabricación o venta de productos, hay conductas que pueden anular la responsabilidad del fabricante o vendedor y que recaiga en el especialista de la fuerza y el

acondicionamiento físico. Dos consideraciones clave que determinan si el fabricante o el vendedor pueden ser llevados a juicio son si el producto ha sido modificado respecto a como se vendió originalmente y si el producto se utiliza para la intención que determinó el fabricante (5). Para evitar que los atletas sufran lesiones causadas por el equipamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico, se deben dar los pasos siguientes:

- El equipamiento deportivo se usará tan solo para el fin indicado por el fabricante. Remitimos a las instrucciones del fabricante que acompañan al artículo de venta, incluyendo también las especificaciones sobre la edad y talla de los usuarios.
- Hay que asegurarse de que el equipamiento cumple las normas y directrices profesionales. No se debe comprar ni usar material que alguna organización profesional o experto haya considerado poco seguro o ineficiente. Hay que saber si se ha producido la retirada de algún producto, y devolver ese equipo de inmediato al fabricante.
- Solo se debe comprar a fabricantes con buena reputación. Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico deben hacer los deberes y comprobar en el historial de seguridad del fabricante o vendedor si se han presentado reclamaciones contra cualquiera de ellos. Organizaciones como Better Business Bureau, en Estados Unidos, otros colegas especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico, y organizaciones profesionales son buenas fuentes de este tipo de información.
- No se debe modificar el equipamiento a menos que las adaptaciones estén claramente descritas y se incluyan en la información del producto con las instrucciones para hacerlo. Algunos artículos están pensados para modificarse según necesidades específicas, como los ajustes de tamaño, aunque siempre hay que seguir al pie de la letra las directrices para modificar el producto.
- Pondremos todas las señales de advertencia que vayan incluidas en el equipamiento que hemos comprado. Si esas señales no se ponen en la máquina donde puedan verse claramente y luego un usuario resulta lesionado (y la lesión guarda relación con algún aspecto al que aludan esas señales), el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico podría considerarse culpable.
- Se debe inspeccionar el equipamiento continuamente por si presentase

daños o desgaste que pueda suponer un riesgo de lesión para los usuarios. Para identificar problemas potenciales, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico debe conocer el propósito, capacidad y limitaciones del equipamiento, y saber cómo podría causar una lesión. Siempre hay que inspeccionar el material que se acabe de comprar antes de que se utilice. Si el material deportivo nuevo llega dañado, se debe notificar de inmediato al fabricante o vendedor para que lo remplacen. Si el material deportivo que ya se posee sufre daños, se debe retirar para su reparación o sustitución. Si el equipamiento es demasiado grande para retirarlo o no se tiene espacio para guardarlo en el almacén, se pegará un cartel en la máquina indicando que está fuera de servicio.

- No se debe dejar que atletas sin supervisión utilicen el material deportivo. Una supervisión constante de los atletas por especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico garantiza que el equipamiento se utilice para el propósito correcto y con la técnica apropiada (20).

Disciplina

Para asegurarse de que los atletas cumplen las normas del centro, el director de fuerza y acondicionamiento físico tal vez quiera que firmen una copia fechada de las reglas y directrices de las instalaciones donde reconozcan que entienden y cumplirán todas las normas antes de empezar a utilizar el centro deportivo. Este proceso reducirá la posibilidad de que se presenten reclamaciones afirmando que desconocían las repercusiones de su conducta anormal. Las normas del centro se tienen que hacer cumplir, dejando expuestas donde se vean las posibles acciones disciplinarias, documentándolas e imponiéndolas en grado proporcional a la infracción. Se desaconseja el recurso del ejercicio y las actividades de acondicionamiento físico como forma de castigo. Según las recomendaciones para unas prácticas óptimas del Comité Interdisciplinario para la Prevención de la Muerte Súbita en Sesiones de Acondicionamiento en Universitarios (The Inter-Association Task Force for Preventing Sudden Death in Collegiate Conditioning Sessions), «bajo ninguna circunstancia se debe imponer una carga física adicional que aumente el riesgo físico de lesión o muerte súbita» (pág. 478). El siguiente es un ejemplo de un sistema de penalizaciones aplicado cuando se repite una infracción (7). (Obsérvese que este tipo de intervenciones se

deben establecer con todo el respaldo y participación del director deportivo y los entrenadores deportivos. Por lo general, el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico no suele tener que incoar acciones disciplinarias más allá de una primera o segunda infracción, porque la mayoría de los entrenadores deportivos suelen querer gestionar ellos tales situaciones).

- *Primera infracción*. Una advertencia verbal por parte de un miembro de la plantilla, una explicación sobre la naturaleza e importancia de la norma o directriz que se ha infringido, y un recordatorio de la acción disciplinaria que se adoptará en caso de una segunda infracción.
- *Segunda infracción*. Expulsión de las instalaciones por un día, documentación de la infracción redactada por un miembro de la plantilla, intercambiar correspondencia con el entrenador y el director deportivos del atleta, y un recordatorio de la acción disciplinaria que se adoptará en caso de una tercera infracción.
- *Tercera infracción*. Expulsión de las instalaciones durante una semana, documentación de la infracción redactada por un miembro de la plantilla, intercambiar correspondencia con el entrenador y el director deportivos del atleta, y un recordatorio de la acción disciplinaria que se adoptará en caso de una cuarta infracción.
- *Cuarta infracción*. Expulsión de las instalaciones por lo que resta de año, documentación de la infracción redactada por un miembro de la plantilla, intercambiar correspondencia con el entrenador y el director deportivos del atleta, y un recordatorio de la acción disciplinaria que se adoptará en caso de una quinta infracción.
- *Quinta infracción*. Expulsión permanente de las instalaciones, documentación de la infracción redactada por un miembro de la plantilla e intercambiar correspondencia con el entrenador y el director deportivos del atleta.

Suplementos, ayudas ergogénicas y sustancias prohibidas

A menudo, atletas y clientes acuden a los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico para pedir consejos sobre nutrición y suplementos nutricionales. Se espera de estos especialistas que abracen el Código Ético de la NSCA. La norma 9.1 de las *Strength and Conditioning Professionals*

Standards and Guidelines establece lo siguiente:

> Bajo ningún concepto, los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico deben prescribir, recomendar ni proporcionar fármacos, sustancias controladas ni suplementos que sean ilegales, estén prohibidos o sean nocivos para los participantes, sea cual fuere la razón, incluyendo la mejora del rendimiento deportivo, o la condición física o mental. Los especialistas de fuerza y acondicionamiento físico solo pueden proporcionar a los participantes, y solo si tienen 18 años o más, aquellas sustancias que sean legales y se haya demostrado científicamente que son beneficiosas y en ningún caso perniciosas.

Las reglas y directrices tal vez difieran entre organismos deportivos (p. ej., NCAA, Comité Olímpico de Estados Unidos, Grandes Ligas de Béisbol, Asociación Nacional de Baloncesto, Liga Nacional de Fútbol Americano). Es responsabilidad del especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico estar al día e informarse sobre las reglas y directrices, así como sobre las pruebas científicas que respalden o refuten la eficacia de los suplementos nutricionales. Se recomienda que los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico consulten a un nutricionista o dietista deportivo sobre asuntos relacionados con los suplementos nutricionales.

Políticas de relaciones con el personal y actividades

A continuación se exponen diversas políticas habituales y las actividades típicamente desarrolladas en los centros de fuerza y acondicionamiento físico. Esta información debe servir tan solo como referencia; cada centro es único y puede presentar características que exijan la aplicación específica de estas políticas y actividades.

Sesión de orientación

Por lo general, al comienzo del año escolar o de la temporada deportiva se celebra una sesión de orientación con atletas y entrenadores antes de que empiecen a usar el centro de fuerza y acondicionamiento físico. En esta reunión el director facilita a todos los números de teléfono del centro y del personal, y explica los servicios que presta la plantilla (metas, objetivos y la misión del programa), las horas disponibles incluyendo el horario para el

entrenamiento de equipos, las normas y directrices del centro, así como las acciones disciplinarias y también las intervenciones de urgencias. Se deben explicar los requisitos para la participación y la elegibilidad. Una sesión de orientación sobre el entrenamiento de la fuerza debe contemplar también el uso correcto del equipamiento, las técnicas correctas de vigilancia cuando sean apropiadas, la correcta ejecución de los ejercicios y los riesgos habituales asociados con una técnica de ejecución o una vigilancia incorrectas o sin prestar suficiente atención.

Notificaciones y documentación

Como se expuso con anterioridad, es esencial contar con toda la documentación y archivo para una buena gestión y control de las instalaciones y los programas de fuerza y acondicionamiento físico. En casos de emergencia o incidentes de lesiones, es importante establecer una cadena de mando en la gestión de riesgos, lo cual tal vez incluya a los entrenadores, al director del centro, al personal de medicina del deporte y al director deportivo. Se deben hacer esfuerzos significativos por proteger la intimidad y confidencialidad de los participantes. De acuerdo con la legislación reguladora federal, como por ejemplo la Ley de Transferencia y Responsabilidad de Seguro Médico (HIPAA), la información concerniente a un asegurado médico no se puede divulgar sin su autorización; esto afecta también a los informes de lesiones emitidos por el personal de medicina del deporte. Se debe redactar un informe del incidente o lesión y archivarse siempre que se produzca una lesión (19).

Cualquier informe adicional que se haya de elaborar y conservar por su importancia crucial para el centro y para el desarrollo de programas de fuerza y acondicionamiento físico debe incluir lo siguiente (20):

- Credenciales del personal.
- Normas y pautas de los profesionales.
- Principios e intervenciones para la actividad y la seguridad (plan de emergencias por escrito).
- Manuales de los fabricantes para los usuarios del material deportivo (garantías, directrices operativas, instalación, montaje).
- Mantenimiento de las instalaciones y del material deportivo (inspección, conservación, limpieza y reparación).
- Autorización médica previa a la participación.

- Autorización para la vuelta a la participación.
- Documentos legales de protección del personal, como el consentimiento informado, la condonación de deudas, el contrato personal.
- Diarios de entrenamiento, notas de instrucción.

Los participantes deben completar y firmar estos documentos legales en la sesión anual de orientación.

Código ético y profesionalismo

Un código ético comprende las normas y principios por los que se rigen los profesionales. La mayoría de las organizaciones profesionales cuentan con códigos éticos o con códigos de conducta que deben aceptar cumplir sus miembros y aplicar en la práctica profesional (17). La finalidad de estos códigos es la de generalizar el profesionalismo y elevar el nivel de actuación ética, a la vez que se protegen los derechos y la dignidad de las personas. Los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico se deben familiarizar con el Código Ético de la NCAA, así como con el código ético de su institución y el código de conducta de los estudiantes y atletas si fuese aplicable. La principal prioridad es el bienestar de los atletas. También hay que aplicar las pautas a los casos de acoso, novatadas y contactos con los medios de comunicación sociales. Además, se debe plantear la designación de una estrategia específica respecto a la gente, el código de etiqueta, el uso del teléfono, las sesiones de ejercicio personalizadas y el uso personal del material deportivo de la empresa, así como las normas para las relaciones entre entrenador y atletas, entrenador e internos, y entrenador y entrenador deportivo, amén de la conducta de los atletas en la sala de pesas (4, 18). La finalidad de estas normas escritas es mejorar la eficacia del programa de fuerza y acondicionamiento físico e imponer unas normas de integridad exigentes.

Instrucción y supervisión

Un especialista cualificado debe instruir correctamente a los atletas sobre las técnicas seguras y eficaces para entrenar la fuerza y el acondicionamiento físico. La instrucción implica enseñar a los atletas destrezas de forma segura y haciendo correcciones cuando sea necesario. Hacer más hincapié en la seguridad y la técnica correcta para el entrenamiento con resistencia que en la

cantidad de peso levantado ayuda a reducir la incidencia de lesiones y, por tanto, las denuncias y litigios. Se deben emplear métodos y procedimientos de instrucción, así como progresiones que se ajusten a las pautas y normas profesionales (5).

Además, se requiere supervisión directa para lograr el máximo en el rendimiento, en la seguridad y la instrucción. Los miembros de la plantilla deben tener capacidad para comunicarse con claridad y tener la zona y al atleta supervisados (si no todo el centro). Es crítico vigilar al atleta que levanta pesas o hace ejercicios con cierta dificultad, junto con el empleo de equipamiento de seguridad (19). El personal se debe comunicar eficazmente con el atleta para garantizar la seguridad, corrección y eficacia de la vigilancia cuando los atletas practican ejercicios en que se sostienen pesas libres sobre el tronco o se desplazan sobre la cara y la cabeza. Los principios de la supervisión comprenden los siguientes (5):

- Estar siempre allí.
- Estar activo y presto.
- Ser prudente, cuidadoso y preparado.
- Estar cualificado.
- Estar vigilante.
- Informar a los participantes de los procedimientos de seguridad y emergencias.
- Conocer el estado de salud de los participantes.
- Monitorizar y aplicar las normas y directrices.
- Monitorizar y examinar a fondo el entorno.

La pauta 3.1 de las *Strength and Conditioning Professionals Standards and Guidelines* establece lo siguiente:

> Las actividades de fuerza y acondicionamiento físico se deben planificar, y debe haber disponible un número adecuado de personal cualificado de modo que, durante los momentos de máxima afluencia, se cumplan las pautas recomendadas para el espacio mínimo permitido por participante (9,3 metros cuadrados), para las ratios entre profesionales y participantes (1:10 para atletas del último curso de instituto, 1:15 para atletas de instituto y 1:20 para atletas universitarios), y para el número de participantes por haltera o estación de entrenamiento (pág. 10).

La supervisión se cita en alrededor de un 80% de los casos judiciales en que atletas sufrieron lesiones (5). Una inadecuada instrucción o supervisión es con frecuencia la causa principal. Se debe supervisar constantemente a todos los atletas, lo cual exige la presencia física de un especialista cualificado de la fuerza y el acondicionamiento físico para supervisar todas las actividades (12, 13, 15). Para ofrecer una supervisión adecuada, las oficinas de los supervisores se deben localizar donde tengan una visión clara de las instalaciones y de los atletas (19). También hay que cumplir las ratios sugeridas entre personal y atletas, aunque pueden variar dependiendo del tipo de entrenamiento. Por ejemplo, si un grupo de atletas está en pleno entrenamiento con un circuito de máquinas, no se necesitará tanta supervisión como cuando los atletas están levantando pesas libres. También los atletas con pocos años de entrenamiento necesitan más supervisión que los atletas con experiencia en la sala de pesas.

En lo referente a la influencia de la supervisión sobre el rendimiento, las mejoras en la fuerza son mayores en personas que entrenan con relaciones más bajas de supervisión (10). Empleados y especialistas deben entender la importancia de la labor del personal para que se produzcan mejoras en la seguridad y en el rendimiento, y en casos en que no sean posibles relaciones óptimas por distintas razones, hay que seguir esforzándose por alcanzar la meta de que la relación sea apropiada además de práctica.

Se suelen requerir los servicios de los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico para acudir a las prácticas y competiciones, así como para viajar con los equipos deportivos. Se les debe animar a que vayan siempre y cuando esto no influya negativamente en la relación entre entrenador y atletas en las instalaciones.

El riesgo de lesión no se puede eliminar por completo, pero se puede gestionar con eficacia por el especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico.

Diseño de programas

Todo programa eficaz de entrenamiento de la fuerza y acondicionamiento físico se debe basar en principios científicos que mejoren el rendimiento y aumenten la resistencia a las lesiones, y siempre con unas metas puestas en los resultados específicos del deporte (6). La intensidad del programa se debe ajustar a los estándares y pautas de la NSCA. Remitimos al lector a los capítulos 14 a 21 y a los diversos informes de posicionamiento de la NSCA a

la hora de desarrollar planes de entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico. El director debe supervisar y controlar todos los programas de entrenamiento deportivo, entre ellos los de reacondicionamiento físico. Una copia de todos los programas diseñados por la plantilla (es decir, la lista de ejercicios que se deben practicar) tiene que haber sido revisada y constar en el archivo de la oficina del director antes de que un equipo inicie su programa (18).

Hoja de entrenamiento (tarjeta de entrenamiento)

El proceso por el cual se genera una hoja de entrenamiento es distinto en cada programa de entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico. Las actividades se deben haber establecido previamente y, por tanto, los atletas deben contar con la aprobación de su hoja de entrenamiento. Se aprobarán sesiones adicionales de ejercicio por parte del entrenador supervisor del programa de fuerza y acondicionamiento físico para garantizar un control correcto de la intensidad y el volumen de carga. Los miembros de la plantilla deben estar familiarizados con todos los ejercicios de la hoja de entrenamiento del atleta y no le deben aconsejar que practique ejercicios que no estén en la lista, a menos que haya sido el director del equipo de medicina del deporte quien los haya sugerido, lo cual deberá hacer por escrito lo antes posible después de la sesión. De cada ejercicio que se incluya en las hojas de entrenamiento del equipo deportivo, incluyendo ejercicios pliométricos y para el desarrollo de la agilidad y la velocidad, el director tiene que informar al personal sobre el modo de enseñar la técnica del ejercicio, además de la instrucción y las demostraciones. En caso de necesitarse supervisión adicional, los especialistas se pueden plantear que la última serie de ejercicios iniciales del atleta sea vista por un miembro de la plantilla y se ratifique su correcta ejecución. Se recomienda establecer una terminología clara y constante para referirse a los programas de entrenamiento deportivo.

Administración de las instalaciones

Las normas y directrices de un centro de entrenamiento de fuerza y acondicionamiento físico son importantes para que los especialistas tengan una guía de conducta y comportamiento, para llevar un orden y mantener el programa en curso hacia el objetivo de ofrecer un entorno seguro, limpio y profesional para el entrenamiento. Remitimos a la figura 24.6 donde se

expone una lista de las normas y directrices habituales en estos centros. Tienen que estar a la vista de todos en la zona de entrenamiento.

Hay que asumir que todo centro de fuerza y acondicionamiento físico es único y quizá tenga ciertas características que dicten la aplicación específica de principios y actividades. El equipamiento disponible, las dimensiones de las instalaciones y el tamaño del equipo pueden plantear al entrenador retos logísticos a la hora de programar los horarios. Se tendrá en cuenta qué formato de las sesiones influirá en el mayor número de atletas cuando se tomen decisiones sobre los horarios. En especial en el caso de institutos o universidades pequeñas, el objetivo es organizar el programa de fuerza y acondicionamiento físico para que el especialista pueda trabajar con el máximo número de atletas, basándose en el equipamiento y tiempo disponible, siempre dentro de una ratio adecuada de supervisión. En cualquier caso, la prioridad del tiempo de entrenamiento de un equipo depende del período de la temporada en la que esté. Los equipos en plena temporada suelen tener prioridad sobre los equipos fuera de temporada, porque a menudo el horario de entrenamiento gira en torno al horario de las prácticas y los partidos. Los equipos fuera de temporada tal vez tengan que comprometerse a entrenar por la mañana temprano si el centro no tiene espacio para acoger múltiples equipos a la vez.

La solución potencial pasa por adoptar un formato de lunes-miércoles-viernes para los equipos fuera de temporada, lo cual deja los martes y los jueves para los equipos en plena temporada. Si las competiciones del viernes interfieren con esta organización, una segunda posibilidad es que algunos de los equipos fuera de temporada acudan los lunes-martes y jueves, y otros los martes, jueves y viernes. Esto permite usar el centro por equipos en plena temporada los lunes y miércoles. Hay que plantearse programar los equipos fuera de temporada durante los momentos por la tarde dedicados a las prácticas. Los equipos en plena temporada pueden entrenar bien temprano y ya tarde para evitar el abarrotamiento de las instalaciones (3).

Para dar principio o término a las intervenciones, los principios se suelen basar en las actuaciones diarias, en la inspección y limpieza de las instalaciones. Además, hay que plantearse el establecer procedimientos específicos de actuación para los días de vacaciones o para el calendario académico de la institución, el empleo de música, las horas de oficina, el almacenaje y las actividades en el vestuario del personal. Una vez más, estos principios escritos tienen por finalidad mejorar la eficacia de las instalaciones

y favorecer la eficacia de los programas (19).

Planificación de la preparación y respuesta ante emergencias

Proporcionar un nivel asistencial dado es una responsabilidad compartida que comprende, pero no se reduce, al personal médico, los entrenadores, los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico, los administradores y la institución. Asegurar la vida es siempre la primera prioridad cuando se produce una emergencia. Tengamos presente que las emergencias, como las lesiones deportivas, se producen en cualquier momento y lugar durante las actividades. Tener un plan de respuesta por escrito para situaciones generales, así como para situaciones potencialmente mortales o no, proporciona una pauta para aplicar los procedimientos correctos y llevarlos a la práctica en caso de emergencia. Este **plan de acción ante emergencias** es un documento escrito que detalla los principios correctos para la curación de lesiones. Todo el personal del centro debe conocer el plan de acción de urgencias y los procedimientos seguros para atenderlas.

Componentes de un plan de acción ante emergencias

Los siguientes son los elementos típicos incluidos o descritos en todo plan para emergencias:

- Procedimientos de activación del SMU (servicio médico de urgencias).
- Nombres y números de teléfono de personas de contacto de atención primaria, secundaria y terciaria.
- Dirección exacta de las instalaciones de fuerza y acondicionamiento físico (para dársela al SMU).

Reglas y pautas de las instalaciones

- Antes de poder participar en los programas, los atletas se deben someter a un reconocimiento de detección sanitario previo a la participación y deben contar con autorización médica (5).
- Antes de la participación, los atletas deben asistir a clases de orientación sobre los riesgos habituales asociados con el entrenamiento resistido, sobre la correcta ejecución de los diversos ejercicios y sobre las posibles consecuencias si no se aplica la técnica correcta.
- Los atletas deben tener una hoja de entrenamiento, deben seguirla y anotar el contenido de las sesiones.
- Si un atleta tiene una lesión que impide la práctica de una parte del entrenamiento, debe recibir un programa modificado del departamento que describa qué ejercicios hay que evitar y cuáles hay que remplazar.
- Se exige que las halteras lleven collarín para mayor seguridad.
- Nadie debe hacer sentadillas fuera de las jaulas de sentadillas o de potencia.
- Se necesitan discos de pesas con cubierta de goma en las plataformas de halterofilia y en todos los ejercicios de potencia.
- Los atletas no deben llevar cinturones de halterofilia cuando puedan entrar en contacto con la tapicería del equipamiento deportivo.
- Los atletas solo deben sacar los discos de pesas de los soportes para ponerlas en la haltera. Nunca deben dejar discos en el suelo ni apoyados contra paredes o máquinas, y deben devolver las mancuernas a su soporte en el orden correcto. No se deben dejar caer ni lanzar pesas o mancuernas.
- Los atletas deben mostrar respeto al material deportivo y a las instalaciones en todo momento; no se tolera escupir en el centro ni hacer pintadas, y son causa de expulsión inmediata.
- En la sala de pesas se requiere concentración. No se permite hacer payasadas, ni emplear un lenguaje ofensivo o gritar, ni tampoco tener berrinches ni rabietas.
- Las oficinas del personal y el teléfono están fuera de los límites de los atletas a menos que se les dé permiso.
- Los atletas deben llevar siempre una indumentaria adecuada para entrenar, en especial camisetas y zapatillas deportivas.
- Los atletas deben usar vigilantes cuando hagan ejercicios en que la barra se apoye en la espalda o en los hombros, así como en ejercicios en que una haltera o las mancuernas se muevan por delante del rostro o por encima de la cabeza. Los ejercicios de potencia no requieren vigilantes.
- Los atletas deben informar inmediatamente al supervisor de servicio de cualquier lesión que se haya producido en las instalaciones, así como de irregularidades en el centro o en el equipamiento.
- No se permite la entrada en el centro de tabaco, comida, chicles, botellas de vidrio, latas, alcohol, drogas y sustancias prohibidas; sí se acepta el uso de botellas de plástico.
- Los supervisores no son responsables de los efectos personales de los usuarios ni de ningún objeto robado.
- No se pueden llevar joyas, como collares, pulseras, pendientes, colgantes ni relojes de pulsera.
- Los atletas no deben apoyar los pies en las paredes.
- Los atletas deben evitar en lo posible manchar el suelo con polvos y magnesio.
- Todos los invitados y visitantes deben pasar por las oficinas y firmar una renuncia.
- Los antiguos atletas que se reincorporen deben contar con la preaprobación de su programa por parte de un supervisor en plantilla y deben firmar una renuncia.
- El personal del departamento deportivo puede usar estas instalaciones en las sesiones personales si no interfieren con las necesidades de otros atletas.
- Los miembros del centro que no sean del departamento deportivo podrán usar las instalaciones con autorización del director deportivo después de firmar una renuncia. Entre los usuarios reconocidos se encuentran normalmente atletas, estudiantes, invitados, personal del centro, profesorado con autorización, antiguos atletas, miembros de la familia y equipos visitantes.
- Cuando alguna pieza del material deportivo salga de la sala de pesas, será inspeccionada por el supervisor y se tomará nota de ello en su despacho.
- Los supervisores de servicio tienen autoridad sobre cualquier conducta en la sala de pesas y sobre el empleo del material deportivo, y pueden expulsar a un atleta del centro si no cumple las instrucciones.

FIGURA 24.6 La lista de normas y políticas debe estar en forma de cartel en el área de entrenamiento y bien a la vista.

Fuente: Adaptado de Earle, 1993 (7); Epley, *Flight Manual*, 1998 (8), y Epley, *Make the play*, 1998 (9).

- Localización de los teléfonos.
- Localización de las salidas más próximas.

- Personal cualificado designado para cuidar las lesiones (es decir, personal de medicina del deporte).
- Acceso a las ambulancias.
- Localización de material sanitario de urgencias.
- Plan de acción en caso de incendio, tornado, lesiones o heridas potencialmente mortales, crímenes, terrorismo, etc.

Además de colgar en un lugar bien visible un plan de asistencia para emergencias, es crítico que todos los especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico tengan al día un certificado de primeros auxilios y RCP, y practiquen al menos cada tres meses un plan de acción de emergencias.

Personal de emergencias

Se debe establecer en colaboración un plan que permita y determine la necesidad de contar *in situ* con cobertura médica adecuada. El plan de emergencias debe contemplar el acceso inmediato o planificado a un método para una evaluación de las circunstancias en el momento oportuno. Como primer posible auxilio, el especialista de fuerza y acondicionamiento físico y cualquier personal asociado con las prácticas, la instrucción de destrezas y la fuerza y el acondicionamiento físico deberían adquirir y mantener un certificado profesional de primeros auxilios, RCP y DEE (6, 20).

Comunicación con emergencias

Se debe establecer una línea directa de comunicación y establecer un plan de emergencia. La comunicación inmediata es crucial para prestar asistencia urgente inmediata. El acceso a un teléfono (fijo o móvil) es una opción viable si no hay personal médico *in situ*. Hay que asegurarse de que los participantes del programa de fuerza y acondicionamiento físico y los supervisores conozcan la localización del teléfono más próximo, sea dentro o fuera del local (6, 20).

Equipamiento de emergencias

El equipamiento de emergencias debe estar siempre disponible en situaciones de gravedad. Mantener al día un certificado profesional de primeros auxilios,

RCP y DEE significa que el personal está entrenado en su uso correcto. Los primeros en prestar auxilio se deben someter periódicamente a simulacros y pruebas. Así mismo, la información de emergencia para los participantes debe estar disponible y al acceso del personal médico (20).

Funciones dentro del equipo de emergencias

Se recomienda que los profesionales desarrollen un plan de emergencias específico en su propio centro. La tabla 24.2 muestra un ejemplo de plan de intervenciones de urgencia. Un plan de emergencias debe enumerar las estrategias para gestionar situaciones urgentes y proporcionar nombres, titulaciones y número de teléfono de personas importantes con las que contactar como parte del equipo de emergencias. Cada persona puede ejercer un papel distinto, pero conocer esos roles permite al equipo de emergencias funcionar con eficacia.

Dentro del equipo de emergencias, existen cuatro roles principales. El primero es proporcionar asistencia inmediata a los atletas, dado que el tiempo es el factor más crítico en las situaciones de emergencia. El segundo comprende la búsqueda del material de urgencias, ya que hay que conseguir que los usuarios del centro conozcan los tipos y la localización del material de urgencias antes de participar en las actividades deportivas. Lo siguiente es la activación de un sistema médico de urgencias (SMU). Una vez más, hay que establecer un método de comunicación directa en casos en que no haya *in situ* un transporte de urgencias. Por último, la persona que haga la llamada debe estar familiarizado con la localización del centro durante el encuentro de orientación. Esto hará más sencillo dirigir el SMU hasta la escena del accidente. Se debe establecer una ruta clara y una línea directa para que el transporte acceda y salga con rapidez de las instalaciones.



TABLA 24.2 Muestra de protocolo de los procedimientos de emergencia

Situaciones potencialmente mortales	Peligros ambientales	Situaciones que no son potencialmente mortales

Paso 1: Llamar al 911	**Paso 1:** Activar la alarma apropiada y lograr que todo el mundo se dirija a un lugar seguro predeterminado	**Paso 1:** Proporcionar primeros auxilios
Paso 2: No mover a la vfctima	**Paso 2:** Llamar al 911 para pedir ayuda médica si fuese necesaria	**Paso 2:** Llamar al 911 para pedir ayuda médica si fuese necesaria
Paso 3: Si la vfctima esta consciente, se le pedirá permiso para administrarle primeros auxilios	**Paso 3:** Explicar a todas las partes y notificar al personal de rescate	**Paso 3:** Activar el plan de comunicación con urgencias y notificar a las partes apropiadas
Paso 4: Administrar RCP o DEE si fuese necesario	**Paso 4:** Activar el plan de comunicación con urgencias y notificar a las partes apropiadas	**Paso 4:** Documentar el incidente en el informe de lesion
Paso 5: Permanecer con la víctima hasta que llegue la ayuda	**Paso 5:** Documentar el incidente en el informe de lesión	
Paso 6: Activar el plan de comunicación con urgencias para notificar el caso a los servicios correspondientes		
Paso 7: Documentar el incidente en el informe de lesión		

Fuente: Adaptado, con autorización, de NSCA, 2011 (18).

Conclusión

Programar las metas confiere al programa de fuerza y acondicionamiento físico una dirección y un propósito, y los objetivos del programa ayudan a mantener el programa centrado en la tarea al proporcionar unos pasos hacia esas metas. Basándose en tales metas y objetivos, los principios e intervenciones se desarrollan de modo que guíen a los participantes y al personal a la hora de dirigir y garantizar un entorno seguro en el entrenamiento. Si la documentación sobre el centro de fuerza y acondicionamiento físico no se recaba apropiadamente y si el equipamiento no se mantiene en buen estado de la forma correcta, podrían presentarse demandas legales por lesiones. Puede haber demandas por negligencia si se producen lesiones y no se adoptaron las precauciones apropiadas. Los

especialistas de la fuerza y el acondicionamiento físico tienen distintas responsabilidades en la gestión diaria de este tipo de instalaciones, entre otras, la conciencia de la correcta función y reparación de todo el material con el fin de reducir la posibilidad de que se presenten cargos de responsabilidad legal al fabricante. Para que los atletas y el personal cuenten con directrices y con el fin de reducir la posibilidad de afrontar un pleito, todo centro debe contar con un manual propio de principios e intervenciones cuyas pautas incluyan todos los temas abordados en este capítulo.

TÉRMINOS CLAVE

alcance de las competencias
asunción de riesgos
causalidad
daños y perjuicios
deberes
declaración de objetivos
gestión de riesgos
incumplimiento de las obligaciones
intervenciones
ley de limitaciones
litigio
metas del programa
negligencia
nivel de asistencia
objetivos del programa
plan de acción ante emergencias
principios
responsabilidad
del fabricante

PREGUNTAS DE REPASO

(respuestas en la página 657)

1. ¿Cuál es la relación recomendada entre entrenador y participantes durante los períodos de máxima utilización de la sala de pesas en el marco universitario?
   a. 1:10.

b. 1:15.
c. 1:20.
d. 1:25.

2. ¿Cuál de las siguientes personas es responsable de que el atleta inicie su participación formal en un programa de fuerza y acondicionamiento físico?
   a. Director deportivo.
   b. Padre o tutor del equipo.
   c. Entrenador deportivo del equipo.
   d. Especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico.

3. La documentación adecuada es esencial para un centro de fuerza y acondicionamiento físico. ¿Cuál de los siguientes elementos NO forma parte de los informes que se deben guardar en los archivos del centro de fuerza y acondicionamiento físico?
   a. Manual del fabricante para el usuario.
   b. Diarios de entrenamiento de los participantes.
   c. Plan de emergencias por escrito.
   d. Antecedentes personales fisiológicos y patológicos.

4. Las destrezas desarrolladas y los conocimientos del especialista de la fuerza y el acondicionamiento físico comprenden competencias en todos los campos EXCEPTO los siguientes:
   a. Ciencias de la actividad física y el deporte.
   b. Gestión y administración.
   c. Tasación y asuntos financieros
   d. Enseñanza e instrucción deportivas.

5. ¿Cuál de los siguientes NO es un componente de un plan de emergencias?
   a. Medicina de urgencias.
   b. Comunicación con emergencias.
   c. Material sanitario de urgencias.
   d. Personal de emergencias.

RESPUESTAS A LAS PREGUNTAS DE REPASO

Capítulo 1
1. b, 2. a, 3. b, 4. b, 5. b

Capítulo 2
1. c, 2. d, 3. a, 4. a, 5. c

Capítulo 3
1. b, 2. a, 3. a, 4. c, 5. d

Capítulo 4
1. d, 2. a, 3. b, 4. b, 5. a

Capítulo 5
1. d, 2. a, 3. c, 4. b, 5. c, 6. d

Capítulo 6
1. d, 2. d, 3. d, 4. a, 5. c

Capítulo 7
1. d, 2. a, 3. c, 4. d, 5. b

Capítulo 8
1. a, 2. d, 3. b, 4. b, 5. c

Capítulo 9
1. a, 2. b, 3. b, 4. d, 5. c

Capítulo 10
1. b, 2. a, 3. c, 4. c, 5. a

Capítulo 11
1. b, 2. d, 3. b, 4. c, 5. a

Capítulo 12
1. a, 2. c, 3. b, 4. d, 5. b

Capítulo 13
1. b, 2. c, 3. a, 4. c, 5. b

Capítulo 14
1. c, 2. d, 3. c, 4. c, 5. a

Capítulo 15
1. d, 2. b, 3. c, 4. b, 5. b

Capítulo 16
1. b, 2. a, 3. b, 4. a, 5. c

Capítulo 17
1. a, 2. c, 3. b, 4. a, 5. d

Capítulo 18
1. d, 2. b, 3. c, 4. c, 5. a

Capítulo 19
1. d, 2. c, 3. a, 4. c, 5. b

Capítulo 20
1. c, 2. a, 3. b, 4. c, 5. d

Capítulo 21
1. b, 2. c, 3. c, 4. b, 5. a

Capítulo 22
1. c, 2. b, 3. b, 4. a, 5. d

Capítulo 23
1. d, 2. a, 3. c, 4. d, 5. c

Capítulo 24
1. c, 2. c, 3. d, 4. c, 5. a

BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO 1 Estructura y función de los sistemas corporales

1. Billeter, R y Hoppeler, H. Muscular basis of strength. En: *The Encyclopaedia of Sports Medicine: Strength and Power in Sport*. 2.ª ed. Komi, PV, ed. Oxford: Blackwell Science, 50-72, 2003.
2. Castro, MJ, Apple, DF, Staron, RS, Campos, GER y Dudley, GA. Influence of complete spinal cord injury on skeletal muscle within six months of injury. *J Appl Physiol* 86:350-358, 1999.
3. Castro, MJ, Kent-Braun, JA, Ng, AV, Miller, RG y Dudley, GA. Fiber-type specific Ca^{2+} actomyosin ATPase activity in multiple sclerosis. *Muscle Nerve* 21:547-549, 1998.
4. Dudley, GA, Czerkawski, J, Meinrod, A, Gillis, G, Baldwin, A y Scarpone, M. Efficacy of naproxen sodium for exercise-induced dysfunction, muscle injury and soreness. *Clin J Sport Med* 7:3-10, 1997.
5. Dudley, GA, Harris, RT, Duvoisin, MR, Hather, BM y Buchanan, P. Effect of voluntary versus artificial activation on the relation of muscle torque to speed. *J Appl Physiol* 69:2215-2221, 1990.
6. Harris, RT y Dudley, GA. Factors limiting force during slow, shortening muscle actions in vivo. *Acta Physiol Scand* 152:63-71, 1994.
7. Hather, BM, Tesch, PA, Buchanan, P y Dudley, GA. Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance. *Acta Physiol Scand* 143:177-185, 1991.
8. Hunter, GR, Bamman, MM, Larson-Meyer, DE, Joanisse, DR, McCarthy, JP, Blaudeau, TE y Newcomer, BR. Inverse relationship between exercise economy and oxidative capacity in muscle. *Eur J Appl Physiol* 94:558-568, 2005.
9. Kent-Braun, JA, Ng, AV, Castro, MJ, Weiner, MW, Dudley, GA y Miller, RG. Strength, skeletal muscle size and enzyme activity in multiple sclerosis. *J Appl Physiol* 83:1998-2004, 1997.
10. Klug, GA y Tibbits, GF. The effect of activity on calcium mediated events in striated muscle. En: *Exercise and Sport Science Reviews*. Pandolf, KB, ed. New York: Macmillan, 1-60, 1988.
11. Mudd, LM, Fornetti, W y Pivarnik, JM. Bone mineral density in collegiate female athletes: Comparisons among sports. *J Athl Train* 42:403-408, 2007.
12. Ploutz, LL, Biro, RL, Tesch, PA y Dudley, GA. Effect of resistance training on muscle mass involvement in exercise. *J Appl Physiol* 76:1675-1681, 1994.
13. Tortora, GJ y Derrickson, B. *Principles of Anatomy and Physiology*. Hoboken, NJ: Wiley, 259, 292-304, 692-699, 704-711, 730-737, 849-852, 857-860, 865-866, 2014.

CAPÍTULO 2 Biomecánica del ejercicio resistido

1. Almond, LM, Hamid, NA y Wasserberg, J. Thoracic intradural disc herniation. *Br J Neurosurg* 21:32-34, 2007.
2. Anderson, CK y Chaffin, DB. A biomechanical evaluation of five lifting techniques. *Appl Ergon* 17:2-8, 1986.
3. Bartelink, DL. The role of abdominal pressure in relieving the pressure on the lumbar intervertebral discs. *J Bone Joint Surg Br* 39-B:718-725, 1957.
4. Chou, LW, Kesar, TM y Binder-Macleod, SA. Using customized rate-coding and recruitment

strategies to maintain forces during repetitive activation of human muscles. *Phys Ther* 88:363-375, 2008.
5. Cleather, DJ. Adjusting powerlifting performances for differences in body mass. *J Strength Cond Res* 20:412-421, 2006.
6. Cormie, P, McCaulley, GO, Triplett, NT y McBride, JM. Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercises. *Med Sci Sports Exerc* 39:340-349, 2007.
7. Dolan, P y Adams, MA. Recent advances in lumbar spinal mechanics and their significance for modelling. *Clin Biomech* 16 Suppl 1:S8-S16, 2001.
8. Ellenbecker, TS, Reinold, M y Nelson, CO. Clinical concepts for treatment of the elbow in the adolescent overhead athlete. *Clin Sports Med* 29:705-724, 2010.
9. Folland, J y Morris, B. Variable-cam resistance training machines: Do they match the angle-torque relationship in humans? *J Sports Sci* 26:163-169, 2008.
10. Frey-Law, LA, Laake, A, Avin, KG, Heitsman, J, Marler, T y Abdel-Malek, K. Knee and elbow 3D strength surfaces: Peak torque-angle-velocity relationships. *J Appl Biomech* 28:726-737, 2012.
11. Funato, K, Kanehisa, H y Fukunaga, T. Differences in muscle cross-sectional area and strength between elite senior and college Olympic weight lifters. *J Sports Med Phys Fitness* 40:312-318, 2000.
12. Gowitzke, BA y Milner, M. *Scientific Bases of Human Movement*. Baltimore: Williams & Wilkins, 1988.
13. Gray, M, Di Brezzo, R y Fort, IL. The effects of power and strength training on bone mineral density in premenopausal women. *J Sports Med Phys Fitness* 53:428-436, 2013.
14. Greenland, KO, Merryweather, AS y Bloswick, DS. Prediction of peak back compressive forces as a function of lifting speed and compressive forces at lift origin and destination—a pilot study. *Saf Health Work* 2:236-242, 2011.
15. Hackett, DA y Chow, CM. The Valsalva maneuver: Its effect on intra-abdominal pressure and safety issues during resistance exercise. *J Strength Cond Res* 27:2338-2345, 2013.
16. Harman, EA, Johnson, M y Frykman, PN. A movement-oriented approach to exercise prescription. *NSC A J* 14:47-54, 1992.
17. Harman, EA, Rosenstein, RM, Frykman, PN y Nigro, GA. Effects of a belt on intra-abdominal pressure during weight lifting. *Med Sci Sports Exerc* 21:186-190, 1989.
18. Hartmann, H, Wirth, K y Klusemann, M. Analysis of the load on the knee joint and vertebral column with changes in squatting depth and weight load. *Sports Med* 43:993-1008, 2013.
19. Hill, TL y White, GM. On the sliding-filament model of muscular contraction, IV. Calculation of force-velocity curves. *Proc Natl Acad Sci USA* 61:889-896, 1968.
20. Ichinose, Y, Kanehisa, H, Ito, M, Kawakami, Y y Fukunaga, T. Relationship between muscle fiber pennation and force generation capability in Olympic athletes. *Int J Sports Med* 19:541-546, 1998.
21. Ikegawa, S, Funato, K, Tsunoda, N, Kanehisa, H, Fukunaga, T y Kawakami, Y. Muscle force per cross-sectional area is inversely related with pennation angle in strength trained athletes. *J Strength Cond Res* 22:128-131, 2008.
22. Jenkins, NH y Mintowt-Czyz, WJ. Bilateral fracture-separations of the distal radial epiphyses during weight-lifting. *Br J Sports Med* 20:72-73, 1986.
23. Jorgensen, K. Force-velocity relationship in human elbow flexors and extensors. En: *Biomechanics A-V*. PV Komi, ed. Baltimore: University Park Press, 1976.
24. Kahrizi, S, Parnianpour, M, Firoozabadi, SM, Kasemnejad, A y Karimi, E. Evaluation of spinal internal loads and lumbar curvature under holding static load at different trunk and knee positions. *Pak J Biol Sci* 10:1036-1043, 2007.
25. Kanehisa, H y Fukunaga, T. Velocity associated characteristics of force production in college weight lifters. *Br J Sports Med* 33:113-116, 1999.
26. Lake, JP, Carden, PJ y Shorter, KA. Wearing knee wraps affects mechanical output and

performance characteristics of back squat exercise. *J Strength Cond Res* 26:2844-2849, 2012.
27. Lander, JE, Bates, BT, Sawhill, JA y Hamill, J. A comparison between free-weight and isokinetic bench pressing. *Med Sci Sports Exerc* 17:344-353, 1985.
28. Lander, JE, Simonton, RL y Giacobbe, JK. The effectiveness of weight-belts during the squat exercise. *Med Sci Sports Exerc* 22:117-126, 1990.
29. Maffulli, N y Bruns, W. Injuries in young athletes. *Eur J Pediatr* 159:59-63, 2000.
30. Mandell, PJ, Weitz, E, Bernstein, JI, Lipton, MH, Morris, J, Bradshaw, D, Bodkin, KP y Mattmiller, B. Isokinetic trunk strength and lifting strength measures. Differences and similarities between low-back-injured and noninjured workers. *Spine* 18:2491-2501, 1993.
31. Maughan, RJ, Watson, JS y Weir, J. Muscle strength and cross-sectional area in man: A comparison of strength-trained and untrained subjects. *Br J Sports Med* 18:149-157, 1984.
32. Milone, MT, Bernstein, J, Freedman, KB y Tjoumakaris, F. There is no need to avoid resistance training (weight lifting) until physeal closure. *Phys Sportsmed* 41:101-105, 2013.
33. Moritani, T y deVries, HA. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med* 58:115-130, 1979.
34. Perrine, JJ y Edgerton, VR. Muscle force-velocity and power-velocity relationships under isokinetic loading. *Med Sci Sports* 10:159-166, 1978.
35. Pierson, EH, Bantum, BM y Schaefer, MP. Exertional rhabdomyolysis of the elbow flexor muscles from weight lifting. *Phys Med Rehabil* 6:556-559, 2014.
36. Raske, A y Norlin, R. Injury incidence and prevalence among elite weight and power lifters. *Am J Sports Med* 30:248-256, 2002.
37. Reynolds, KL, Harman, EA, Worsham, RE, Sykes, MB, Frykman, PN y Backus, VL. Injuries in women associated with a periodized strength training and running program. *J Strength Cond Res* 15:136-143, 2001.
38. Rokito, AS y Lofin, I. Simultaneous bilateral distal biceps tendon rupture during a preacher curl exercise: A case report. *Bull NYU Hosp Jt Dis* 66:68-71, 2008.
39. Rutherford, OM y Jones, DA. Measurement of fibre pennation using ultrasound in the human quadriceps in vivo. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 65:433-437, 1992.
40. Scott, SH y Winter, DA. A comparison of three muscle pennation assumptions and their effect on isometric and isotonic force. *J Biomech* 24:163-167, 1991.
41. Siewe, J, Rudat, J, Rollinghoff, M, Schlegel, UJ, Eysel, P y Michael, JW. Injuries and overuse syndromes in powerlifting. *Int J Sports Med* 32:703-711, 2011.
42. Stone, MH, Sanborn, K, O'Bryant, HS, Hartman, M, Stone, ME, Proulx, C, Ward, B y Hruby, J. Maximum strength-power-performance relationships in collegiate throwers. *J Strength Cond Res* 17:739-745, 2003.
43. Toji, H y Kaneko, M. Effect of multiple-load training on the force-velocity relationship. *J Strength Cond Res* 18:792-795, 2004.
44. Zemper, ED. Four-year study of weight room injuries in a national sample of college football teams. *NSCA J* 12:32-34, 1990.

CAPÍTULO 3 Bioenergética del ejercicio y del entrenamiento

1. Adeva-Andany, M, Lopez-Ojen, M, Funcasta-Calderon, R, Ameneiros-Rodriguez, E, Donapetry-Garcia, C, Vila-Altesor, M y Rodriguez-Seijas, J. Comprehensive review on lactate metabolism in human health. *Mitochondrion* 17:76-100, 2014.
2. Ahlborg, G y Felig, P. Influence of glucose ingestion on fuelhormone response during prolonged exercise. *J Appl Physiol* 41:683-688, 1976.
3. Ahlborg, G y Felig, P. Lactate and glucose exchange across the forearm, legs, and splanchnic bed

during and after prolonged leg exercise. *J Clin Invest* 69:45-54, 1982.
4. Allen, DG, Lamb, GD y Westerblad, H. Skeletal muscle fatigue: Cellular mechanisms. *Physiol Rev* 88:287-332, 2008.
5. Allen, DG y Westerblad, H. Role of phosphate and calcium stores in muscle fatigue. *J Physiol* 536:657-665, 2001.
6. Altenburg, TM, Degens, H, van Mechelen, W, Sargeant, AJ y de Haan, A. Recruitment of single muscle fibers during submaximal cycling exercise. *J Appl Physiol* 103:1752-1756, 2007.
7. Astrand, P, Rodahl, K, Dahl, HA y Stromme, SB. *Textbook of Work Physiology: Physiological Bases of Exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics, 12-17, 2003.
8. Baker, JS, Thomas, N, Cooper, SM, Davies, B y Robergs, RA. Exercise duration and blood lactate concentrations following high intensity cycle ergometry. *Res Sports Med* 20:129-141, 2012.
9. Barany, M y Arus, C. Lactic acid production in intact muscle, as followed by ^{13}C and ^{1}H nuclear magnetic resonance. En: *Human Muscle Power*. Jones, NL, McCartney, N y McComas, AJ, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 153-164, 1986.
10. Barnard, RJ, Edgerton, VR, Furukawa, T y Peter, JB. Histochemical, biochemical, and contractile properties of red, white, and intermediate fibers. *Am J Physiol* 220:410-414, 1971.
11. Barnett, C, Carey, M, Proietto, J, Cerin, E, Febbraio, MA y Jenkins, D. Muscle metabolism during sprint exercise in man: Influence of sprint training. *J Sci Med Sport* 7:314-322, 2004.
12. Bastien, C y Sanchez, J. Phosphagens and glycogen content in skeletal muscle after treadmill training in young and old rats. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 52:291-295, 1984.
13. Berg, WE. Individual differences in respiratory gas exchange during recovery from moderate exercise. *Am J Physiol* 149:597-610, 1947.
14. Bogdanis, GC, Nevill, ME, Boobis, LH y Lakomy, HK. Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *J Appl Physiol* 80:876-884, 1996.
15. Bogdanis, GC, Nevill, ME, Boobis, LH, Lakomy, HK y Nevill, AM. Recovery of power output and muscle metabolites following 30 s of maximal sprint cycling in man. *J Physiol* 482 (Pt 2):467-480, 1995.
16. Boobis, I, Williams, C y Wooten, SN. Influence of sprint training on muscle metabolism during brief maximal exercise. *J Physiol* 342:36-37, 1983.
17. Borsheim, E y Bahr, R. Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. *Sports Med* 33:1037-1060, 2003.
18. Bridges, CR, Jr., Clark, BJ, 3.°, Hammond, RL y Stephenson, LW. Skeletal muscle bioenergetics during frequency-dependent fatigue. *Am J Physiol* 260:C643-C651, 1991.
19. Brooks, GA. The lactate shuttle during exercise and recovery. *Med Sci Sports Exerc* 18:360-368, 1986.
20. Brooks, GA. Amino acid and protein metabolism during exercise and recovery. *Med Sci Sports Exerc* 19:S150-S156, 1987.
21. Brooks, GA, Brauner, KE y Cassens, RG. Glycogen synthesis and metabolism of lactic acid after exercise. *Am J Physiol* 224:1162-1166, 1973.
22. Brooks, GA, Fahey, TD y Baldwin, KM. *Exercise Physiology: Human Bioenergetics and Its Applications*. New York: McGraw-Hill, 102-108, 2005.
23. Buchheit, M y Laursen, PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: Cardiopulmonary emphasis. *Sports Med* 43:313-338, 2013.
24. Buchheit, M y Laursen, PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. Part II: Anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. *Sports Med* 43:927-954, 2013.
25. Burgomaster, KA, Heigenhauser, GJ y Gibala, MJ. Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbo hydrate metabolism during exercise and time-trial performance. *J*

Appl Physiol 100:2041-2047, 2006.
26. Burgomaster, KA, Hughes, SC, Heigenhauser, GJ, Bradwell, SN y Gibala, MJ. Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 98:1985-1990, 2005.
27. Busa, WB y Nuccitelli, R. Metabolic regulation via intracellular pH. *Am J Physiol* 246:R409-R438, 1984.
28. Carling, D. AMP-activated protein kinase: Balancing the scales. *Biochimie* 87:87-91, 2005.
29. Cerretelli, P, Ambrosoli, G y Fumagalli, M. Anaerobic recovery in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 34:141-148, 1975.
30. Cerretelli, P, Rennie, D y Pendergast, D. Kinetics of metabolic transients during exercise. *Int J Sports Med* 55:178-180, 1980.
31. Christensen, EH, Hedman, R y Saltin, B. Intermittent and continu ous running (A further contribution to the physiology of intermittent work). *Acta Physiol Scand* 50:269-286, 1960.
32. Coggan, AR y Coyle, EF. Reversal of fatigue during prolonged exercise by carbohydrate infusion or ingestion. *J Appl Physiol* 63:2388-2395, 1987.
33. Constable, SH, Favier, RJ, McLane, JA, Fell, RD, Chen, M y Holloszy, JO. Energy metabolism in contracting rat skeletal muscle: Adaptation to exercise training. *Am J Physiol* 253:C316-C322, 1987.
34. Constantin-Teodosiu, D, Greenhaff, PL, McIntyre, DB, Round, JM y Jones, DA. Anaerobic energy production in human skeletal muscle in intense contraction: A comparison of 31P magnetic resonance spectroscopy and biochemical techniques. *Exp Physiol* 82:593-601, 1997.
35. Coyle, EF, Hagberg, JM, Hurley, BF, Martin, WH, Ehsani, AA y Holloszy, JO. Carbohydrate feeding during prolonged strenuous exercise can delay fatigue. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 55:230-235, 1983.
36. Craig, BW, Lucas, J, Pohlman, R y Stelling, H. The effects of running, weightlifting and a combination of both on growth hormone release. *J Appl Sport Sci Res* 5:198-203, 1991.
37. Cramer, JT. Creatine supplementation in endurance sports. En: *Essentials of Creatine in Sports and Health*. Stout, JR, Antonio, J y Kalman, D, eds. Totowa, NJ: Humana, 45-100, 2008.
38. Creer, AR, Ricard, MD, Conlee, RK, Hoyt, GL y Parcell, AC. Neural, metabolic, and performance adaptations to four weeks of high intensity sprint-interval training in trained cyclists. *Int J Sports Med* 25:92-98, 2004.
39. Davis, JA, Frank, MH, Whipp, BJ y Wasserman, K. Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 46:1039-1046, 1979.
40. Di Prampero, PE, Peeters, L y Margaria, R. Alactic O_2 debt and lactic acid production after exhausting exercise in man. *J Appl Physiol* 34:628-632, 1973.
41. Dohm, GL, Williams, RT, Kasperek, GJ y Vanrij, AM. Increased excretion of urea and N-tau-methylhistidine by rats and humans after a bout of exercise. *J Appl Physiol* 52:27-33, 1982.
42. Donaldson, SK, Hermansen, L y Bolles, L. Differential, direct effects of H^+ on Ca^{2+}-activated force of skinned fibers from the soleus, cardiac and adductor magnus muscles of rabbits. *Eur J Appl Physiol* 376:55-65, 1978.
43. Donovan, CM y Brooks, GA. Endurance training affects lactate clearance, not lactate production. *Am J Physiol* 244:E83-E92, 1983.
44. Dudley, GA y Djamil, R. Incompatibility of endurance- and strength-training modes of exercise. *J Appl Physiol* 59:1446-1451, 1985.
45. Dudley, GA y Murray, TF. Energy for sport. *NSCA J* 3:14-15, 1982.
46. Dudley, GA y Terjung, RL. Influence of aerobic metabolism on IMP accumulation in fast-twitch muscle. *Am J Physiol* 248:C37-C42, 1985.
47. Dufaux, B, Assmann, G y Hollmann, W. Plasma lipoproteins and physical activity: A review. *Int J Sports Med* 3:123-136, 1982.

48. Edington, DW y Edgerton, VR. *The Biology of Physical Activity*. Boston: Houghton Mifflin, 35-46, 1976.
49. Eriksson, BO, Gollnick, PD y Saltin, B. Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11-13 years old. *Acta Physiol Scand* 87:485-497, 1973.
50. Essen, B. Glycogen depletion of different fibre types in human skeletal muscle during intermittent and continuous exercise. *Acta Physiol Scand* 103:446-455, 1978.
51. Fabiato, A y Fabiato, F. Effects of pH on the myofilaments and the sarcoplasmic reticulum of skinned cells from cardiac and skeletal muscles. *J Physiol* 276:233-255, 1978.
52. Farrell, PA, Wilmore, JH, Coyle, EF, Billing, JE y Costill, DL. Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med Sci Sports* 11:338-344, 1979.
53. Fitts, RH. The cross-bridge cycle and skeletal muscle fatigue. *J Appl Physiol* 104:551-558, 2008.
54. Fleck, SJ y Kraemer, WJ. *Designing Resistance Training Programs*. Champaign, IL: Human Kinetics, 65-73, 2003.
55. Freund, H y Gendry, P. Lactate kinetics after short strenuous exercise in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 39:123-135, 1978.
56. Friedman, JE, Neufer, PD y Dohm, GL. Regulation of glycogen resynthesis following exercise: Dietary considerations. *Sports Med* 11:232-243, 1991.
57. Fuchs, F, Reddy, Y y Briggs, FN. The interaction of cations with the calcium-binding site of troponin. *Biochim Biophys Acta* 221:407-409, 1970.
58. Gaesser, GA y Brooks, GA. Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption: A review. *Med Sci Sports Exerc* 16:29-43, 1984.
59. Ganong, WF. *Review of Medical Physiology*. New York: McGraw-Hill Medical, 8-10, 2005.
60. Garrett, R y Grisham, C. *Biochemistry*. Belmont, CA: Brooks/Cole, 536, 2012.
61. Garrett, R y Grisham, CM. *Biochemistry*. Fort Worth, TX: Saunders College, 618-619, 1999.
62. Gastin, PB. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Med* 31:725-741, 2001.
63. Gibala, MJ, Little, JP, van Essen, M, Wilkin, GP, Burgomaster, KA, Safdar, A, Raha, S y Tarnopolsky, MA. Short-term sprint interval versus traditional endurance training: Similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *J Physiol* 575:901-911, 2006.
64. Gollnick, PD, Armstrong, RB, Saltin, B, Saubert, CW, Sembrowich, WL y Shepherd, RE. Effect of training on enzyme activity and fiber composition of human skeletal muscle. *J Appl Physiol* 34:107-111, 1973.
65. Gollnick, PD, Armstrong, RB, Saubert, CW, Piehl, K y Saltin, B. Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of untrained and trained men. *J Appl Physiol* 33:312-319, 1972.
66. Gollnick, PD y Bayly, WM. Biochemical training adaptations and maximal power. En: *Human Muscle Power*. Jones, NL, McCartney, N y McComas, AJ, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 255-267, 1986.
67. Gollnick, PD, Bayly, WM y Hodgson, DR. Exercise intensity, training, diet, and lactate concentration in muscle and blood. *Med Sci Sports Exerc* 18:334-340, 1986.
68. Gollnick, PD y Saltin, B. Significance of skeletal muscle oxidative enzyme enhancement with endurance training. *Clin Physiol* 2:1-12, 1982.
69. Graham, TE, Rush, JWE y MacLean, DA. Skeletal muscle oxidative enzyme enhancement with endurance training. En: *Exercise Metabolism*. Hargreaves, M y Spriet, LL, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 41-72, 2006.
70. Grassi, B. Delayed metabolic activation of oxidative phosphorylation in skeletal muscle at exercise onset. *Med Sci Sports Exerc* 37:1567-1573, 2005.
71. Green, HJ, Duhamel, TA, Holloway, GP, Moule, J, Ouyang, J, Ranney, D y Tupling, AR. Muscle metabolic responses during 16 hours of intermittent heavy exercise. *Can J Physiol Pharm* 85:634-645, 2007.
72. Greenwood, JD, Moses, GE, Bernardino, FM, Gaesser, GA y Weltman, A. Intensity of exercise

recovery, blood lactate disappearance, and subsequent swimming performance. *J Sports Sci* 26:29-34, 2008.
73. Hakkinen, K, Alen, M, Kraemer, WJ, Gorostiaga, E, Izquierdo, M, Rusko, H, Mikkola, J, Hakkinen, A, Valkeinen, H, Kaarakainen, E, Romu, S, Erola, V, Ahtiainen, J y Paavolainen, L. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *Eur J Appl Physiol* 89:42-52, 2003.
74. Hakkinen, K y Myllyla, E. Acute effects of muscle fatigue and recovery on force production and relaxation in endurance, power and strength athletes. *J Sports Med Phys Fitness* 30:5-12, 1990.
75. Harris, RC, Edwards, RH, Hultman, E, Nordesjo, LO, Nylind, B y Sahlin, K. The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. *Eur J Appl Physiol* 367:137-142, 1976.
76. Hedman, R. The available glycogen in man and the connection between rate of oxygen intake and carbohydrate usage. *Acta Physiol Scand* 40:305-321, 1957.
77. Henry, FM. Aerobic oxygen consumption and alactic debt in mus cular work. *J Appl Physiol* 3:427-438, 1951.
78. Hermansen, L. Effect of metabolic changes on force generation in skeletal muscle during maximal exercise. *Ciba Found Symp* 82:75-88, 1981.
79. Hermansen, L y Stensvold, I. Production and removal of lactate during exercise in man. *Acta Physiol Scand* 86:191-201, 1972.
80. Hickson, RC. Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 45:255-263, 1980.
81. Hickson, RC, Dvorak, BA, Gorostiaga, EM, Kurowski, TT y Foster, C. Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *J Appl Physiol* 65:2285-2290, 1988.
82. Hickson, RC, Rosenkoetter, MA y Brown, MM. Strength training effects on aerobic power and short-term endurance. *Med Sci Sports Exerc* 12:336-339, 1980.
83. Hill, AV y Lupton, H. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. *Q J Med* 16:135-171, 1923.
84. Hirvonen, J, Rehunen, S, Rusko, H y Harkonen, M. Breakdown of high-energy phosphate-compounds and lactate accumulation during short supramaximal exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 56:253-259, 1987.
85. Housh, TJ, Housh, DJ y DeVries, HA. *Applied Exercise & Sport Physiology with Labs*. Scottsdale, AZ: Holcomb Hathaway, 39-43, 2012.
86. Hulsmann, WC. On the regulation of the supply of substrates for muscular activity. *Bibl Nutr Dieta* 11-15, 1979.
87. Hultman, E y Sjoholm, H. Biochemical causes of fatigue. En: *Human Muscle Power*. Jones, NL, McCartney, N y McComas, AJ, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 215-235, 1986.
88. Hurley, BF, Seals, DR, Hagberg, JM, Goldberg, AC, Ostrove, SM, Holloszy, JO, Wiest, WG y Goldberg, AP. High-densitylipopro tein cholesterol in bodybuilders v. powerlifters: Negative effects of androgen use. *JAMA* 252:507-513, 1984.
89. Jacobs, I. Blood lactate. Implications for training and sports perfor mance. *Sports Med* 3:10-25, 1986.
90. Jacobs, I, Kaiser, P y Tesch, P. Muscle strength and fatigue after selective glycogen depletion in human skeletal muscle fibers. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 46:47-53, 1981.
91. Jacobs, I, Tesch, PA, Bar-Or, O, Karlsson, J y Dotan, R. Lactate in human skeletal muscle after 10 and 30 s of supramaximal exercise. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 55:365-367, 1983.
92. Jones, NL y Ehrsam, RE. The anaerobic threshold. *Exerc Sport Sci Rev* 10:49-83, 1982.
93. Juel, C. Intracellular pH recovery and lactate efflux in mouse soleus muscles stimulated in vitro: The involvement of sodium/ proton exchange and a lactate carrier. *Acta Physiol Scand* 132:363-371, 1988.

94. Kappenstein, J, Ferrauti, A, Runkel, B, Fernandez-Fernandez, J, Muller, K y Zange, J. Changes in phosphocreatine concentration of skeletal muscle during high-intensity intermittent exercise in children and adults. *Eur J Appl Physiol* 113:2769-2779, 2013.
95. Karatzaferi, C, de Haan, A, Ferguson, RA, van Mechelen, W y Sargeant, AJ. Phosphocreatine and ATP content in human single muscle fibres before and after maximum dynamic exercise. *Eur J Appl Physiol* 442:467-474, 2001.
96. Karlsson, J. Lactate and phosphagen concentrations in working muscle of man with special reference to oxygen deficit at the onset of work. *Acta Physiol Scand* 358 (Suppl): 1-72, 1971.
97. Karlsson, J, Nordesjo, LO, Jorfeldt, L y Saltin, B. Muscle lactate, ATP, and CP levels during exercise after physical training in man. *J Appl Physiol* 33:199-203, 1972.
98. Kindermann, W, Simon, G y Keul, J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 42:25-34, 1979.
99. Knuttgen, HG y Komi, PV. Basic definitions for exercise. En: *The Encyclopaedia of Sports Medicine: Strength and Power in Sport*. Komi, PV, ed. Oxford, Boston: Blackwell Scientific, 3-8, 1991.
100. Lanza, IR, Wigmore, DM, Befroy, DE y Kent-Braun, JA. In vivo ATP production during free-flow and ischaemic muscle contractions in humans. *J Physiol* 577:353-367, 2006.
101. Lehmann, M y Keul, J. Free plasma catecholamines, heart rates, lactate levels, and oxygen uptake in competition weight lifters, cyclists, and untrained control subjects. *Int J Sports Med* 7:18-21, 1986.
102. Lemon, PW y Mullin, JP. Effect of initial muscle glycogen levels on protein catabolism during exercise. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 48:624-629, 1980.
103. MacDougall, JD. Morphological changes in human skeletal muscle following strength training and immobilization. En: *Human Muscle Power*. Jones, NL, McCartney, N y McComas, AJ, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 269-288, 1986.
104. MacDougall, JD, Ward, GR, Sale, DG y Sutton, JR. Biochemical adaptation of human skeletal muscle to heavy resistance training and immobilization. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 43:700-703, 1977.
105. Mainwood, GW y Renaud, JM. The effect of acid-base balance on fatigue of skeletal-muscle. *Can J Physiol Pharm* 63:403-416, 1985.
106. Mazzeo, RS, Brooks, GA, Schoeller, DA y Budinger, TF. Disposal of blood [1-C-13] lactate in humans during rest and exercise. *J Appl Physiol* 60:232-241, 1986.
107. McArdle, WD, Katch, FI y Katch, VL. *Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 143-144, 2007.
108. McCartney, N, Spriet, LL, Heigenhauser, GJ, Kowalchuk, JM, Sutton, JR y Jones, NL. Muscle power and metabolism in maximal intermittent exercise. *J Appl Physiol* 60:1164-1169, 1986.
109. Medbo, JI y Burgers, S. Effect of training on the anaerobic capacity. *Med Sci Sports Exerc* 22:501-507, 1990.
110. Medbo, JI y Tabata, I. Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhausting bicycle exercise. J *Appl Physiol* 67:1881-1886, 1989.
111. Meyer, RA y Terjung, RL. Differences in ammonia and adenylate metabolism in contracting fast and slow muscle. *Am J Physiol* 237:C111-C118, 1979.
112. Nader, GA. Concurrent strength and endurance training: From molecules to man. *Med Sci Sports Exerc* 38:1965-1970, 2006.
113. Nakamaru, Y y Schwartz, A. The influence of hydrogen ion concentration on calcium binding and release by skeletal muscle sarcoplasmic reticulum. *J Gen Physiol* 59:22-32, 1972.
114. Nelson, CR, Debold, EP y Fitts, RH. Phosphate and acidosis act synergistically to depress peak power in rat muscle fibers. *Am J Physiol* 307:C939-C950, 2014.
115. Nelson, CR y Fitts, RH. Effects of low cell pH and elevated inorganic phosphate on the pCa-force

relationship in single muscle fibers at near-physiological temperatures. *Am J Physiol* 306:C670-C678, 2014.
116. Neric, FB, Beam, WC, Brown, LE y Wiersma, LD. Comparison of swim recovery and muscle stimulation on lactate removal after sprint swimming. *J Strength Cond Res* 23:2560-2567, 2009.
117. Nicolo, A, Bazzucchi, I, Lenti, M, Haxhi, J, Scotto di Palumbo, A y Sacchetti, M. Neuromuscular and metabolic responses to high-intensity intermittent cycling protocols with different work to-rest ratios. *Int J Sports Physiol Perform* 9:151-160, 2014.
118. Nielsen, JJ, Mohr, M, Klarskov, C, Kristensen, M, Krustrup, P, Juel, C y Bangsbo, J. Effects of high-intensity intermittent training on potassium kinetics and performance in human skeletal muscle. *J Physiol* 554:857-870, 2004.
119. O'Reilly, KP, Warhol, MJ, Fielding, RA, Frontera, WR, Meredith, CN y Evans, WJ. Eccentric exercise-induced muscle damage impairs muscle glycogen repletion. *J Appl Physiol* 63:252-256, 1987.
120. Opie, LH y Newsholme, EA. The activities of fructose 1,6-diphosphatase, phosphofructokinase and phosphoenolpyruvate carboxykinase in white muscle and red muscle. *Biochem J* 103:391-399, 1967.
121. Pike, RL y Brown, ML. *Nutrition: An Integrated Approach*. New York: Wiley, 463-465, 1984.
122. Poortmans, JR. Protein turnover and amino acid oxidation during and after exercise. *Med Sport Sci* 17:130-147, 1984.
123. Robergs, RA, Ghiasvand, F y Parker, D. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *Am J Physiol* 287:R502-R516, 2004.
124. Robergs, RA, Pearson, DR, Costill, DL, Fink, WJ, Pascoe, DD, Ben edict, MA, Lambert, CP y Zachweija, JJ. Muscle glycogenolysis during differing intensities of weight-resistance exercise. *J Appl Physiol* 70:1700-1706, 1991.
125. Roberts, AD, Billeter, R y Howald, H. Anaerobic muscle enzyme changes after interval training. *Int J Sports Med* 3:18-21, 1982.
126. Ronnestad, BR, Hansen, EA y Raastad, T. High volume of endurance training impairs adaptations to 12 weeks of strength training in well-trained endurance athletes. *Eur J Appl Physiol* 112:1457-1466, 2012.
127. Rozenek, R, Rosenau, L, Rosenau, P y Stone, MH. The effect of intensity on heart rate and blood lactate response to resistance exercise. *J Strength Cond Res* 7:51-54, 1993.
128. Sahlin, K y Ren, JM. Relationship of contraction capacity to metabolic changes during recovery from a fatiguing contraction. *J Appl Physiol* 67:648-654, 1989.
129. Sahlin, K, Tonkonogi, M y Soderlund, K. Energy supply and muscle fatigue in humans. *Acta Physiol Scand* 162:261-266, 1998.
130. Saltin, B y Gollnick, PD. Skeletal muscle adaptability: Significance for metabolism and performance. En: *Handbook of Physiology*. Peachey, LD, Adrian, RH y Geiger, SR, eds. Baltimore: Williams & Wilkins, 540-555, 1983.
131. Saltin, B y Karlsson, J. Muscle glycogen utilization during work of different intensities. En: *Muscle Metabolism During Exercise*. Pernow, B y Saltin, B, eds. New York: Plenum Press, 289-300, 1971.
132. Sant'Ana Pereira, JA, Sargeant, AJ, Rademaker, AC, de Haan, A y van Mechelen, W. Myosin heavy chain isoform expression and high energy phosphate content in human muscle fibres at rest and post-exercise. *J Physiol* 496:583-588, 1996.
133. Scala, D, McMillan, J, Blessing, D, Rozenek, R y Stone, MH. Metabolic cost of a preparatory phase of training in weightlifting: A practical observation. *J Appl Sport Sci Res* 1:48-52, 1987.
134. Sedano, S, Marin, PJ, Cuadrado, G y Redondo, JC. Concurrent training in elite male runners: The influence of strength versus muscular endurance training on performance outcomes. *J Strength Cond Res* 27:2433-2443, 2013.
135. Sherman, WM y Wimer, GS. Insufficient dietary carbohydrate during training: Does it impair

athletic performance? *Int J Sport Nutr* 1:28-44, 1991.
136. Sjodin, B y Jacobs, I. Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *Int J Sports Med* 2:23-26, 1981.
137. Skurvydas, A, Jascaninas, J y Zachovajevas, P. Changes in height of jump, maximal voluntary contraction force and low-frequency fatigue after 100 intermittent or continuous jumps with maximal intensity. *Acta Physiol Scand* 169:55-62, 2000.
138. Smith, SA, Montain, SJ, Matott, RP, Zientara, GP, Jolesz, FA y Fielding, RA. Creatine supplementation and age influence muscle metabolism during exercise. *J Appl Physiol* 85:1349-1356, 1998.
139. Stainsby, WN y Barclay, JK. Exercise metabolism: O_2 deficit, steady level O_2 uptake and O_2 uptake for recovery. *Med Sci Sports* 2:177-181, 1970.
140. Sugden, PH y Newsholme, EA. The effects of ammonium, inorganic phosphate and potassium ions on the activity of phosphofructokinases from muscle and nervous tissues of vertebrates and invertebrates. *Biochem J* 150:113-122, 1975.
141. Sutton, JR. Hormonal and metabolic responses to exercise in subjects of high and low work capacities. *Med Sci Sports* 10:1-6, 1978.
142. Tanaka, K, Matsuura, Y, Kumagai, S, Matsuzaka, A, Hirakoba, K y Asano, K. Relationships of anaerobic threshold and onset of blood lactate accumulation with endurance performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 52:51-56, 1983.
143. Taylor, DJ, Styles, P, Matthews, PM, Arnold, DA, Gadian, DG, Bore, P y Radda, GK. Energetics of human muscle: Exercise-induced ATP depletion. *Magn Reson Med* 3:44-54, 1986.
144. Tesch, P. Muscle fatigue in man. With special reference to lactate accumulation during short term intense exercise. *Acta Physiol Scand* 480 (Suppl):1-40, 1980.
145. Tesch, PA, Komi, PV y Hakkinen, K. Enzymatic adaptations consequent to long-term strength training. *Int J Sports Med* 8 (Suppl 1):66-69, 1987.
146. Tesch, PA, Ploutz-Snyder, LL, Ystrom, L, Castro, MJ y Dudley, GA. Skeletal muscle glycogen loss evoked by resistance exercise. *JStrength CondRes* 12:67-73, 1998.
147. Thorstensson, A. Muscle strength, fibre types and enzyme activities in man. *Acta Physiol Scand* 443 (Suppl):1-45, 1976.
148. Thorstensson, A, Sjodin, B, Tesch, P y Karlsson, J. Actomyosin ATPase, myokinase, CPK and LDH in human fast and slow twitch muscle fibres. *Acta Physiol Scand* 99:225-229, 1977.
149. Vandewalle, H, Peres, G y Monod, H. Standard anaerobic exercise tests. *Sports Med* 4:268-289, 1987.
150. Vanhelder, WP, Radomski, MW, Goode, RC y Casey, K. Hormonal and metabolic response to three types of exercise of equal duration and external work output. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 54:337-342, 1985.
151. Vihko, V, Salminen, A y Rantamaki, J. Oxidative and lysosomal capacity in skeletal-muscle of mice after endurance training of different intensities. *Acta Physiol Scand* 104:74-81, 1978.
152. Wakefield, BR y Glaister, M. Influence of work-interval intensity and duration on time spent at a high percentage of $\dot{V}O_2$max during intermittent supramaximal exercise. *J Strength Cond Res* 23:2548-2554, 2009.
153. Walsh, B, Tonkonogi, M, Soderlund, K, Hultman, E, Saks, V y Sahlin, K. The role of phosphorylcreatine and creatine in the regulation of mitochondrial respiration in human skeletal muscle. *J Physiol* 537:971-978, 2001.
154. Weir, JP, Beck, TW, Cramer, JT y Housh, TJ. Is fatigue all in your head? A critical review of the central governor model. *Br J Sports Med* 40:573-586, 2006.
155. Weir, JP y Cramer, JT. Principles of musculoskeletal exercise programming. En: *ACSM Resource Manual for Exercise Testing and Prescription*. Kaminsky, LA, ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 350-364, 2005.
156. Wells, JG, Balke, B y Van Fossan, DD. Lactic acid accumulation during work: A suggested

standardization of work classification. *J Appl Physiol* 10:51-55, 1957.
157. Whipp, BJ, Seard, C y Wasserman, K. Oxygen deficit-oxygen debt relationships and efficiency of anaerobic work. *J Appl Physiol* 28:452-456, 1970.
158. Williams, JH y Klug, GA. Calcium exchange hypothesis of skeletal-muscle fatigue—a brief review. *Muscle Nerve* 18:421-434, 1995.
159. Withers, RT, Sherman, WM, Clark, DG, Esselbach, PC, Nolan, SR, Mackay, MH y Brinkman, M. Muscle metabolism during 30, 60 and 90 s of maximal cycling on an air-braked ergometer. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 63:354-362, 1991.
160. York, JW, Oscai, LB y Penney, DG. Alterations in skeletal-muscle lactate-dehydrogenase isoenzymes following exercise training. *Biochem Biophys Res Commun* 61:1387-1393, 1974.
161. Yoshida, T. Effect of dietary modifications on lactate threshold and onset of blood lactate accumulation during incremental exercise. *Eur J Appl Physiol* 53:200-205, 1984.
162. Zehnder, M, Muelli, M, Buchli, R, Kuehne, G y Boutellier, U. Further glycogen decrease during early recovery after eccentric exercise despite a high carbohydrate intake. *Eur J Nutr* 43:148-159, 2004.

CAPÍTULO 4 Respuestas endocrinas al ejercicio resistido

1. Adem, A, Jossan, SS, d'Argy, R, Gillberg, PG, Nordberg, A, Winblad, B y Sara, V. Insulin-like growth factor 1 (IGF-1) receptors in the human brain: Quantitative autoradiographic localization. *Brain Res* 503:299-303, 1989.
2. Allen, RE, Merkel, RA y Young, RB. Cellular aspects of muscle growth: Myogenic cell proliferation. *J Anim Sci* 49:115-127, 1979.
3. Allen, RE y Boxhorn, LK. Regulation of skeletal muscle satellite cell proliferation and differentiation by transforming growth fac tor-beta, insulin-like growth factor I, and fibroblast growth factor. *J Cell Physiol* 138:311-315, 1989.
4. Aristizabal, J, Freidenreich, D, Volk, B, Kupchak, B, Saenz, C, Maresh, C, Kraemer, W y Volek, J. Effect of resistance training on resting metabolic rate and its estimation by a dual-energy X-ray absorptiometry metabolic map. *Eur J Clin Nutr*, 2014.
5. Atha, J. Strengthening muscle. *Exerc Sport Sci Rev* 9:1-73, 1981.
6. Bartalena, L. Recent achievements in studies on thyroid hormone-binding proteins. *Endocr Rev* 11:47-64, 1990.
7. Baxter, RC y Martin, JL. Structure of the Mr 140,000 growth hormone-dependent insulin-like growth factor binding protein complex: Determination by reconstitution and affinity-labeling. *Proc Natl Acad Sci U S A* 86:6898-6902, 1989.
8. Baxter, RC, Martin, JL y Beniac, VA. High molecular weight insulin-like growth factor binding protein complex. Purification and properties of the acid-labile subunit from human serum. *J Biol Chem* 264:11843-11848, 1989.
9. Beauloye, V, Muaku, SM, Lause, P, Portetelle, D, Renaville, R, Robert, AR, Ketelslegers, JM y Maiter, D. Monoclonal antibodies to growth hormone (GH) prolong liver GH binding and GH-induced IGF-I/IGFBP-3 synthesis. *Am J Physiol* 277: E308-E315, 1999.
10. Ben-Ezra, V, McMurray, R y Smith, A. Effects of exercise or diet on plasma somatomedin-C. *Med Sci Sports Exerc* 17:209, 1985.
11. Biro, J y Endroczi, E. Nuclear RNA content and synthesis in anterior pituitary in intact, castrated and androgen sterilized rats. *Endocrinol Exp* 11:163-168, 1977.
12. Bleisch, W, Luine, VN y Nottebohm, F. Modification of synapses in androgen-sensitive muscle. I. Hormonal regulation of acetylcholine receptor number in the songbird syrinx. *J Neurosci* 4:786-792, 1984.

13. Blum, WF, Jenne, EW, Reppin, F, Kietzmann, K, Ranke, MB y Bierich, JR. Insulin-like growth factor I (IGF-I)-binding protein complex is a better mitogen than free IGF-I. *Endocrinology* 125:766-772, 1989.
14. Borer, KT, Nicoski, DR y Owens, V. Alteration of pulsatile growth hormone secretion by growth-inducing exercise: Involvement of endogenous opiates and somatostatin. *Endocrinology* 118:844-850, 1986.
15. Boule, NG, Weisnagel, SJ, Lakka, TA, Tremblay, A, Bergman, RN, Rankinen, T, Leon, AS, Skinner, JS, Wilmore, JH, Rao, DC, Bouchard, C y HERITAGE Family Study. Effects of exercise training on glucose homeostasis: The HERITAGE Family Study. *Diabetes Care* 28:108-114, 2005.
16. Buckler, JM. The effect of age, sex and exercise on the secretion of growth hormone. *Clin Sci* 37:765-774, 1969.
17. Buckler, JM. The relationship between exercise, body temperature and plasma growth hormone levels in a human subject. *J Physiol* 214 Suppl:25P-26P, 1971.
18. Bush, JA, Mastro, AM y Kraemer, WJ. Proenkephalin peptide F immunoreactivity in different circulatory biocompartments after exercise. *Peptides* 27:1498-1506, 2006.
19. Chang, FE, Dodds, WG, Sullivan, M, Kim, MH y Malarkey, WB. The acute effects of exercise on prolactin and growth hormone secretion: Comparison between sedentary women and women runners with normal and abnormal menstrual cycles. *J Clin Endocrinol Metab* 62:551-556, 1986.
20. Clarkson, PM y Tremblay, I. Exercise-induced muscle damage, repair, and adaptation in humans. *J Appl Physiol* 65:1-6, 1988.
21. Clasen, BF, Krusenstjerna-Hafstrom, T, Vendelbo, MH, Thorsen, K, Escande, C, Moller, N, Pedersen, SB, Jorgensen, JO y Jessen, N. Gene expression in skeletal muscle after an acute intravenous GH bolus in human subjects: Identification of a mechanism regulating ANGPTL4. *J Lipid Res* 54:1988-1997, 2013.
22. Clemmons, DR, Busby, HW y Underwood, LE. Mediation of the growth promoting actions of growth hormone by somatomedin-C/ insulin-like growth factor I and its binding protein. En: *The Physiology of Human Growth*. Tanner, JM y Preece, MA, eds. Cambridge: Cambridge University Press, 111-128, 1989.
23. Clemmons, DR, Thissen, JP, Maes, M, Ketelslegers, JM y Underwood, LE. Insulin-like growth factor-I (IGF-I) infusion into hypophysectomized or protein-deprived rats induces specific IGF-binding proteins in serum. *Endocrinology* 125:2967-2972, 1989.
24. Coviello, AD, Lakshman, K, Mazer, NA y Bhasin, S. Differences in the apparent metabolic clearance rate of testosterone in young and older men with gonadotropin suppression receiving graded doses of testosterone. *J Clin Endocrinol Metab* 91:4669-4675, 2006.
25. Craig, SK, Byrnes, WC y Fleck, SJ. Plasma volume during weight lifting. *Int J Sports Med* 29:89-95, 2008.
26. Cumming, DC, Wall, SR, Galbraith, MA y Belcastro, AN. Reproductive hormone responses to resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 19:234-238, 1987.
27. Czech, MP. Signal transmission by the insulin-like growth factors. *Cell* 59:235-238, 1989.
28. Daughaday, WH y Rotwein, P. Insulin-like growth factors I and II. Peptide, messenger ribonucleic acid and gene structures, serum, and tissue concentrations. *Endocr Rev* 10:68-91, 1989.
29. De Souza, MJ, Maguire, MS, Maresh, CM, Kraemer, WJ, Rubin, KR y Loucks, AB. Adrenal activation and the prolactin response to exercise in eumenorrheic and amenorrheic runners. *J Appl Physiol* 70:2378-2387, 1991.
30. D'Ercole, AJ, Stiles, AD y Underwood, LE. Tissue concentrations of somatomedin C: Further evidence for multiple sites of synthesis and paracrine or autocrine mechanisms of action. *Proc Natl Acad Sci USA* 81:935-939, 1984.
31. Deschenes, MR, Maresh, CM, Armstrong, LE, Covault, J, Kraemer, WJ y Crivello, JF. Endurance

and resistance exercise induce muscle fiber type specific responses in androgen binding capacity. *J SteroidBiochem* 50:175-179, 1994.
32. Deschenes, MR, Kraemer, WJ, Bush, JA, Doughty, TA, Kim, D, Mullen, KM y Ramsey, K. Biorhythmic influences on functional capacity of human muscle and physiological responses. *Med Sci Sports Exerc* 30:1399-1407, 1998.
33. Djarova, T, Ilkov, A, Varbanova, A, Nikiforova, A y Mateev, G. Human growth hormone, cortisol, and acid-base balance changes after hyperventilation and breath-holding. *Int J Sports Med* 7:311-315, 1986.
34. Ekins, R. Measurement of free hormones in blood. *Endocr Rev* 11:5-46, 1990.
35. Elliot, DL, Goldberg, L, Watts, WJ y Orwoll, E. Resistance exercise and plasma beta-endorphin/beta-lipotrophin immunoreactivity. *Life Sci* 34:515-518, 1984.
36. Estrada, M, Espinosa, A, Muller, M y Jaimovich, E. Testosterone stimulates intracellular calcium release and mitogen-activated protein kinases via a G protein-coupled receptor in skeletal muscle cells. *Endocrinology* 144:3586-3597, 2003.
37. Fagin, JA, Fernandez-Mejia, C y Melmed, S. Pituitary insulin-like growth factor-I gene expression: Regulation by triiodothyronine and growth hormone. *Endocrinology* 125:2385-2391, 1989.
38. Fahey, TD, Rolph, R, Moungmee, P, Nagel, J y Mortara, S. Serum testosterone, body composition, and strength of young adults. *Med Sci Sports* 8:31-34, 1976.
39. Faria, AC, Veldhuis, JD, Thorner, MO y Vance, ML. Half-time of endogenous growth hormone (GH) disappearance in normal man after stimulation of GH secretion by GH-releasing hormone and suppression with somatostatin. *J Clin Endocrinol Metab* 68:535-541, 1989.
40. Finkelstein, JW, Roffwarg, HP, Boyar, RM, Kream, J y Hellman, L. Age-related change in the twenty-four-hour spontaneous secretion of growth hormone. *J Clin Endocrinol Metab* 35:665-670, 1972.
41. Fischer, E. Über die optischen Isomeren des traubenzuckers, der Gluconsäure und der zuckersäure. En: *Untersuchungen über Kohlenhydrate und Fermente (1884-1908)*. Anónimo. Berlín: Springer, 362-376, 1909.
42. Fleck, SJ. *Successful Long-Term Weight Training*. Indianapolis: Masters Press, 1999.
43. Fleck, SJ y Kraemer, WJ. *Periodization Breakthrough*. Ronkonkoma, NY: Advanced Research Press, 1996.
44. Fleck, SJ y Kraemer, WJ. *Designing Resistance Training Programs*. 3.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 2003.
45. Florini, JR. Hormonal control of muscle growth. *Muscle Nerve* 10:577-598, 1987.
46. Florini, JR. Hormonal control of muscle cell growth. *J Anim Sci* 61:21-38, 1985.
47. Florini, JR, Prinz, PN, Vitiello, MV y Hintz, RL. Somatomedin-C levels in healthy young and old men: Relationship to peak and 24-hour integrated levels of growth hormone. *J Gerontol* 40:2-7, 1985.
48. Fluckey, JD, Kraemer, WJ y Farrell, PA. Arginine-stimulated insulin secretion from isolated rat pancreatic islets is increased following acute resistance exercise. *J Appl Physiol* 79:1100-1105, 1995.
49. Forbes, B, Szabo, L, Baxter, RC, Ballard, FJ y Wallace, JC. Classification of the insulin-like growth factor binding proteins into three distinct categories according to their binding specificities. *Biochem Biophys Res Com* 157:196-202, 1988.
50. Fortunati, N, Catalano, MG, Boccuzzi, G y Frairia, R. Sex Hormone-Binding Globulin (SHBG), estradiol and breast cancer. *Mol Cell Endocrinol* 316:86-92, 2010.
51. Fragala, MS, Kraemer, WJ, Denegar, CR, Maresh, CM, Mastro, AM y Volek, JS. Neuroendocrine-immune interactions and responses to exercise. *Sports Med* 41:621-639, 2011.
52. Fragala, MS, Kraemer, WJ, Mastro, AM, Denegar, CR, Volek, JS, Kupchak, BR, Hakkinen, K, Anderson, JM y Maresh, CM. Glucocorticoid receptor expression on human B cells in response to

acute heavy resistance exercise. *Neuroimmunomodulation* 18:156-164, 2011.
53. French, DN, Kraemer, WJ, Volek, JS, Spiering, BA, Judelson, DA, Hoffman, JR y Maresh, CM. Anticipatory responses of catecholamines on muscle force production. *J Appl Physiol* 102:94-102, 2007.
54. Fry, A, Schilling, B, Weiss, L y Chiu, L. Beta2-adrenergic receptor downregulation and performance decrements during high-intensity resistance exercise overtraining. *J Appl Physiol* 101: 1664-1672, 2006.
55. Fry, AC, Kraemer, WJ, Lynch, JM, Triplett, NT y Koziris, LP. Does short-term near-maximal intensity machine resistance training induce overtraining? *J Strength Cond Res* 8:188-191, 1994.
56. Fry, AC, Kraemer, WJ, Stone, MH, Warren, BJ, Kearney, JT, Maresh, CM, Weseman, CA y Fleck, SJ. Endocrine and performance responses to high volume training and amino acid supplementation in elite junior weightlifters. *Int J Sport Nutr* 3:306-322, 1993.
57. Fry, AC, Kraemer, WJ, Stone, MH, Warren, BJ, Fleck, SJ, Kearney, JT y Gordon, SE. Endocrine responses to overreaching before and after 1 year of weightlifting. *Can J Appl Physiol* 19:400-410, 1994.
58. Fry, AC, Kraemer, WJ, van Borselen, F, Lynch, JM, Marsit, JL, Roy, EP, Triplett, NT y Knuttgen, HG. Performance decrements with high-intensity resistance exercise overtraining. *Med Sci Sports Exerc* 26:1165-1173, 1994.
59. Fry, AC, Kraemer, WJ y Ramsey, LT. Pituitary-adrenal-gonadal responses to high-intensity resistance exercise overtraining. *J Appl Physiol* 85:2352-2359, 1998.
60. Galbo, H. *Hormonal and Metabolic Adaptation to Exercise*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1983.
61. Gharib, SD, Wierman, ME, Shupnik, MA y Chin, WW. Molecular biology of the pituitary gonadotropins. *Endocr Rev* 11:177-199, 1990.
62. Goldberg, AL y Goodman, HM. Relationship between growth hormone and muscular work in determining muscle size. *J Physiol* 200:655-666, 1969.
63. Goldspink, G. Changes in muscle mass and phenotype and the expression of autocrine and systemic growth factors by muscle in response to stretch and overload. *J Anat* 194(Pt 3):323-334, 1999.
64. Gordon, SE, Kraemer, WJ, Vos, NH, Lynch, JM y Knuttgen, HG. Effect of acid-base balance on the growth hormone response to acute high-intensity cycle exercise. *J Appl Physiol* 76:821-829, 1994.
65. Gordon, SE, Kraemer, WJ, Looney, DP, Flanagan, SD, Comstock, BA y Hymer, WC. The influence of age and exercise modality on growth hormone bioactivity in women. *Growth Horm IGF Res* 24:95-103, 2014.
66. Gregory, SM, Headley, SA, Germain, M, Flyvbjerg, A, Frystyk, J, Coughlin, MA, Milch, CM, Sullivan, S y Nindl, BC. Lack of circulating bioactive and immunoreactive IGF-I changes despite improved fitness in chronic kidney disease patients following 48 weeks of physical training. *Growth Horm IGF Res* 21:51-56, 2011.
67. Gregory, SM, Spiering, BA, Alemany, JA, Tuckow, AP, Rarick, KR, Staab, JS, Hatfield, DL, Kraemer, WJ, Maresh, CM y Nindl, BC. Exercise-induced insulin-like growth factor I system concentrations after training in women. *Med Sci Sports Exerc* 45:420-428, 2013.
68. Guezennec, Y, Leger, L, Lhoste, F, Aymonod, M y Pesquies, PC. Hormone and metabolite response to weight-lifting training sessions. *Int J Sports Med* 7:100-105, 1986.
69. Guma, A, Zierath, JR, Wallberg-Henriksson, H y Klip, A. Insulin induces translocation of GLUT-4 glucose transporters in human skeletal muscle. *Am J Physiol* 268:E613-E622, 1995.
70. Hakkinen, K, Pakarinen, A, Alen, M y Komi, PV. Serum hormones during prolonged training of neuromuscular performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 53:287-293, 1985.
71. Hakkinen, K, Komi, PV, Alen, M y Kauhanen, H. EMG, muscle fibre and force production characteristics during a 1 year training period in elite weight-lifters. *Eur J Appl Physiol Occup*

Physiol 56:419-427, 1987.
72. Hakkinen, K, Pakarinen, A, Alen, M, Kauhanen, H y Komi, PV. Relationships between training volume, physical performance capacity, and serum hormone concentrations during prolonged training in elite weight lifters. *Int J Sports Med* 8 Suppl 1:61-65, 1987.
73. Hakkinen, K, Pakarinen, A, Alen, M, Kauhanen, H y Komi, PV. Neuromuscular and hormonal adaptations in athletes to strength training in two years. *J Appl Physiol* 65:2406-2412, 1988.
74. Hakkinen, K, Pakarinen, A, Alen, M, Kauhanen, H y Komi, PV. Daily hormonal and neuromuscular responses to intensive strength training in 1 week. *Int J Sports Med* 9:422-428, 1988.
75. Hakkinen, K. Neuromuscular and hormonal adaptations during strength and power training. A review. *J Sports Med Phys Fitness* 29:9-26, 1989.
76. Hakkinen, K, Pakarinen, A, Kyrolainen, H, Cheng, S, Kim, DH y Komi, PV. Neuromuscular adaptations and serum hormones in females during prolonged power training. *Int J Sports Med* 11:91-98, 1990.
77. Han, VK, D'Ercole, AJ y Lund, PK. Cellular localization of somatomedin (insulin-like growth factor) messenger RNA in the human fetus. *Science* 236:193-197, 1987.
78. Hansen, S, Kvorning, T, Kjaer, M y Sjogaard, G. The effect of short-term strength training on human skeletal muscle: The importance of physiologically elevated hormone levels. *Scand J Med Sci Sports* 11:347-354, 2001.
79. Hansson, HA, Brandsten, C, Lossing, C y Petruson, K. Transient expression of insulin-like growth factor I immunoreactivity by vascular cells during angiogenesis. *Exp Mol Pathol* 50:125-138, 1989.
80. Henning, PC, Scofield, DE, Rarick, KR, Pierce, JR, Staab, JS, Lieberman, HR y Nindl, BC. Effects of acute caloric restriction compared to caloric balance on the temporal response of the IGF-I system. *Metabolism* 62:179-187, 2013.
81. Hetrick, GA y Wilmore, JH. Androgen levels and muscle hypertrophy during an eight-week training program for men/women. *Med Sci Sports Exerc* 11:102, 1979.
82. Hill, DJ, Camacho-Hubner, C, Rashid, P, Strain, AJ y Clemmons, DR. Insulin-like growth factor (IGF)-binding protein release by human fetal fibroblasts: Dependency on cell density and IGF peptides. *J Endocrinol* 122:87-98, 1989.
83. Horikawa, R, Asakawa, K, Hizuka, N, Takano, K y Shizume, K. Growth hormone and insulin-like growth factor I stimulate Leydig cell steroidogenesis. *Eur J Pharmacol* 166:87-94, 1989.
84. Housley, PR, Sanchez, ER y Grippo, JF. Phosphorylation and reduction of glucocorticoid components. En: *Receptor Phosphorylation*. Moudgil, VM, ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 289-314, 1989.
85. Ikeda, T, Fujiyama, K, Takeuchi, T, Honda, M, Mokuda, O, Tominaga, M y Mashiba, H. Effect of thyroid hormone on somatomedin-C release from perfused rat liver. *Experientia* 45:170-171, 1989.
86. Ishii, DN. Relationship of insulin-like growth factor II gene expression in muscle to synaptogenesis. *Proc Natl Acad Sci USA* 86:2898-2902, 1989.
87. Jahreis, G, Hesse, V, Schmidt, HE y Scheibe, J. Effect of endurance exercise on somatomedin-C/insulin-like growth factor I concentration in male and female runners. *Exp Clin Endocrinol* 94:89-96, 1989.
88. Jamurtas, AZ, Koutedakis, Y, Paschalis, V, Tofas, T, Yfanti, C, Tsiokanos, A, Koukoulis, G, Kouretas, D y Loupos, D. The effects of a single bout of exercise on resting energy expenditure and respiratory exchange ratio. *Eur J Appl Physiol* 92:393-398, 2004.
89. Jensen, MD, Nielsen, S, Gupta, N, Basu, R y Rizza, RA. Insulin clearance is different in men and women. *Metabolism* 61:525-530, 2012.
90. Kelly, A, Lyons, G, Gambki, B y Rubinstein, N. Influences of testosterone on contractile proteins of the guinea pig temporalis muscle. *Adv Exp Med Biol* 182:155-168, 1985.

91. Kjaer, M y Galbo, H. Effect of physical training on the capacity to secrete epinephrine. *J Appl Physiol* 64:11-16, 1988.
92. Kraemer, WJ y Fleck, SJ. Resistance training: Exercise prescription. *Phys Sportsmed* 16:69-81, 1988.
93. Kraemer, WJ, Fleck, SJ y Deschenes, M. A review: Factors in exercise prescription of resistance training. *NSCA J* 110:36-41, 1988.
94. Kraemer, WJ y Baechle, TR. Development of a strength training program. En: *Sports Medicine*. 2.ª ed. Ryan, AJ y Allman, FL, eds. San Diego: Academic Press, 113-127, 1989.
95. Kraemer, WJ, Patton, JF, Knuttgen, HG, Hannan, CJ, Kittler, T, Gordon, S, Dziados, JE, Fry, AC, Frykman, PN y Harman, EA. The effects of high intensity cycle exercise on sympatho-adrenal medullary response patterns. *J Appl Physiol* 70:8-14, 1991.
96. Kraemer, WJ. Endocrine responses and adaptations to strength training. En: *The Encyclopaedia of Sports Medicine: Strength and Power in Sport*. Komi, PV, ed. Oxford: Blackwell Scientific, 291-304, 1992.
97. Kraemer, WJ. Hormonal mechanisms related to the expression of muscular strength and power. En: *The Encyclopaedia of Sports Medicine: Strength and Power in Sport*. Komi, PV, ed. Oxford: Blackwell Scientific, 64-76, 1992.
98. Kraemer, WJ. The physiological basis for strength training in midlife. En: *Sports and Exercise in Midlife*. Gordon, SL, ed. Park Ridge, IL: American Academy of Orthopaedic Surgeons, 413-433, 1994.
99. Kraemer, WJ, Fleck, SJ y Evans, WJ. Strength and power training: Physiological mechanisms of adaptation. En: *Exercise and Sport Sciences Reviews, vol. 24*. Holloszy, JO, ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 363-397, 1996.
100. Kraemer, WJ, Fry, AC, Frykman, PN, Conroy, B y Hoffman, J. Resistance training and youth. *Pediatr Exerc Sci* 1:336-350, 1989.
101. Kraemer, WJ y Koziris, LP Olympic weightlifting and power lifting. En: *Physiology and Nutrition for Competitive Sport*. Lamb, DR y Knuttgen, HG, eds. Traverse City, MI: Cooper, 1-15, 1994.
102. Kraemer, WJ. A series of studies—the physiological basis for strength training in American football: Fact over philosophy. *J Strength Cond Res* 11:131-142, 1997.
103. Kraemer, WJ y Nindl, BC. Factors involved with overtraining for strength and power. En: *Overtraining in Sport*. Kreider, RB, Fry, AC y O'Toole, ML, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 107-127, 1997.
104. Kraemer, WJ, Noble, B, Culver, B y Lewis, RV. Changes in plasma proenkephalin peptide F and catecholamine levels during graded exercise in men. *Proc Natl Acad Sci USA* 82:6349-6351, 1985.
105. Kraemer, WJ, Noble, BJ, Clark, MJ y Culver, BW. Physiologic responses to heavy-resistance exercise with very short rest periods. *Int J Sports Med* 8:247-252, 1987.
106. Kraemer, WJ. Endocrine responses to resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 20:S152-S157, 1988.
107. Kraemer, WJ, Armstrong, LE, Hubbard, RW, Marchitelli, LJ, Leva, N, Rock, PB y Dziados, JE. Responses of plasma human atrial natriuretic factor to high intensity submaximal exercise in the heat. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 57:399-403, 1988.
108. Kraemer, WJ, Deschenes, MR y Fleck, SJ. Physiological adaptations to resistance exercise. Implications for athletic conditioning. *Sports Med* 6:246-256, 1988.
109. Kraemer, WJ, Rock, PB, Fulco, CS, Gordon, SE, Bonner, JP, Cruthirds, CD, Marchitelli, LJ, Trad, L y Cymerman, A. Influence of altitude and caffeine during rest and exercise on plasma levels of proenkephalin peptide F. *Peptides* 9:1115-1119, 1988.
110. Kraemer, WJ, Fleck, SJ, Callister, R, Shealy, M, Dudley, GA, Maresh, CM, Marchitelli, L, Cruthirds, C, Murray, T y Falkel, JE. Training responses of plasma beta-endorphin,

adrenocorticotropin, and cortisol. *Med Sci Sports Exerc* 21:146-153, 1989.
111. Kraemer, WJ, Patton, JF, Knuttgen, HG, Marchitelli, LJ, Cruthirds, C, Damokosh, A, Harman, E, Frykman, P y Dziados, JE. Hypothalamic-pituitary-adrenal responses to short-duration high-intensity cycle exercise. *J Appl Physiol* 66:161-166, 1989.
112. Kraemer, WJ, Dziados, JE, Gordon, SE, Marchitelli, LJ, Fry, AC y Reynolds, KL. The effects of graded exercise on plasma proenkephalin peptide F and catecholamine responses at sea level. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 61:214-217, 1990.
113. Kraemer, WJ, Marchitelli, L, Gordon, SE, Harman, E, Dziados, JE, Mello, R, Frykman, P, McCurry, D y Fleck, SJ. Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J Appl Physiol* 69:1442-1450, 1990.
114. Kraemer, WJ, Gordon, SE, Fleck, SJ, Marchitelli, LJ, Mello, R, Dziados, JE, Friedl, K, Harman, E, Maresh, C y Fry, AC. Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise in males and females. *Int J Sports Med* 12:228-235, 1991.
115. Kraemer, WJ, Fry, AC, Warren, BJ, Stone, MH, Fleck, SJ, Kearney, JT, Conroy, BP, Maresh, CM, Weseman, CA y Triplett, NT. Acute hormonal responses in elite junior weightlifters. *Int J Sports Med* 13:103-109, 1992.
116. Kraemer, WJ, Dziados, JE, Marchitelli, LJ, Gordon, SE, Harman, EA, Mello, R, Fleck, SJ, Frykman, PN y Triplett, NT. Effects of different heavy-resistance exercise protocols on plasma beta-endorphin concentrations. *J Appl Physiol* 74:450-459, 1993.
117. Kraemer, WJ, Fleck, SJ, Dziados, JE, Harman, EA, Marchitelli, LJ, Gordon, SE, Mello, R, Frykman, PN, Koziris, LP y Triplett, NT. Changes in hormonal concentrations after different heavy-resistance exercise protocols in women. *J Appl Physiol* 75:594-604, 1993.
118. Kraemer, WJ, Aguilera, BA, Terada, M, Newton, RU, Lynch, JM, Rosendaal, G, McBride, JM, Gordon, SE y Hakkinen, K. Responses of IGF-I to endogenous increases in growth hormone after heavy-resistance exercise. *J Appl Physiol* 79:1310-1315, 1995.
119. Kraemer, WJ, Patton, JF, Gordon, SE, Harman, EA, Deschenes, MR, Reynolds, K, Newton, RU, Triplett, NT y Dziados, JE. Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J Appl Physiol* 78:976-989, 1995.
120. Kraemer, WJ, Hakkinen, K, Newton, RU, McCormick, M, Nindl, BC, Volek, JS, Gotshalk, LA, Fleck, SJ, Campbell, WW, Gordon, SE, Farrell, PA y Evans, WJ. Acute hormonal responses to heavy resistance exercise in younger and older men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 77:206-211, 1998.
121. Kraemer, WJ, Volek, JS, Bush, JA, Putukian, M y Sebastianelli, WJ. Hormonal responses to consecutive days of heavy-resistance exercise with or without nutritional supplementation. *J Appl Physiol* 85:1544-1555, 1998.
122. Kraemer, WJ, Loebel, CC, Volek, JS, Ratamess, NA, Newton, RU, Wickham, RB, Gotshalk, LA, Duncan, ND, Mazzetti, SA, Gomez, AL, Rubin, MR, Nindl, BC y Hakkinen, K. The effect of heavy resistance exercise on the circadian rhythm of salivary testosterone in men. *Eur J Appl Physiol* 84:13-18, 2001.
123. Kraemer, WJ, Rubin, MR, Hakkinen, K, Nindl, BC, Marx, JO, Volek, JS, French, DN, Gomez, AL, Sharman, MJ, Scheett, T, Ratamess, NA, Miles, MP, Mastro, A, VanHeest, J, Maresh, CM, Welsch, JR y Hymer, WC. Influence of muscle strength and total work on exercise-induced plasma growth hormone isoforms in women. *J Sci Med Sport* 6:295-306, 2003.
124. Kraemer, WJ y Ratamess, NA. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med* 35:339-361, 2005.
125. Kraemer, WJ, Nindl, BC, Marx, JO, Gotshalk, LA, Bush, JA, Welsch, JR, Volek, JS, Spiering, BA, Maresh, CM, Mastro, AM y Hymer, WC. Chronic resistance training in women potentiates growth hormone in vivo bioactivity: Characterization of molecular mass variants. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 291: E1177-E1187, 2006.
126. Kraemer, WJ, Spiering, BA, Volek, JS, Ratamess, NA, Sharman, MJ, Rubin, MR, French, DN,

Silvestre, R, Hatfield, DL, Van Heest, JL, Vingren, JL, Judelson, DA, Deschenes, MR y Maresh, CM. Androgenic responses to resistance exercise: Effects of feeding and L-carnitine. *Med Sci Sports Exerc* 38:1288-1296, 2006.

127. Kraemer, WJ, Nindl, BC, Volek, JS, Marx, JO, Gotshalk, LA, Bush, JA, Welsch, JR, Vingren, JL, Spiering, BA, Fragala, MS, Hatfield, DL, Ho, JY, Maresh, CM, Mastro, AM y Hymer, WC. Influence of oral contraceptive use on growth hormone in vivo bioactivity following resistance exercise: Responses of molecular mass variants. *Growth Horm IGF Res* 18:238-244, 2008.
128. Kraemer, WJ, Dunn-Lewis, C, Comstock, BA, Thomas, GA, Clark, JE y Nindl, BC. Growth hormone, exercise, and athletic performance: A continued evolution of complexity. *Curr Sports Med Rep* 9:242-252, 2010.
129. Kuoppasalmi, K y Adlercreutz, H. Interaction between catabolic and anabolic steroid hormones in muscular exercise. En: *Exercise Endocrinology*. Berlin: Walter de Gruyter, 65-98, 1985.
130. Kvorning, T, Andersen, M, Brixen, K y Madsen, K. Suppression of endogenous testosterone production attenuates the response to strength training: A randomized, placebo-controlled, and blinded intervention study. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 291: E1325-E1332, 2006.
131. Kvorning, T, Andersen, M, Brixen, K, Schjerling, P, Suetta, C y Madsen, K. Suppression of testosterone does not blunt mRNA expression of myoD, myogenin, IGF, myostatin or androgen receptor post strength training in humans. *J Physiol* 578:579-593, 2007.
132. Lukaszewska, J, Biczowa, B, Bobilewixz, D, Wilk, M y Bouchowixz-Fidelus, B. Effect of physical exercise on plasma cortisol and growth hormone levels in young weight lifters. *Endokrynol Pol* 2:149-158, 1976.
133. MacDougall, J. Morphological changes in human skeletal muscle following strength training and immobilization. En: *Human Muscle Power*. Jones, NL, McCartney, N y McComas, AJ, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 269-288, 1986.
134. Mahler, DA, Cunningham, LN, Skrinar, GS, Kraemer, WJ y Colice, GL. Beta-endorphin activity and hypercapnic ventilatory responsiveness after marathon running. *J Appl Physiol* 66:2431-2436, 1989.
135. Maksay, G y Toke, O. Asymmetric perturbations of signalling oligomers. *Prog Biophys Mol Biol* 114:153-169, 2014.
136. Martin, JB. Growth hormone releasing factor. En: *Brain Peptides*. Krieger, DT, Brownstein, JJ y Martin, JB, eds. New York: Wiley, 976-980, 1983.
137. Matheny, RW, Jr. y Nindl, BC. Loss of IGF-IEa or IGF-IEb impairs myogenic differentiation. *Endocrinology* 152:1923-1934, 2011.
138. Mauras, N, Rini, A, Welch, S, Sager, B y Murphy, SP. Synergistic effects of testosterone and growth hormone on protein metabolism and body composition in prepubertal boys. *Metabolism* 52:964-969, 2003.
139. McCall, GE, Byrnes, WC, Fleck, SJ, Dickinson, A y Kraemer, WJ. Acute and chronic hormonal responses to resistance training designed to promote muscle hypertrophy. *Can J Appl Physiol* 24:96-107, 1999.
140. McCusker, RH, Camacho-Hubner, C y Clemmons, DR. Identification of the types of insulin-like growth factor-binding proteins that are secreted by muscle cells in vitro. *J Biol Chem* 264:7795-7800, 1989.
141. McKoy, G, Ashley, W, Mander, J, Yang, SY, Williams, N, Russell, B y Goldspink, G. Expression of insulin growth factor-1 splice variants and structural genes in rabbit skeletal muscle induced by stretch and stimulation. *J Physiol* 516(Pt 2):583-592, 1999.
142. McMurray, RG, Eubank, TK y Hackney, AC. Nocturnal hormonal responses to resistance exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 72:121-126, 1995.
143. Migiano, MJ, Vingren, JL, Volek, JS, Maresh, CM, Fragala, MS, Ho, JY, Thomas, GA, Hatfield, DL, Hakkinen, K, Ahtiainen, J, Earp, JE y Kraemer, WJ. Endocrine response patterns to acute unilateral and bilateral resistance exercise in men. *J Strength Cond Res* 24:128-134, 2010.

144. Nindl, BC, Kraemer, WJ, Gotshalk, LA, Marx, JO, Volek, JS, Bush, FA, Hakkinen, K, Newton, RU y Fleck, SJ. Testosterone responses after resistance exercise in women: Influence of regional fat distribution. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 11:451-465, 2001.
145. Nindl, BC. Insulin-like growth factor-I as a candidate metabolic biomarker: Military relevance and future directions for measurement. *J Diabetes Sci Technol* 3:371-376, 2009.
146. Nindl, BC. Insulin-like growth factor-I, physical activity, and control of cellular anabolism. *Med Sci Sports Exerc* 42:35-38, 2010.
147. Nindl, BC, Alemany, JA, Tuckow, AP, Rarick, KR, Staab, JS, Kraemer, WJ, Maresh, CM, Spiering, BA, Hatfield, DL, Flyvbjerg, A y Frystyk, J. Circulating bioactive and immunoreactive IGF-I remain stable in women, despite physical fitness improvements after 8 weeks of resistance, aerobic, and combined exercise training. *J Appl Physiol* 109:112-120, 2010.
148. Nindl, BC y Pierce, JR. Insulin-like growth factor I as a biomarker of health, fitness, and training status. *Med Sci Sports Exerc* 42:39-49, 2010.
149. Nindl, BC, McClung, JP, Miller, JK, Karl, JP, Pierce, JR, Scofield, DE, Young, AJ y Lieberman, HR. Bioavailable IGF-I is associated with fat-free mass gains after physical training in women. *Med Sci Sports Exerc* 43:793-799, 2011.
150. Nindl, BC, Santtila, M, Vaara, J, Hakkinen, K y Kyrolainen, H. Circulating IGF-I is associated with fitness and health outcomes in a population of 846 young healthy men. *Growth Horm IGF Res* 21:124-128, 2011.
151. Nindl, BC, Urso, ML, Pierce, JR, Scofield, DE, Barnes, BR, Kraemer, WJ, Anderson, JM, Maresh, CM, Beasley, KN y Zambraski, EJ. IGF-I measurement across blood, interstitial fluid, and muscle biocompartments following explosive, high-power exercise. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 303:R1080-R1089, 2012.
152. Okayama, T. Factors which regulate growth hormone secretion. *Med J* 17:13-19, 1972.
153. Pakarinen, A, Alen, M, Hakkinen, K y Komi, P. Serum thyroid hormones, thyrotropin and thyroxine binding globulin during prolonged strength training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 57:394-398, 1988.
154. Perry, JK, Liu, DX, Wu, ZS, Zhu, T y Lobie, PE. Growth hormone and cancer: An update on progress. *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes* 20:307-313, 2013.
155. Rance, NE y Max, SR. Modulation of the cytosolic androgen receptor in striated muscle by sex steroids. *Endocrinology* 115:862-866, 1984.
156. Ratamess, NA, Kraemer, WJ, Volek, JS, Maresh, CM, Vanheest, JL, Sharman, MJ, Rubin, MR, French, DN, Vescovi, JD, Silvestre, R, Hatfield, DL, Fleck, SJ y Deschenes, MR. Androgen receptor content following heavy resistance exercise in men. *J Steroid Biochem Mol Biol* 93:35-42, 2005.
157. Rogol, AD. Growth hormone: Physiology, therapeutic use, and potential for abuse. *Exerc Sport Sci Rev* 17:353-377, 1989.
158. Ronnestad, BR, Nygaard, H y Raastad, T. Physiological elevation of endogenous hormones results in superior strength training adaptation. *Eur J Appl Physiol* 111:2249-2259, 2011.
159. Rosner, W. The functions of corticosteroid-binding globulin and sex hormone-binding globulin: Recent advances. *Endocr Rev* 11:80-91, 1990.
160. Rubin, MR, Kraemer, WJ, Maresh, CM, Volek, JS, Ratamess, NA, Vanheest, JL, Silvestre, R, French, DN, Sharman, MJ, Judelson, DA, Gomez, AL, Vescovi, JD, y Hymer, WC. High-affinity growth hormone binding protein and acute heavy resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 37:395-403, 2005.
161. Sale, DG. Neural adaptation to resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 20:S135-S145, 1988.
162. Schakman, O, Kalista, S, Barbe, C, Loumaye, A y Thissen, JP. Glucocorticoid-induced skeletal muscle atrophy. *Int J Biochem Cell Biol* 45:2163-2172, 2013.
163. Sedliak, M, Finni, T, Cheng, S, Kraemer, WJ y Hakkinen, K. Effect of time-of-day-specific strength training on serum hormone concentrations and isometric strength in men. *Chronobiol Int*

24:1159-1177, 2007.
164. Selye, H. A syndrome produced by diverse nocuous agents. *Nature* 138:32, 1936.
165. Selye, H. Stress and disease. *Geriatrics* 10:253-261, 1955.
166. Shaner, AA, Vingren, JL, Hatfield, DL, Budnar, RG, Jr., Duplanty, AA, y Hill, DW. The acute hormonal response to free weight and machine weight resistance exercise. *J Strength Cond Res* 28:1032-1040, 2014.
167. Skierska, E, Ustupska, J, Biczowa, B y Lukaszewska, J. Effect of physical exercise on plasma cortisol, testosterone and growth hormone levels in weight lifters. *Endokrynol Pol* 2:159-165, 1976.
168. Skottner, A, Kanie, M, Jennische, E, Sjogren, J y Fryklund, L. Tissue repair and IGF-1. *Acta Paediatr Scand* 347:110-112, 1988.
169. Smilios, I, Pilianidis, T, Karamouzis, M y Tokmakidis, SP. Hormonal responses after various resistance exercise protocols. *Med Sci Sports Exerc* 35:644-654, 2003.
170. Sonntag, WE, Forman, LJ, Miki, N y Meiters, J. Growth hormone secretion and neuroendocrine regulation. En: *Handbook of Endocrinology*. Gass, GH y Kaplan, HM, eds. Boca Raton, FL: CRC Press, 35-39, 1982.
171. Spiering, BA, Kraemer, WJ, Vingren, JL, Ratamess, NA, Anderson, JM, Armstrong, LE, Nindl, BC, Volek, JS, Hakkinen, K y Maresh, CM. Elevated endogenous testosterone concentrations potentiate muscle androgen receptor responses to resistance exercise. *J Steroid Biochem Mol Biol* 114:195-199, 2009.
172. Staron, RS, Karapondo, DL, Kraemer, WJ, Fry, AC, Gordon, SE, Falkel, JE, Hagerman, FC y Hikida, RS. Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J Appl Physiol* 76:1247-1255, 1994.
173. Stone, MH, Byrd, R y Johnson, C. Observations on serum androgen response to short term resistive training in middle age sedentary males. *NSCA J* 5:40-65, 1984.
174. Stone, MH y O'Bryant, HS. *Weight Training: A Scientific Approach*. Minneapolis: Burgess International Group, 1987.
175. Suikkari, AM, Koivisto, VA, Koistinen, R, Seppala, M y Yki-Jarvinen, H. Dose-response characteristics for suppression of low molecular weight plasma insulin-like growth factor-binding protein by insulin. *J Clin Endocrinol Metab* 68:135-140, 1989.
176. Suikkari, AM, Sane, T, Seppala, M, Yki-Jarvinen, H, Karonen, SL y Koivisto, VA. Prolonged exercise increases serum insulin-like growth factor-binding protein concentrations. *J Clin Endocrinol Metab* 68:141-144, 1989.
177. Sutton, JR. Effect of acute hypoxia on the hormonal response to exercise. *J Appl Physiol* 42:587-592, 1977.
178. Szivak, TK, Hooper, DR, Dunn-Lewis, C, Comstock, BA, Kupchak, BR, Apicella, JM, Saenz, C, Maresh, CM, Denegar, CR y Kraemer, WJ. Adrenal cortical responses to high-intensity, short rest, resistance exercise in men and women. *J Strength Cond Res* 27:748-760, 2013.
179. Tapperman, J. *Metabolic and Endocrine Physiology*. Chicago: Year Book Medical, 1980.
180. Terjung, R. Endocrine response to exercise. *Exerc Sport Sci Rev* 7:153-180, 1979.
181. Thomas, GA, Kraemer, WJ, Kennett, MJ, Comstock, BA, Maresh, CM, Denegar, CR, Volek, JS y Hymer, WC. Immunoreactive and bioactive growth hormone responses to resistance exercise in men who are lean or obese. *J Appl Physiol* 111:465-472, 2011.
182. Triplett-McBride, NT, Mastro, AM, McBride, JM, Bush, JA, Putukian, M, Sebastianelli, WJ y Kraemer, WJ. Plasma proenkephalin peptide F and human B cell responses to exercise stress in fit and unfit women. *Peptides* 19:731-738, 1998.
183. Turner, JD, Rotwein, P, Novakofski, J y Bechtel, PJ. Induction of messenger RNA for IGF-I and-II during growth hormone-stimulated muscle hypertrophy. *Am J Physiol* 255:E513-E517, 1988.
184. Vanhelder, WP, Goode, RC y Radomski, MW. Effect of anaerobic and aerobic exercise of equal duration and work expenditure on plasma growth hormone levels. *Eur J Appl Physiol Occup*

Physiol 52:255-257, 1984.
185. Vanhelder, WP, Radomski, MW y Goode, RC. Growth hormone responses during intermittent weight lifting exercise in men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 53:31-34, 1984.
186. Vicencio, JM, Ibarra, C, Estrada, M, Chiong, M, Soto, D, Parra, V, Diaz-Araya, G, Jaimovich, E y Lavandero, S. Testosterone induces an intracellular calcium increase by a nongenomic mechanism in cultured rat cardiac myocytes. *Endocrinology* 147:1386-1395, 2006.
187. Vingren, JL, Koziris, LP, Gordon, SE, Kraemer, WJ, Turner, RT y Westerlind, KC. Chronic alcohol intake, resistance training, and muscle androgen receptor content. *Med Sci Sports Exerc* 37:1842-1848, 2005.
188. Vingren, JL, Kraemer, WJ, Hatfield, DL, Volek, JS, Ratamess, NA, Anderson, JM, Hakkinen, K, Ahtiainen, J, Fragala, MS, Thomas, GA, Ho, JY y Maresh, CM. Effect of resistance exercise on muscle steroid receptor protein content in strength-trained men and women. *Steroids* 74:1033-1039, 2009.
189. Vingren, JL, Kraemer, WJ, Ratamess, NA, Anderson, JM, Volek, JS y Maresh, CM. Testosterone physiology in resistance exercise and training: The up-stream regulatory elements. *Sports Med* 40:1037-1053, 2010.
190. Weiss, LW, Cureton, KJ y Thompson, FN. Comparison of serum testosterone and androstenedione responses to weight lifting in men and women. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 50:413-419, 1983.
191. Westerlind, KC. Exercise and serum androgens in women. *Phys Sportsmed* 15:87-90, 1987.
192. Willoughby, DS y Taylor, L. Effects of sequential bouts of resistance exercise on androgen receptor expression. *Med Sci Sports Exerc* 36:1499-1506, 2004.
193. Wolf, M, Ingbar, SH y Moses, AC. Thyroid hormone and growth hormone interact to regulate insulin-like growth factor-I messenger ribonucleic acid and circulating levels in the rat. *Endocrinology* 125:2905-2914, 1989.
194. Yeoh, SI y Baxter, RC. Metabolic regulation of the growth hormone independent insulin-like growth factor binding protein in human plasma. *Acta Endocrinol (Copenh)* 119:465-473, 1988.
195. Young, IR, Mesiano, S, Hintz, R, Caddy, DJ, Ralph, MM, Browne, CA y Thorburn, GD. Growth hormone and testosterone can independently stimulate the growth of hypophysectomized prepubertal lambs without any alteration in circulating concentrations of insulin-like growth factors. *J Endocrinol* 121:563-570, 1989.
196. Zorzano, A, James, DE, Ruderman, NB y Pilch, PF. Insulin-like growth factor I binding and receptor kinase in red and white muscle. *FEBS Lett* 234:257-262, 1988.

CAPÍTULO 5 Adaptaciones a los programas de entrenamiento anaeróbico

1. Aagaard, P. Training-induced changes in neural function. *Exerc Sport Sci Rev* 31:61-67, 2003.
2. Aagaard, P, Andersen, JL, Dyhre-Poulsen, P, Leffers, A, Wagner, A, Magnusson, P, Halkjaer-Kristensen, J y Simonsen, EB. A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: Changes in muscle architecture. *J Physiol* 534:613-623, 2001.
3. Aagaard, P, Simonsen, EB, Andersen, JL, Magnusson, P y Dyhre-Poulsen, P. Neural adaptation to resistance training: Changes in evoked V-wave and H-reflex responses. *J Appl Physiol* 92:2309-2318, 2002.
4. Aagaard, P, Simonsen, EB, Andersen, JL, Magnusson, P y Dyhre-Poulsen, P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol* 93:1318-1326, 2002.
5. Aagaard, P, Simonsen, EB, Andersen, JL, Magnusson, P, Halkjaer-Kristensen, J y Dyhre-Poulsen,

P. Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: Effects of resistance training. *J Appl Physiol* 89:2249-2257, 2000.
6. Abe, T, Kumagai, K y Brechue, WF. Fascicle length of leg muscles is greater in sprinters than distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 32:1125-1129, 2000.
7. Adams, GR, Harris, RT, Woodard, D y Dudley, D. Mapping of electrical muscle stimulation using MRI. *J Appl Physiol* 74:532-537, 1993.
8. Allen, GD. Physiological and metabolic changes with six weeks of detraining. *Aust J Sci Med Sport* 21:4-9, 1989.
9. Always, SE, MacDougall, JD y Sale, DG. Contractile adaptations in the human triceps surae after isometric exercise. *J Appl Physiol* 66:2725-2732, 1989.
10. Andersen, JL y Aagaard, P. Myosin heavy chain IIX overshoot in human skeletal muscle. *Muscle Nerve* 23:1095-1104, 2000.
11. Baker, D, Nance, S y Moore, M. The load that maximizes the average mechanical power output during explosive bench press throws in highly trained athletes. *J Strength Cond Res* 15:20-24, 2001.
12. Baker, D, Nance, S y Moore, M. The load that maximizes the average mechanical power output during jump squats in power trained athletes. *J Strength Cond Res* 15:92-97, 2001.
13. Baty, JJ, Hwang, H, Ding, Z, Bernard, JR, Wang, B, Kwon, B e Ivy, JL. The effect of a carbohydrate and protein supplement on resistance exercise performance, hormonal response, and muscle damage. *J Strength Cond Res* 21:321-329, 2007.
14. Beck, KC y Johnson, BD. Pulmonary adaptations to dynamic exercise. En: *ACSM's Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. Roitman, JL, ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 305-313, 1998.
15. Behm, DG, Anderson, K y Curnew, RS. Muscle force and activation under stable and unstable conditions. *J Strength Cond Res* 16:416-422, 2002.
16. Bell, GJ, Syrotuik, D, Martin, TP, Burnham, R y Quinney, HA. Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *Eur J Appl Physiol* 81:418-427, 2000.
17. Bell, GJ y Wenger, HA. The effect of one-legged sprint training on intramuscular pH and nonbicarbonate buffering capacity. *Eur J Appl Physiol* 58:158-164, 1988.
18. Bickel, CS, Slade, J, Mahoney, E, Haddad, F, Dudley, GA y Adams, GR. Time course of molecular responses of human skeletal muscle to acute bouts of resistance exercise. *J Appl Physiol* 98:482-488, 2005.
19. Biolo, G, Maggi, SP, Williams, BD, Tipton, KD y Wolfe, RR. Increased rates of muscle protein turnover and amino acid transport after resistance exercise in humans. *J Physiol* 268:E514-E520, 1995.
20. Blazevich, AJ, Gill, ND, Bronks, R y Newton, RU. Training-specific muscle architecture adaptations after 5-wk training in athletes. *Med Sci Sports Exerc* 35:2013-2022, 2003.
21. Budgett, R. Overtraining syndrome. *Br J Sports Med* 24:231-236, 1990.
22. Bush, JA, Kraemer, WJ, Mastro, AM, Triplett-McBride, T, Volek, JS, Putukian, M, Sebastianelli, WJ y Knuttgen, HG. Exercise and recovery responses of adrenal medullary neurohormones to heavy resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 31:554-559, 1999.
23. Callister, R, Callister, RJ, Fleck, SJ y Dudley, GA. Physiological and performance responses to overtraining in elite judo athletes. *Med Sci Sports Exerc* 22:816-824, 1990.
24. Callister, R, Shealy, MJ, Fleck, SJ y Dudley, GA. Performance adaptations to sprint, endurance and both modes of training. *J Appl Sport Sci Res* 2:46-51, 1988.
25. Campos, GE, Luecke, TJ, Wendeln, HK, Toma, K, Hagerman, FC, Murray, TF, Ragg, KE, Ratamess, NA, Kraemer, WJ y Staron, RS. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: Specificity of repetition maximum training zones. *Eur J Appl Physiol* 88:50-60, 2002.

26. Carolan, B y Cafarelli, E. Adaptations in coactivation after isometric resistance training. *J Appl Physiol* 73:911-917, 1992.
27. Chilibeck, PD, Calder, A, Sale, DG y Webber, CE. Twenty weeks of weight training increases lean tissue mass but not bone mineral mass or density in healthy, active young women. *Can J Physiol Pharm* 74:1180-1185, 1996.
28. Colletti, LA, Edwards, J, Gordon, L, Shary, J y Bell, NH. The effects of muscle-building exercise on bone mineral density of the radius, spine, and hip in young men. *Calcif Tissue Int* 45:12-14, 1989.
29. Conroy, BP, Kraemer, WJ, Maresh, CM y Dalsky, GP. Adaptive responses of bone to physical activity. *Med Exerc Nutr Health* 1:64-74, 1992.
30. Conroy, BP, Kraemer, WJ, Maresh, CM, Fleck, SJ, Stone, MH, Fry, AC, Miller, PD y Dalsky, GP. Bone mineral density in elite junior Olympic weightlifters. *Med Sci Sports Exerc* 25:1103-1109, 1993.
31. Cormie, P, McCaulley, GO, Triplett, NT y McBride, JM. Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 39:340-349, 2007.
32. Cornelissen, VA, Fagard, RH, Coeckelberghs, E y Vanhees, L. Impact of resistance training on blood pressure and other cardiovascular risk factors: A meta-analysis of randomized, controlled trials. *Hypertension* 58:950-958, 2011.
33. Costill, DL, Barnett, A, Sharp, R, Fink, WJ y Katz, A. Leg muscle pH following sprint running. *Med Sci Sports Exerc* 15:325-329, 1983.
34. Craig, BW, Brown, R y Everhart, J. Effects of progressive resistance training on growth hormone and testosterone levels in young and elderly subjects. *Mech Ageing Dev* 49:159-169, 1989.
35. Cussler, EC, Lohman, TG, Going, SB, Houtkooper, LB, Metcalfe, LL, Flint-Wagner, HG, Harris, RB y Teixeira, PJ. Weight lifted in strength training predicts bone change in postmenopausal women. *Med Sci Sports Exerc* 35:10-17, 2003.
36. De Luca, CJ y Contessa, P. Hierarchical control of motor units in voluntary contractions. *J Neurophysiol* 107:178-195, 2012.
37. Deligiannis, A, Zahopoulou, E y Mandroukas, K. Echocardiographic study of cardiac dimensions and function in weight lifters and body builders. *Int J Sports Cardiol* 5:24-32, 1988.
38. Deschenes, MR, Covault, J, Kraemer, WJ y Maresh, CM. The neuromuscular junction: Muscle fibre type differences, plasticity and adaptability to increased and decreased activity. *Sports Med* 17:358-372, 1994.
39. Deschenes, MR, Judelson, DA, Kraemer, WJ, Meskaitis, VJ, Volek, JS, Nindl, BC, Harman, FS y Deaver, DR. Effects of resistance training on neuromuscular junction morphology. *Muscle Nerve* 23:1576-1581, 2000.
40. Deschenes, MR, Maresh, CM, Crivello, JF, Armstrong, LE, Kraemer, WJ y Covault, J. The effects of exercise training of different intensities on neuromuscular junction morphology. *J Neurocytol* 22:603-615, 1993.
41. Dettmers, C, Ridding, MC, Stephan, KM, Lemon, RN, Rothwell, JC y Frackowiak, RS. Comparison of regional cerebral blood flow with transcranial magnetic stimulation at different forces. *J Appl Physiol* 81:596-603, 1996.
42. Dook, JE, Henderson, JC y Price, RI. Exercise and bone mineral density in mature female athletes. *Med Sci Sports Exerc* 29:291-296, 1997.
43. Duclos, M. A critical assessment of hormonal methods used in monitoring training status in athletes. *Int SportMed J* 9:56-66, 2008.
44. Dudley, GA y Djamil, R. Incompatibility of endurance- and strength-training modes of exercise. *J Appl Physiol* 59:1446-1451, 1985.
45. Dupont, G, Millet, GP, Guinhouya, C y Berthoin, S. Relationship between oxygen uptake kinetics and performance in repeated running sprints. *Eur J Appl Physiol* 95:27-34, 2005.
46. Eckstein, F, Hudelmaier, M y Putz, R. The effects of exercise on human articular cartilage. *J Anat*

208:491-512, 2006.
47. Edge, J, Bishop, D, Hill-Haas, S, Dawson, B y Goodman, C. Comparison of muscle buffer capacity and repeated-sprint ability of untrained, endurance-trained and team-sport athletes. *Eur J Appl Physiol* 96:225-234, 2006.
48. Enoka, RM. Neural adaptations with chronic physical activity. *J Biomech* 30:447-455, 1997.
49. Falkel, JE, Fleck, SJ y Murray, TF. Comparison of central hemodynamics between power lifters and bodybuilders during exercise. *J Appl Sport Sci Res* 6:24-35, 1992.
50. Felici, F, Rosponi, A, Sbriccoli, P, Filligoi, C, Fattorini, L y Marchetti, M. Linear and non-linear analysis of surface electromyograms in weightlifters. *Eur J Appl Physiol* 84:337-342, 2001.
51. Fisher, AG, Adams, TG, Yanowitz, FG, Ridges, JD, Orsmond, G y Nelson, AG. Noninvasive evaluation of world class athletes engaged in different modes of training. *Am J Cardiol* 63:337-341, 1989.
52. Fleck, SJ. Cardiovascular adaptations to resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 20:S146-S151, 1988.
53. Fleck, SJ. Cardiovascular responses to strength training. En: *The Encyclopaedia of Sports Medicine: Strength and Power in Sport*. Komi, PV, ed. Oxford: Blackwell Scientific, 387-406, 2003.
54. Fleck, SJ y Dean, LS. Resistance-training experience and the pressor response during resistance exercise. *J Appl Physiol* 63:116-120, 1987.
55. Fleck, SJ, Henke, C y Wilson, W. Cardiac MRI of elite junior Olympic weight lifters. *Int J Sports Med* 10:329-333, 1989.
56. French, DN, Kraemer, WJ, Volek, JS, Spiering, BA, Judelson, DA, Hoffman, JR y Maresh, CM. Anticipatory responses of catecholamines on muscle force production. *J Appl Physiol* 102:94-102, 2007.
57. Frost, HM. Why do marathon runners have less bone than weight lifters? A vital-biomechanical view and explanation. *Bone* 20:183-189, 1997.
58. Fry, AC y Kraemer, WJ. Resistance exercise overtraining and overreaching. *Sports Med* 23:106-129, 1997.
59. Fry, AC, Kraemer, WJ, Lynch, JM, Triplett, NT y Koziris, LP. Does short-term near maximal intensity machine resistance training induce overtraining? *J Strength Cond Res* 8:188-191, 1994.
60. Fry, AC, Kraemer, WJ y Ramsey, LT. Pituitary-adrenal-gonadal responses to high-intensity resistance exercise overtraining. *J Appl Physiol* 85:2352-2359, 1998.
61. Fry, AC, Kraemer, WJ, Stone, MH, Warren, BJ, Fleck, SJ, Kearney, JT y Gordon, SE. Endocrine responses to over-reaching before and after 1 year of weightlifting training. *Can J Appl Physiol* 19:400-410, 1994.
62. Fry, AC, Kraemer, WJ, van Borselen, F, Lynch, JM, Marsit, JL, Roy, EP, Triplett, NT y Knuttgen, HG. Performance decrements with high-intensity resistance exercise overtraining. *Med Sci Sports Exerc* 26:1165-1173, 1994.
63. Gabriel, DA, Kamen, G y Frost, G. Neural adaptations to resistive exercise: Mechanisms and recommendations for training practices. *Sports Med* 36:133-149, 2006.
64. Gettman, LR, Culter, LA y Strathman, T. Physiological changes after 20 weeks of isotonic vs isokinetic circuit training. *J Sports Med PhysFitness* 20:265-274, 1980.
65. Glowacki, SP, Martin, SE, Maurer, A, Back, W, Green, JS y Crouse, SF. Effects of resistance, endurance, and concurrent exercise on training outcomes in men. *Med Sci Sports Exerc* 36:2119-2127, 2004.
66. Goldspink, G. Changes in muscle mass and phenotype and the expression of autocrine and systemic growth factors by muscle in response to stretch and overload. *J Anat* 194:323-334, 1999.
67. Goldspink, G y Yang, SY. Effects of activity on growth factor expression. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 11:S21-S27, 2001.
68. Gonyea, WJ. The role of exercise in inducing skeletal muscle fiber number. *J Appl Physiol*

48:421-426, 1980.
69. Gorassini, M, Yang, JF, Siu, M y Bennett, DJ. Intrinsic activation of human motor units: Reduction of motor unit recruitment thresholds by repeated contractions. *J Neurophysiol* 87:1859-1866, 2002.
70. Granhed, H, Jonson, R y Hansson, T. The loads on the lumbar spine during extreme weight lifting. *Spine* 12:146-149, 1987.
71. Green, H, Dahly, A, Shoemaker, K, Goreham, C, Bombardier, E y Ball-Burnett, M. Serial effects of high-resistance and prolonged endurance training on Na+-K+ pump concentration and enzymatic activities in human vastus lateralis. *Acta Physiol Scand* 165:177-184, 1999.
72. Hakkinen, K y Alen, M. Physiological performance, serum hormones, enzymes and lipids of an elite power athlete during training with and without androgens and during prolonged training. A case study. *J Sports Med Phys Fitness* 26:92-100, 1986.
73. Hakkinen, K, Alen, M, Kallinen, M, Izquierdo, M, Jokelainen, K, Lassila, H, Maikia, E, Kraemer, WJ y Newton, RU. Muscle CSA, force production and activation of leg extensor during isometric and dynamic actions in middle-aged and elderly men and women. *J Aging Phys Act* 6:232-247, 1998.
74. Hakkinen, K, Alen, M, Kraemer, WJ, Gorostiaga, E, Izquierdo, M, Rusko, H, Mikkola, J, Hakkinen, A, Valkeinen, H, Kaarakainen, E, Romu, S, Erola, V, Ahtiainen, J y Paavolainen, L. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *Eur J Appl Physiol* 89:42-52, 2003.
75. Hakkinen, K, Izquierdo, M, Aguado, X, Newton, RU y Kraemer, WJ. Isometric and dynamic explosive force production of leg extensor muscles in men at different ages. *J Hum Mov Stud* 31:105-121, 1996.
76. Hakkinen, K, Kallinen, M, Izquierdo, M, Jokelainen, K, Lassila, H, Maikia, E, Kraemer, WJ, Newton, RU y Alen, M. Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA and force during strength training in middle-aged and older people. *J Appl Physiol* 84: 1341-1349, 1998.
77. Hakkinen, K, Newton, RU, Gordon, SE, McCormick, M, Volek, JS, Nindl, BC, Gotshalk, LA, Campbell, WW, Evans, WJ, Hakkinen, A, Humphries, B y Kraemer, WJ. Changes in muscle morphology, electromyographic activity, and force production characteristics during progressive strength training in young and older men. *J Gerontol Biol Sci* 53:415-423, 1998.
78. Hakkinen, K y Pakarinen, A. Acute hormonal responses to two different fatiguing heavy-resistance protocols in male athletes. *J Appl Physiol* 74:882-887, 1993.
79. Hakkinen, K, Pakarinen, A, Alen, M, Kauhanen, H y Komi, PV. Relationships between training volume, physical performance capacity, and serum hormone concentrations during prolonged training in elite weight lifters. *Int J Sports Med* 8:61-65, 1987.
80. Hakkinen, K, Pakarinen, A, Alen, M, Kauhanen, H y Komi, PV. Neuromuscular and hormonal adaptations in athletes to strength training in two years. *J Appl Physiol* 65:2406-2412, 1988.
81. Halson, SL y Jeukendrup, AE. Does overtraining exist? An analysis of overreaching and overtraining research. *Sports Med* 34:967-981, 2004.
82. Hansen, S, Kvorning, T, Kjaer, M y Szogaard, G. The effect of short-term strength training on human skeletal muscle: The importance of physiologically elevated hormone levels. *Scand J Med Sci Sports* 11:347-354, 2001.
83. Hather, BM, Tesch, PA, Buchanan, P y Dudley, GA. Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance. *Acta Physiol Scand* 143:177-185, 1991.
84. Henderson, NK, White, CP y Eisman, JA. The role of exercise and fall risk reduction in prevention of osteoporosis. *Endocrin Metab Clin* 27:369-387, 1998.
85. Hibbs, AE, Thompson, KG, French, DN, Hodgson, D y Spears, IR. Peak and average rectified EMG measures: Which method of data reduction should be used for assessing core training exercises? *J Electromyogr Kinesiol* 21:102-111, 2011.
86. Hickson, RC. Interference of strength development by simultaneously training for strength and

endurance. *Eur J Appl Physiol* 45:255-263, 1980.
87. Ho, K, Roy, R, Taylor, J, Heusner, W, Van Huss, W y Carrow, R. Muscle fiber splitting with weightlifting exercise. *Med Sci Sports Exerc* 9:65, 1977.
88. Hortobagyi, T, Houmard, JA, Stevenson, JR, Fraser, DD, Johns, RA e Israel, RG. The effects of detraining on power athletes. *Med Sci Sports Exerc* 25:929-935, 1993.
89. Howatson, GI, Zult, T, Farthing, JP, Ziidewind, I y Hortobagyi, T. Mirror training to augment cross-education during resistance training: A hypothesis. *Front Hum Neurosci* 24:394, 2013.
90. Hurley, BF. Effects of resistance training on lipoprotein-lipid profiles: A comparison to aerobic exercise training. *Med Sci Sports Exerc* 21:689-693, 1989.
91. Kanehisa, H y Fukunaga, T. Profiles of musculoskeletal development in limbs of college Olympic weightlifters and wrestlers. *Eur J Appl Physiol* 79:414-420, 1999.
92. Kannus, P, Jozsa, L, Natri, A y Jarvinen, M. Effects of training, immobilization and remobilization on tendons. *Scand J Med Sci Sports* 7:67-71, 1997.
93. Karlsson, TS, Johnell, O y Obrandt, KJ. Is bone mineral advantage maintained long-term in previous weightlifters? *Calcif Tissue Int* 57:325-328, 1995.
94. Kearns, CF, Abe, T y Brechue, WF. Muscle enlargement in sumo wrestlers includes increased muscle fascicle length. *Eur J Appl Physiol* 83:289-296, 2000.
95. Kelley, GA y Kelley, KS. Progressive resistance exercise and resting blood pressure: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Hypertension* 35:838-843, 2000.
96. Kellis, E, Arabatzi, F y Papadopoulos, C. Muscle co-activation around the knee in drop jumping using the co-contraction index. *J Electromyogr Kinesiol* 13:229-238, 2003.
97. Khaled, MB. Effect of traditional aerobic exercises versus sprint interval training on pulmonary function tests in young sedentary males: A randomised controlled trial. *J Clin Diagn Res* 7:1890-1893, 2013.
98. Kim, JS, Cross, JM y Bamman, MM. Impact of resistance loading on myostatin expression and cell cycle regulation in young and older men and women. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 288:E1110-1119, 2005.
99. Kjaer, MJ. Role of extracellular matrix in adaptation of tendon and skeletal muscle to mechanical loading. *Physiol Rev* 84, 649-698, 2004.
100. Konig, D, Huonker, M, Schmid, A, Halle, M, Berg, A y Keul, J. Cardiovascular, metabolic, and hormonal parameters in professional tennis players. *Med Sci Sports Exerc* 33:654-658, 2001.
101. Kosek, DJ, Kim, JS, Petrella, JK, Cross, JM y Bamman, MM. Efficacy of 3 days/wk resistance training on myofiber hypertrophy and myogenic mechanisms in young vs. older adults. *J Appl Physiol* 101:531-544, 2006.
102. Kraemer, WJ. Endocrine responses to resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 20:152-157, 1998.
103. Kraemer, WJ, Adams, K, Cafarelli, E, Dudley, GA, Dooly, C, Feigenbaum, MS, Fleck, SJ, Franklin, B, Fry, AC, Hoffman, JR, Newton, RU, Potteiger, J, Stone, MH, Ratamess, NA, Triplett-McBride, T y American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 34:364-380, 2002.
104. Kraemer, WJ, Fleck, SJ, Dziados, JE, Harman, EA, Marchitelli, LJ, Gordon, SE, Mello, R, Frykman, PN, Koziris, LP y Triplett, NT. Changes in hormonal concentrations after different heavy-resistance exercise protocols in women. *J Appl Physiol* 75: 594-604, 1993.
105. Kraemer, WJ, Fleck, SJ, Maresh, CM, Ratamess, NA, Gordon, SE, Goetz, KL, Harman, EA, Frykman, PN, Volek, JS, Mazzetti, SA, Fry, AC, Marchitelli, LJ y Patton, JF. Acute hormonal responses to a single bout of heavy resistance exercise in trained power lifters and untrained men. *Can J Appl Physiol* 24:524-537, 1999.
106. Kraemer, WJ, Gordon, SE, Fleck, SJ, Marchitelli, LJ, Mello, R, Dziados, JE, Friedl, K, Harman, E, Maresh, CM y Fry, AC. Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy

resistance exercise in males and females. *Int J Sports Med* 12:228-235, 1991.
107. Kraemer, WJ y Koziris, LP. Olympic weightlifting and power lifting. En: *Physiology and Nutrition for Competitive Sport*. Lamb, DR, Knuttgen, HG y Murray, R, eds. Carmel, IN: Cooper, 1-54, 1994.
108. Kraemer, WJ, Koziris, LP, Ratamess, NA, Hakkinen, K, Triplett-McBride, NT, Fry, AC, Gordon, SE, Volek, JS, French, DN, Rubin, MR, Gomez, AL, Sharman, MJ, Lynch, JM, Izquierdo, M, Newton, RU y Fleck, SJ. Detraining produces minimal changes in physical performance and hormonal variables in recreationally strength-trained men. *J Strength Cond Res* 16:373-382, 2002.
109. Kraemer, WJ, Marchitelli, L, McCurry, D, Mello, R, Dziados, JE, Harman, E, Frykman, P, Gordon, SE y Fleck, SJ. Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise. *J Appl Physiol* 69:1442-1450, 1990.
110. Kraemer, WJ y Nindl, BC. Factors involved with overtraining for strength and power. En: *Overtraining in Sport*. Kreider, RB, Fry, AC y O'Toole, ML, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 69-86, 1998.
111. Kraemer, WJ, Noble, BJ, Culver, BW y Clark, MJ. Physiologic responses to heavy-resistance exercise with very short rest periods. *Int J Sports Med* 8:247-252, 1987.
112. Kraemer, WJ, Patton, J, Gordon, SE, Harman, EA, Deschenes, MR, Reynolds, K, Newton, RU, Triplett, NT y Dziados, JE. Compatibility of high intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J Appl Physiol* 78:976-989, 1995.
113. Kraemer, WJ y Ratamess, NA. Physiology of resistance training: Current issues. *Orthop Phys Ther Clin N Am* 4:467-513, 2000.
114. Kraemer, WJ y Ratamess, NA. Fundamentals of resistance training: Progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc* 36:674-678, 2004.
115. Kraemer, WJ y Ratamess, NA. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med* 35:339-361, 2005.
116. Kraemer, WJ, Ratamess, NA y French, DN. Resistance training for health and performance. *Curr Sport Med Rep* 1:165-171, 2002.
117. Kraemer, WJ, Rubin, MR, Hakkinen, K, Nindl, BC, Marx, JO, Volek, JS, French, DN, Gomez, AL, Sharman, MJ, Scheett, TP, Ratamess, NA, Miles, MP, Mastro, AM, Van Heest, JL, Maresh, CM, Welsch, JR y Hymer, WC. Influence of muscle strength and total work on exercise-induced plasma growth hormone isoforms in women. *J Sci Med Sport* 6:295-306, 2003.
118. Kraemer, WJ, Spiering, BA, Volek, JS, Ratamess, NA, Sharman, MJ, Rubin, MR, French, DN, Silvestre, R, Hatfield, DL, Van Heest, JL, Vingren, JL, Judelson, DA, Deschenes, MR y Maresh, CM. Androgenic responses to resistance exercise: Effects of feeding and L-carnitine. *Med Sci Sports Exerc* 38:1288-1296, 2006.
119. Kraemer, WJ, Staron, RS, Karapondo, D, Fry, AC, Gordon, SE, Volek, JS, Nindl, BC, Gotshalk, L, Newton, RU y Hakkinen, K. The effects of short-term resistance training on endocrine function in men and women. *Eur J Appl Physiol* 78:69-76, 1998.
120. Kraemer, WJ, Volek, JS, Clark, KL, Gordon, SE, Incledon, T, Puhl, SM, Triplett-McBride, NT, McBride, JM, Putukian, M y Sebastianelli, WJ. Physiological adaptations to a weight-loss dietary regimen and exercise programs in women. *J Appl Physiol* 83:270-279, 1997.
121. Kubo, K, Kanehisa, H y Fukunaga, T. Effects of resistance and stretching training programmes on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *J Physiol* 538:219-226, 2002.
122. Kubo, K, Komuro, T, Ishiguro, N, Tsunoda, N y Sato, Y. Effects of low-load resistance training with vascular occlusion on the mechanical properties of muscle and tendon. *J Appl Biomech* 22:112-119, 2006.
123. Kubo, K, Yata, H, Kanehisa, H y Fukunaga, T. Effects of isometric squat training on the tendon stiffness and jump performance. *Eur J Appl Physiol* 96:305-314, 2006.
124. Kuipers, H y Keizer, HA. Overtraining in elite athletes: Review and directions for the future. *Sports Med* 6:79-92, 1988.

125. Langberg, H, Rosendal, L y Kjaer, M. Training-induced changes in peritendinous type I collagen turnover determined by microdialysis in humans. *J Physiol* 534:297-302, 2001.
126. Leveritt, M y Abernethy, PJ. Acute effects of high-intensity endurance exercise on subsequent resistance activity. *J Strength Cond Res* 13:47-51, 1999.
127. Leveritt, M, Abernethy, PJ, Barry, B y Logan, PA. Concurrent strength and endurance training: The influence of dependent variable selection. *J Strength Cond Res* 17:503-508, 2003.
128. Luthi, JM, Howald, H, Claassen, H, Rosler, K, Vock, P y Hoppeler, H. Structural changes in skeletal muscle tissue with heavy-resistance exercise. *Int J Sports Med* 7:123-127, 1986.
129. MacDougall, JD, Elder, GCB, Sale, DG y Sutton, JR. Effects of strength training and immobilization on human muscle fibers. *Eur J Appl Physiol* 43:25-34, 1980.
130. MacDougall, JD, Gibala, MJ, Tarnopolsky, MA, MacDonald, JR, Interisano, SA y Yarasheski, KE. The time course for elevated muscle protein synthesis following heavy resistance exercise. *Can J Appl Physiol* 20:480-486, 1995.
131. MacDougall, JD, Sale, DG, Always, SE y Sutton, JR. Muscle fiber number in biceps brachii in bodybuilders and control subjects. *J Appl Physiol* 57:1399-1403, 1984.
132. MacDougall, JD, Sale, DG, Elder, GC y Sutton, JR. Muscle ultrastructural characteristics of elite powerlifters and bodybuilders. *Eur J Appl Physiol* 48:117-126, 1982.
133. MacDougall, JD, Sale, DG, Moroz, JR, Elder, GCB, Sutton, JR y Howald, H. Mitochondrial volume density in human skeletal muscle following heavy resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 11:164-166, 1979.
134. MacDougall, JD, Tuxen, D, Sale, DG, Moroz, JR y Sutton, JR. Arterial blood pressure response to heavy resistance exercise. *J Appl Physiol* 58:785-790, 1985.
135. MacDougall, JD, Ward, GR, Sale, DG y Sutton, JR. Biochemical adaptation of human skeletal muscle to heavy resistance training and immobilization. *J Appl Physiol* 43:700-703, 1977.
136. McCall, GE, Byrnes, WC, Fleck, SJ, Dickinson, A y Kraemer, WJ. Acute and chronic hormonal responses to resistance training designed to promote muscle hypertrophy. *Can J Appl Physiol* 24:96-107, 1999.
137. McCarthy, JP, Agre, JC, Graf, BK, Pozniak, MA y Vailas, AC. Compatibility of adaptive responses with combining strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc* 27:429-436, 1995.
138. McCarthy, JP, Pozniak, MA y Agre, JC. Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc* 34:511-519, 2002.
139. McCartney, N, McKelvie, RS, Martin, J, Sale, DG y MacDougall, JD. Weight-training induced attenuation of the circulatory response of older males to weight lifting. *J Appl Physiol* 74: 1056-1060, 1993.
140. Meeusen, R, Duclos, M, Foster, C, Fry, A, Gleeson, M, Nieman, D, Raglin, J, Rietiens, G, Steinacker, J y Urhausen, A. Prevention, diagnosis, and treatment of the over training syndrome: Joint consensus statement of the European College of Sports Science and the American College of Sports Medicine. *Med Sci Sports Exerc* 45:186-205, 2013.
141. Meeusen, R, Piacentini, MF, Busschaert, B, Buvse, L, De Schutter, G y Stray-Gundersen, J. Hormonal responses in athletes: The use of a two bout exercise protocol to detect subtle differens in (over) training status. *Eur J Appl Physiol* 91:140-146, 2004.
142. Miller, BF, Olesen, JL, Hansen, M, Dossing, S, Crameri, RM, Welling, RJ, Langberg, H, Flyvbjerg, A, Kjaer, M, Babraj, JA, Smith, K y Rennie, MJ. Coordinated collagen and muscle protein synthesis in human patella tendon and quadriceps muscle after exercise. *J Physiol* 15:1021-1033, 2005.
143. Minchna, H y Hantmann, G. Adaptation of tendon collagen to exercise. *Int Orthop* 13:161-165, 1989.
144. Moore, CA y Fry, AC. Nonfunctional overreaching during off-season training for skill position players in collegiate American football. *J Strength Cond Res* 21:793-800, 2007.

145. Moritani, T y deVries, HA. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med* 58:115-130, 1979.
146. Mujika, I y Padilla, S. Muscular characteristics of detraining in humans. *Med Sci Sports Exerc* 33:1297-1303, 2001.
147. Munn, J, Herbert, RC y Gandevia, SC. Contralateral effects of unilateral resistance training: A meta-analysis. *J Appl Physiol* 96:1861-1866, 2004.
148. Nardone, A, Romano, C y Schieppati, M. Selective recruitment of high-threshold human motor units during voluntary isotonic lengthening of active muscles. *J Physiol* 409:451-471, 1989.
149. Newton, RU, Kraemer, WJ, Hakkinen, K, Humphries, BJ y Murphy, AJ. Kinematics, kinetics, and muscle activation during explosive upper body movements: Implications for power development. *J Appl Biomech* 12:31-43, 1996.
150. Ortenblad, N, Lunde, PK, Levin, K, Andersen, JL y Pedersen, PK. Enhanced sarcoplasmic reticulum Ca(2+) release following intermittent sprint training. *Am J Physiol* 279:R152-R160, 2000.
151. Pensini, M, Martin, A y Maffiuletti, MA. Central versus peripheral adaptations following eccentric resistance training. *Int J Sports Med* 23:567-574, 2002.
152. Perry, J, Schmidt Easterday, C y Antonelli, DJ. Surface versus intramuscular electrodes for electromyography of superficial and deep muscles. *Phys Ther* 61:7-15, 1981.
153. Pette, D y Staron, RS. Mammalian skeletal muscle fiber type transitions. *Int Rev Cytol* 170:143-223, 1997.
154. Pette, D y Staron, RS. Cellular and molecular diversities of mammalian skeletal muscle fibers. *Rev Physiol Biochem Pharmacol* 116:1-76, 1990.
155. Pette, D y Staron, RS. Myosin isoforms, muscle fiber types, and transitions. *Microsc Res Tech* 50:500-509, 2002.
156. Phillips, S, Tipton, K, Aarsland, A, Wolf, S y Wolfe, R. Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 273:E99-E107, 1997.
157. Ploutz, LL, Tesch, PA, Biro, RL y Dudley, GA. Effect of resistance training on muscle use during exercise. *J Appl Physiol* 76:1675-1681, 1994.
158. Pocock, NA, Eisman, J, Gwinn, T, Sambrook, P, Kelley, P, Freund, J y Yeates, M. Muscle strength, physical fitness, and weight but not age to predict femoral neck bone mass. *J Bone Min Res* 4:441-448, 1989.
159. Raastad, T, Glomsheller, T, Bjoro, T y Hallen, J. Changes in human skeletal muscle contractility and hormone status during 2 weeks of heavy strength training. *Eur J Appl Physiol* 84:54-63, 2001.
160. Ratamess, NA, Falvo, MJ, Mangine, GT, Hoffman, JR, Faigenbaum, AD y Kang, J. The effect of rest interval length on metabolic responses to the bench press exercise. *Eur J Appl Physiol* 100:1-17, 2007.
161. Ratamess, NA e Izquierdo, M. Neuromuscular adaptations to training. En: *The Olympic Textbook of Medicine in Sport*. Hoboken, NJ: Wiley, 67-78, 2008.
162. Ratamess, NA, Kraemer, WJ, Volek, JS, Maresh, CM, Van Heest, JL, Sharman, MS, Rubin, MR, French, DN, Vescovi, JD, Silvestre, R, Hatfield, DL, Fleck, SJ y Deschenes, MR. Effects of heavy resistance exercise volume on post-exercise androgen receptor content in resistance-trained men. *J Steroid Biochem* 93:35-42, 2005.
163. Ratamess, NA, Kraemer, WJ, Volek, JS, Rubin, MR, Gomez, AL, French, DN, Sharman, MJ, McGuigan, MM, Scheett, TP, Hakkinen, K y Dioguardi, F. The effects of amino acid supplementation on muscular performance during resistance training overreaching: Evidence of an effective overreaching protocol. *J Strength Cond Res* 17:250-258, 2003.
164. Sabo, D, Bernd, L, Pfeil, J y Reiter, A. Bone quality in the lumbar spine in high-performance athletes. *Eur Spine J* 5:258-263, 1996.

165. Sadusky, TJ, Kemp, TJ, Simon, M, Carey, N y Coulton, GR. Identification of Serhl, a new member of the serine hydrolase family induced by passive stretch of skeletal muscle in vivo. *Genomics* 73:38-49, 2001.
166. Sale, DG. Influence of exercise and training on motor unit activation. *Exerc Sport Sci Rev* 15:95-151, 1987.
167. Sale, DG. Neural adaptations to strength training. En: *The Encyclo paedia of Sports Medicine: Strength and Power in Sport*. Komi, PV, ed. Oxford: Blackwell Scientific, 281-314, 2003.
168. Sale, DG, Jacobs, I, MacDougall, JD y Garner, S. Comparison of two regimens of concurrent strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc* 22:348-356, 1990.
169. Sale, DG, Moroz, DE, McKelvie, RS, MacDougall, JD y McCartney, N. Effect of training on the blood pressure response to weight lifting. *Can J Appl Physiol* 19:60-74, 1994.
170. Sale, DG, Upton, ARM, McComas, AJ y MacDougall, JD. Neuromuscular functions in weight-trainers. *Exp Neurol* 82:521-531, 1983.
171. Santana, JC, Vera-Garcia, FJ y McGill, SM. A kinetic and electromyographic comparison of the standing cable press and bench press. *J Strength Cond Res* 21:1271-1277, 2007.
172. Sedano, S, Marin, PJ, Cuadrado, G y Redondo, JC. Concurrent training in elite male runners: The influence of strength versus muscular endurance training on performance outcomes. *J Strength Cond Res* 27:2433-2443, 2013.
173. Semmler, J. Motor unit synchronization and neuromuscular performance. *Exerc Sport Sci Rev* 30:8-14, 2002.
174. Semmler, JG, Sale, MV, Meyer, FG y Nordstrom, MA. Motor-unit coherence and its relation with synchrony are influenced by training. J *Neurophysiol* 92:3320-3331, 2004.
175. Sharp, RL, Costill, DL, Fink, WJ y King, DS. Effects of eight weeks of bicycle ergometer sprint training on human muscle buffer capacity. *Int J Sports Med* 7, 13-17, 1986.
176. Shima, SN, Ishida, K, Katayama, K, Morotome, Y, Sato, Y y Miyamura, M. Cross education of muscular strength during unilateral resistance training and detraining. *Eur J Appl Physiol* 86:287-294, 2002.
177. Shinohara, M, Kouzaki, M, Yoshihisa, T y Fukunaga, T. Efficacy of tourniquet ischemia for strength training with low resistance. *Eur J Appl Physiol* 77:189-191, 1998.
178. Skerry, TM. Mechanical loading and bone: What sort of exercise is beneficial to the skeleton? *Bone* 20:179-181, 1997.
179. Spiering, BA, Kraemer, WJ, Anderson, JM, Armstrong, LE, Nindl, BC, Volek, JS y Maresh, CM. Resistance exercise biology. Manipulation of resistance exercise programme variables determines the response of cellular and molecular signaling pathways. *Sports Med* 38:527-540, 2008.
180. Staff, PH. The effects of physical activity on joints, cartilage, tendons, and ligaments. *Scand J Med Sci Sports* 29:59-63, 1982.
181. Staron, RS. The classification of human skeletal muscle fiber types. *J Strength Cond Res* 11:67, 1997.
182. Staron, RS, Hagerman, FC y Hikida, RS. The effects of detraining on an elite power lifter. A case study. *J Neurol Sci* 51:247-257, 1981.
183. Staron, RS, Karapondo, DL, Kraemer, WJ, Fry, AC, Gordon, SE, Falkel, JE, Hagerman, FC y Hikida, RS. Skeletal muscle adaptations during the early phase of heavy-resistance training in men and women. *J Appl Physiol* 76:1247-1255, 1994.
184. Staron, RS, Malicky, ES, Leonardi, MJ, Falkel, JE, Hagerman, FC y Dudley, GA. Muscle hypertrophy and fast fiber type conversions in heavy resistance-trained women. *Eur J Appl Physiol* 60:71-79, 1989.
185. Stone, MH, Keith, RE, Kearney, JT, Fleck, SE, Wilson, GD y Triplett, NT. Overtraining: A review of the signs, symptoms and possible causes. *J Appl Sport Sci Res* 5:35-50, 1991.
186. Strope, MA, Nigh, P, Carter, MI, Lin, N, Jiang, J y Hinton, PS. Physical activity-associated bone loading during adolescence and young adulthood is positively associated with adult bone mineral

density in men. *Am J Mens Health*, 2014.
187. Taaffe, DR, Robinson, TL, Snow, CM y Marcus, R. High impact exercise promotes bone gain in well-trained female athletes. *J Bone Min Res* 12:255-260, 1997.
188. Takarada, Y, Sato, Y e Ishii, N. Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. *Eur J Appl Physiol* 86:308-314, 2002.
189. Ter Haar Romeny, BM, Dernier Van Der Goen, JJ y Gielen, CCAM. Changes in recruitment order of motor units in the human biceps muscle. *Exp Neurol* 78:360-368, 1982.
190. Tesch, PA. Skeletal muscle adaptations consequent to longterm heavy-resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 20:S124-S132, 1988.
191. Tesch, PA y Larsson, L. Muscle hypertrophy in bodybuilders. *Eur J Appl Physiol* 49:310, 1982.
192. Tipton, KD y Ferrando, AA. Improving muscle mass: Response of muscle metabolism to exercise, nutrition and anabolic agents. *Essays Biochem* 44:85-98, 2008.
193. Tremblay, MS, Copeland, JL y Van Helder, W. Effect of training status and exercise mode on endogenous steroid hormones in men. *J Appl Physiol* 96, 531-539, 2003.
194. Urhausen, A y Kinderman, W. Diagnosis of overtraining: What tools do we have? *Sports Med* 32:95-102, 2002.
195. Vanwanseele, B, Lucchinetti, E y Stussi, E. The effects of immobilization on the characteristics of articular cartilage: Current concepts and future directions. *Osteoarthritis Cartilage* 10:408-419, 2002.
196. Virvidakis, K, Georgion, E, Konkotsidis, A, Ntalles, K y Proukasis, C. Bone mineral content of junior competitive weightlifters. *Int J Sports Med* 11:244-246, 1990.
197. Wilson, JM, Marin, PJ, Rhea, MR, Wilson, SM, Loenneke, JP y Anderson, JC. Concurrent training: A meta-analysis examining interference of aerobic and resistance exercises. *J Strength Cond Res* 26:2293-2307, 2012.
198. Wittich, A, Mautalen, CA, Oliveri, MB, Bagur, A, Somoza, F y Rotemberg, E. Professional football (soccer) players have a markedly greater skeletal mineral content, density, and size than age- and BMI-matched controls. *Calcif Tissue Int* 63:112-117, 1998.

CAPÍTULO 6 Adaptaciones a los programas de entrenamiento de la resistencia aeróbica

1. Andersen, P. Capillary density in skeletal muscle of man. *Acta Physiol Scand* 95:203-205, 1975.
2. Andersen, P y Henriksson, J. Training induced changes in the subgroups of human type II skeletal muscle fibres. *Acta Physiol Scand* 99:123-125, 1977.
3. Astrand, PO. Physical performance as a function of age. *JAMA* 205:729-733, 1968.
4. Astrand, PO, Cuddy, TE, Saltin, B y Stenberg, J. Cardiac output during submaximal and maximal work. *J Appl Physiol* 19:268-274, 1964.
5. Astrand, PO, Rodahl, K, Dahl, HA y Stromme, SB. *Textbook of Work Physiology: Physiological Basis of Exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics, 313-368, 2003.
6. Barcroft, H y Swan, HJC. Sympathetic control of human blood vessels. *California Medicine* 79:337, 1953.
7. Beck, KC y Johnson, BD. Pulmonary adaptations to dynamic exercise. En: *ACSM 's Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. Roitman, JL, ed. Baltimore: Williams and Wilkins, 305-313, 1998.
8. Blaauw, B, Schiaffino, S y Reggiani, C. Mechanisms modulating skeletal muscle phenotype. *Compr Physiol* 3:1645-1687, 2013.
9. Bompa, TO y Haff, GG. *Periodization: Theory and Methodology of Training*. Champaign, IL: Human Kinetics, 156-160, 2009.
10. Borer, KT. Physical activity in the prevention and amelioration of osteoporosis in women:

Interaction of mechanical, hormonal and dietary factors. *Sports Med* 35:779830, 2005.
11. Borresen, J. y Lambert, MI. Autonomic control of heart rate during and after exercise: Measurements and implications for monitoring training status. *Sports Med* 38:633-646, 2008.
12. Boudenot, A, Presle, N, Uzbekov, R, Toumi, H, Pallu, S y Lespessailles, E. Effect of interval-training exercise on subchondral bone in a chemically-induced osteoarthritis model. *Osteoarthritis Cartilage* 22:1176-1185, 2014.
13. Brooks, GA, Fahey, TD y Baldwin, KM. *Exercise Physiology: Human Bioenergetics and Its Applications*. 4.ª ed. Mountain View, CA: Mayfield, 2004.
14. Buchheit, M y Laursen, PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: Cardiopulmonary emphasis. *Sports Med* 43:313-338, 2013.
15. Buckwalter, JA. Osteoarthritis and articular cartilage use, disuse y abuse: Experimental studies. *J Rheumatol Suppl* 43:13-15, 1995.
16. Burke, LM, Hawley, JA, Wong, SH y Jeukendrup, AE. Carbohydrates for training and competition. *J Sports Sci* 29(Suppl 1):S17-S27, 2011.
17. Callister, R, Shealy, MJ, Fleck, SJ y Dudley, GA. Performance adaptations to sprint, endurance and both modes of training. *J Appl Sport Sci Res* 2:46-51, 1988.
18. Charkoudian, N y Joyner, MJ. Physiologic considerations for exercise performance in women. *Clin Chest Med* 25:247-255, 2004.
19. Costill, DL, Daniels, J, Evans, W, Fink, W, Krahenbuhl, G y Saltin, B. Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. *J Appl Physiol* 40:149-154, 1976.
20. Coyle, EF, Hemmert, MK y Coggan, AR. Effects of detraining on cardiovascular responses to exercise: Role of blood volume. *J Appl Physiol* 60:95-99, 1986.
21. Coyle, EF, Martin, WH, Bloomfield, SA, Lowry, OH y Holloszy, JO. Effects of detraining on responses to submaximal exercise. *J Appl Physiol* 59:853-859, 1985.
22. Coyle, EF, Martin, WH, Sinacore, DR, Joyner, MJ, Hagberg, JM y Holloszy, JO. Time course of loss of adaptations after stopping prolonged intense endurance training. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 57:1857-1864, 1984.
23. Drinkwater, BL y Horvath, SM. Detraining effects on young women. *Medicine and Science in Sports* 4:91-95, 1972.
24. Durstine, JL y Davis, PG. Specificity of exercise training and testing. En: *ACSM's Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. Roitman, JL, ed. Baltimore: Williams and Wilkins, 472-479, 1998.
25. Fardy, PS. Effects of soccer training and detraining upon selected cardiac and metabolic measures. *Res Q* 40:502-508, 1969.
26. Fardy, PS. Training for aerobic power. En: *Toward an Understanding of Human Performance*. Burke, EJ, ed. Ithaca, NY: Mouvement, 10-14, 1977.
27. Fink, WJ, Costill, DL y Pollock, ML. Submaximal and maximal working capacity of elite distance runners: Part II. Muscle fiber composition and enzyme activities. *Ann N Y Acad Sci* 301:323-327, 1977.
28. Fleck, SJ y Kraemer, WJ. The overtraining syndrome. *NSCA J* 4:50-51, 1982.
29. Fleck, SJ y Kraemer, WJ. *Periodization Breakthrough: The Ultimate Training System*. Ronkonkoma, NY: Advanced Research Press, 1996.
30. Flynn, MG., Pizza, FX., Boone, JB., Jr., Andres, FF., Michaud, TA. y Rodriguez-Zayas, JR. Indices of training stress during competitive running and swimming seasons. *Int J Sports Med* 15:21-26, 1994.
31. Franch, J, Madsen, K, Djurhuus, MS y Pedersen, PK. Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilatory demands. *Med Sci Sports Exerc* 30:1250-1256, 1998.
32. Franklin, BA. Normal cardiorespiratory responses to acute exercise. En: *ACSM's Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. Roitman, JL, ed. Baltimore:

Williams and Wilkins, 137-145, 1998.
33. Franklin, BA y Roitman, JL. Cardiorespiratory adaptations to exercise. En: *ACSM's Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. Roitman, JL, ed. Baltimore: Williams and Wilkins, 146-155, 1998.
34. Frost, HM. Why do marathon runners have less bone than weight lifters? A vital-biomechanical view and explanation. *Bone* 20:183-189, 1997.
35. Fry, AC y Kraemer, WJ. Resistance exercise overtraining and overreaching: Neuroendocrine responses. *Sports Med* 23:106-129, 1997.
36. Fry, AC, Kraemer, WJ y Ramsey, LT. Pituitary-adrenal-gonadal responses to high-intensity resistance exercise overtraining. *J Appl Physiol* 85:2352-2359, 1998.
37. Gaesser, GA y Wilson, LA. Effects of continuous and interval training on the parameters of the power-endurance time relationship for high-intensity exercise. *Int J Sports Med* 9:417-421, 1988.
38. Galbo, H. Endocrinology and metabolism in exercise. *Curr Probl Clin Biochem* 11:26-44, 1982.
39. Galbo, H. *Hormonal and Metabolic Adaptation to Exercise*. New York: Thieme-Stratton, 1983.
40. Gibala, MJ y Mcgee, SL. Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: A little pain for a lot of gain? *Exerc Sport Sci Rev* 36:58-63, 2008.
41. Gollnick, PD. Relationship of strength and endurance with skeletal muscle structure and metabolic potential. *Int J Sports Med* 3(Suppl 1):26-32, 1982.
42. Gollnick, PD, Armstrong, RB, Saltin, B, Saubert, CWT, Sembrowich, WL y Shepherd, RE. Effect of training on enzyme activity and fiber composition of human skeletal muscle. *J Appl Physiol* 34:107-111, 1973.
43. Gollnick, PD, Armstrong, RB, Saubert, CWT, Piehl, K y Saltin, B. Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of untrained and trained men. *J Appl Physiol* 33:312-319, 1972.
44. Gonzalez-Alonso, J, Mortensen, SP, Jeppesen, TD, Ali, L, Barker, H, Damsgaard, R, Secher, NH, Dawson, EA y Dufour, SP. Haemodynamic responses to exercise, ATP infusion and thigh compression in humans: Insight into the role of muscle mechanisms on cardiovascular function. *J Physiol* 586:2405-2417, 2008.
45. Green, HJ, Jones, LL y Painter, DC. Effects of short-term training on cardiac function during prolonged exercise. *Med Sci Sports Exerc* 22:488-493, 1990.
46. Guyton, AC y Hall, JE. *Textbook of Medical Physiology*. 10.ª ed. Philadelphia: Saunders, 101-114, 2000.
47. Halson, SL y Jeukendrup, AE. Does overtraining exist? An analysis of overreaching and overtraining research. *Sports Med* 34:967-981, 2004.
48. Harber, M y Trappe, S. Single muscle fiber contractile properties of young competitive distance runners. *J Appl Physiol* 105:629-636, 2008.
49. Havenith, G y Holewijn, M. Environmental considerations: Altitude and air pollution. En: *ACSM's American College of Sports Medicine Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. Roitman, JL, ed. Baltimore: Williams and Wilkins, 215-222, 1998.
50. Hedelin, R, Kentta, G, Wiklund, U, Bjerle, P y Henriksson-Larsen, K. Short-term overtraining: Effects on performance, circulatory responses y heart rate variability. *Med Sci Sports Exerc* 32:1480-1484, 2000.
51. Hermansen, L y Wachtlova, M. Capillary density of skeletal muscle in well-trained and untrained men. *J Appl Physiol* 30:860-863, 1971.
52. Hickson, RC. Skeletal muscle cytochrome c and myoglobin, endurance y frequency of training. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 51:746-749, 1981.
53. Hickson, RC, Bomze, HA y Holloszy, JO. Linear increase in aerobic power induced by a strenuous program of endurance exercise. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 42:372-376, 1977.
54. Hickson, RC, Dvorak, BA, Gorostiaga, EM, Kurowski, TT y Foster, C. Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *J Appl Physiol* 65:2285-2290, 1988.

55. Hickson, RC, Hagberg, JM, Ehsani, AA y Holloszy, JO. Time course of the adaptive responses of aerobic power and heart rate to training. *Med Sci Sports Exerc* 13:17-20, 1981.
56. Holloszy, JO. Adaptation of skeletal muscle to endurance exercise. *Med Sci Sports* 7:155-164, 1975.
57. Holloszy, JO. Biochemical adaptations in muscle: Effects of exercise on mitochondrial oxygen uptake and respiratory enzyme activity in skeletal muscle. *J Biol Chem* 242:2278-2282, 1967.
58. Holloszy, JO. Regulation by exercise of skeletal muscle content of mitochondria and GLUT4. *J Physiol Pharmacol* 59(Suppl 7):5-18, 2008.
59. Holloszy, JO, Kohrt, WM y Hansen, PA. The regulation of carbohydrate and fat metabolism during and after exercise. *Front Biosci* 3:D1011-D1027, 1998.
60. Houston, ME, Bentzen, H y Larsen, H. Interrelationships between skeletal muscle adaptations and performance as studied by detraining and retraining. *Acta Physiol Scand* 105:163-170, 1979.
61. Howald, H. Training-induced morphological and functional changes in skeletal muscle. *Int J Sports Med* 3:1-12, 1982.
62. Jones, AM y Carter, H. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Med* 29:373-386, 2000.
63. Jones, M y Tunstall Pedoe, DS. Blood doping—a literature review. *Br J Sports Med* 23:84-88, 1989.
64. Joseph, V y Pequignot, JM. Breathing at high altitude. *Cell Mol Life Sci* 66:3565-3573, 2009.
65. Kim, V y Criner, GJ. Chronic bronchitis and chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 187:228-237, 2013.
66. Kiviranta, I, Tammi, M, Jurvelin, J, Arokoski, J, Saamanen, AM y Helminen, HJ. Articular cartilage thickness and glycosaminoglycan distribution in the canine knee joint after strenuous running exercise. *Clin Orthop Relat Res*:302-308, 1992.
67. Kiviranta, I, Tammi, M, Jurvelin, J, Saamanen, AM y Helminen, HJ. Moderate running exercise augments glycosaminoglycans and thickness of articular cartilage in the knee joint of young beagle dogs. *J Orthop Res* 6:188-195, 1988.
68. Konopka, AR y Harber, MP. Skeletal muscle hypertrophy after aerobic exercise training. *Exerc Sport Sci Rev* 42:53-61, 2014.
69. Kraemer, WJ y Baechle, TR. Development of a strength training program. En: *Sports Medicine*. Allman, FL y Ryan, AJ, eds. Orlando, FL: Academic Press, 113-127, 1989.
70. Kraemer, WJ y Fleck, SJ. Aerobic metabolism, training, and evaluation. *NSCA J* 5:52-54, 1982.
71. Kraemer, WJ, Fry, AC, Warren, BJ, Stone, MH, Fleck, SJ, Kearney, JT, Conroy, BP, Maresh, CM, Weseman, CA, Triplett, NT, et al. Acute hormonal responses in elite junior weightlifters. *Int J Sports Med* 13:103-109, 1992.
72. Kraemer, WJ, Marchitelli, L, Gordon, SE, Harman, E, Dziados, JE, Mello, R, Frykman, P, McCurry, D y Fleck, SJ. Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J Appl Physiol* 69:1442-1450, 1990.
73. Kraemer, WJ y Nindl, BC. Factors involved with overtraining for strength and power. En: *Overtraining in Sport*. Kreider, RB, Fry, AC y O'Toole, ML, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 69-86, 1998.
74. Kraemer, WJ, Patton, JF, Knuttgen, HG, Marchitelli, LJ, Cruthirds, C, Damokosh, A, Harman, E, Frykman, P y Dziados, JE. Hypothalamic-pituitary-adrenal responses to short-duration high-intensity cycle exercise. *J Appl Physiol* 66:161-166, 1989.
75. Kraemer, WJ y Ratamess, NA. Endocrine responses and adaptations to strength training. En: *The Encyclopedia of Sports Medicine: Strength and Power in Sport*. Komi, PV, ed. Malden, MA: Blackwell Scientific, 361-386, 1992.
76. Kraemer, WJ, Volek, JS y Fleck, SJ. Chronic musculoskeletal adaptations to resistance training. En: *ACSM's Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. Roitman, JL, ed. Baltimore: Williams and Wilkins, 174-181, 1998.

77. Kuipers, H y Keizer, HA. Overtraining in elite athletes: Review and directions for the future. *Sports Med* 6:79-92, 1988.
78. Kyle, UG, Genton, L, Hans, D, Karsegard, L, Slosman, DO y Pichard, C. Age-related differences in fat-free mass, skeletal muscle, body cell mass and fat mass between 18 and 94 years. *Eur J Clin Nutr* 55:663-672, 2001.
79. Landi, F, Marzetti, E, Martone, AM, Bernabei, R y Onder, G. Exercise as a remedy for sarcopenia. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 17:25-31, 2014.
80. Laursen, PB. Training for intense exercise performance: High-intensity or high-volume training? *Scand J Med Sci Sports* 20(Suppl 2):1-10, 2010.
81. Lehmann, MJ, Lormes, W, Opitz-Gress, A, Steinacker, JM, Netzer, N, Foster, C y Gastmann, U. Training and overtraining: An overview and experimental results in endurance sports. *J Sports Med Phys Fitness* 37:7-17, 1997.
82. Lemon, PW y Nagle, FJ. Effects of exercise on protein and amino acid metabolism. *Med Sci Sports Exerc* 13:141-149, 1981.
83. Lester, M, Sheffield, LT, Trammell, P y Reeves, TJ. The effect of age and athletic training on the maximal heart rate during muscular exercise. *Am Heart J* 76:370-376, 1968.
84. Lewis, DA, Kamon, E y Hodgson, JL. Physiological differences between genders: Implications for sports conditioning. *Sports Med* 3:357-369, 1986.
85. Louie, D. The effects of cigarette smoking on cardiopulmonary function and exercise tolerance in teenagers. *Can Respir J* 8:289-291, 2001.
86. Lovasi, GS, Diez Roux, AV, Hoffman, EA, Kawut, SM, Jacobs, DR, Jr. y Barr, RG. Association of environmental tobacco smoke exposure in childhood with early emphysema in adulthood among nonsmokers: The MESA-lung study. *Am J Epidemiol* 171:54-62, 2010.
87. Luger, A, Deuster, PA, Kyle, SB, Gallucci, WT, Montgomery, LC, Gold, PW, Loriaux, DL y Chrousos, GP. Acute hypothalamic-pituitary-adrenal responses to the stress of treadmill exercise: Physiologic adaptations to physical training. *N Engl J Med* 316:1309-1315, 1987.
88. Lundback, B, Lindberg, A, Lindstrom, M, Ronmark, E, Jonsson, AC, Jonsson, E, Larsson, LG, Andersson, S, Sandstrom, T y Larsson, K. Not 15 but 50% of smokers develop COPD? Report from the Obstructive Lung Disease in Northern Sweden Studies. *Respir Med* 97:115-122, 2003.
89. Madsen, K, Pedersen, PK, Djurhuus, MS y Klitgaard, NA. Effects of detraining on endurance capacity and metabolic changes during prolonged exhaustive exercise. *J Appl Physiol* 75:1444-1451, 1993.
90. Martin, WH, Coyle, EF, Bloomfield, SA y Ehsani, AA. Effects of physical deconditioning after intense endurance training on left ventricular dimensions and stroke volume. *J Am Coll Cardiol* 7:982-989, 1986.
91. McArdle, WD, Katch, FI y Katch, VI. *Exercise Physiology*. Philadelphia: Lea and Febiger, 2014.
92. Meeusen, R, Duclos, M, Foster, C, Fry, A, Gleeson, M, Nieman, D, Raglin, J, Rietjens, G, Steinacker, J y Urhausen, A. Prevention, diagnosis y treatment of the overtraining syndrome: Joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Med Sci Sports Exerc* 45:186-205, 2013.
93. Moreno, AH, Burchell, AR, Van Der Woude, R y Burke, JH. Respiratory regulation of splanchnic and systemic venous return. *Am J Physiol* 213:455-465, 1967.
94. Morgan, T, Cobb, L, Short, F, Ross, R y Gunn, D. Effects of longterm exercise on human muscle mitochondria. En: *Muscle Metabolism During Exercise*. Pernow, B y Saltin, B, eds. New York: Plenum Press, 87-95, 1971.
95. Mujika, I y Padilla, S. Detraining: Loss of training-induced physiological and performance adaptations: Part I. Short term insufficient training stimulus. *Sports Med*. 30:79-87, 2000.
96. Mujika, I. y Padilla, S. Detraining: Loss of training-induced physiological and performance adaptations: Part II. Long-term insufficient training stimulus. *Sports Med*. 30:145-154, 2000.
97. Muza, SR, Sawka, MN, Young, AJ, Dennis, RC, Gonzalez, RR, Martin, JW, Pandolf, KB y

Valeri, CR. Elite special forces: Physiological description and ergogenic influence of blood reinfusion. *Aviat Space Environ Med* 58:1001-1004, 1987.
98. Oettmeier, R, Arokoski, J, Roth, AJ, Helminen, HJ, Tammi, M y Abendroth, K. Quantitative study of articular cartilage and subchondral bone remodeling in the knee joint of dogs after strenuous running training. *J Bone Miner Res* 7(Suppl 2):S419-S424, 1992.
99. Ogawa, T, Spina, RJ, Martin, WH, Kohrt, WM, Schechtman, KB, Holloszy, JO y Ehsani, AA. Effects of aging, sex y physical training on cardiovascular responses to exercise. *Circulation* 86:494-503, 1992.
100. Oliveira, CD, Bairros, AV y Yonamine, M. Blood doping: Risks to athletes' health and strategies for detection. *Subst Use Misuse* 49:1168-1181, 2014.
101. Papathanasiou, G, Georgakopoulos, D, Georgoudis, G, Spyropoulos, P, Perrea, D y Evangelou, A. Effects of chronic smoking on exercise tolerance and on heart rate-systolic blood pressure product in young healthy adults. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 14:646-652, 2007.
102. Pette, D y Staron, RS. Transitions of muscle fiber phenotypic profiles. *Histochem Cell Biol* 115:359-372, 2001.
103. Ploutz-Snyder, LL, Simoneau, JA, Gilders, RM, Staron, RS y Hagerman, FC. Cardiorespiratory and metabolic adaptations to hyperoxic training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 73:38-48, 1996.
104. Pollock, ML. Submaximal and maximal working capacity of elite distance runners: Part I. Cardiorespiratory aspects. *Ann N Y Acad Sci* 301:310-322, 1977.
105. Raglin, J y Wilson, G. Overtraining and staleness in athletes. En: *Emotions in Sports*. Hanin, YL, ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 191-207, 2000.
106. Rankinen, T, Sung, YJ, Sarzynski, MA, Rice, TK, Rao, DC y Bouchard, C. Heritability of submaximal exercise heart rate response to exercise training is accounted for by nine SNPs. *J Appl Physiol* 112:892-897, 2012.
107. Robertson, RJ, Gilcher, R, Metz, KF, Skrinar, GS, Allison, TG, Bahnson, HT, Abbott, RA, Becker, R y Falkel, JE. Effect of induced erythrocythemia on hypoxia tolerance during physical exercise. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 53:490-495, 1982.
108. Sale, DG. Influence of exercise and training on motor unit activation. *Exerc Sport Sci Rev* 15:95-151, 1987.
109. Saltin, B, Blomqvist, G, Mitchell, JH, Johnson, RL, Jr., Wildenthal, K y Chapman, CB. Response to exercise after bed rest and after training. *Circulation* 38:1-78, 1968.
110. Saltin, B, Nazar, K, Costill, D.L, Stein, E, Jansson, E, Essen, B y Gollnick, D. The nature of the training response: Peripheral and central adaptations of one-legged exercise. *Acta Physiol Scand* 96:289-305, 1976.
111. Sawka, MN, Dennis, RC, Gonzalez, RR, Young, AJ, Muza, SR, Martin, JW, Wenger, CB, Francesconi, RP, Pandolf, KB y Valeri, CR. Influence of polycythemia on blood volume and thermoregulation during exercise-heat stress. *J Appl Physiol* 62:912-918, 1987.
112. Sawka, MN, Gonzalez, RR, Young, AJ, Muza, SR, Pandolf, KB, Latzka, WA, Dennis, RC y Valeri, CR. Polycythemia and hydration: Effects on thermoregulation and blood volume during exercise-heat stress. *Am J Physiol* 255:R456-R463, 1988.
113. Sawka, MN, Joyner, MJ, Miles, DS, Robertson, RJ, Spriet, LL y Young, AJ. American College of Sports Medicine position stand: The use of blood doping as an ergogenic aid. *Med Sci Sports Exerc* 28:i-viii, 1996.
114. Seene, T, Alev, K, Kaasik, P, Pehme, A y Parring, AM. Endurance training: Volume-dependent adaptational changes in myosin. *Int J Sports Med* 26:815-821, 2005.
115. Silverman, HG y Mazzeo, RS. Hormonal responses to maximal and submaximal exercise in trained and untrained men of various ages. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 51:B30-B37, 1996.
116. Skoluda, N, Dettenborn, L, Stalder, T y Kirschbaum, C. Elevated hair cortisol concentrations in endurance athletes. *Psychoneuroendocrinology* 37:611-617, 2012.

117. Sperlich, B, Zinner, C, Krueger, M, Wegrzyk, J, Achtzehn, S y Holmberg, HC. Effects of hyperoxia during recovery from 5X30-s bouts of maximal-intensity exercise. *J Sports Sci* 30:851-858, 2012.
118. Sperlich, B, Zinner, C, Krueger, M, Wegrzyk, J, Mester, J y Holmberg, HC. Ergogenic effect of hyperoxic recovery in elite swimmers performing high-intensity intervals. *Scand J Med Sci Sports* 21:e421-e429, 2011.
119. Staff, PH. The effects of physical activity on joints, cartilage, tendons and ligaments. *Scand J Soc Med Suppl* 29:59-63, 1982.
120. Staton, GW. Chronic obstructive diseases of the lung. En: *ACP Medicine*. Dale, DC y Federman, DD, eds. New York: WebMD Professional, 2720-2743, 2007.
121. Stone, MH, Keith, RE, Kearney, JT, Fleck, SJ, Wilson, GD y Triplett, NT. Overtraining: A review of the signs, symptoms and possible causes. *Journal of Strength and Conditioning Research* 5:35-50, 1991.
122. Tamaki, H, Kitada, K, Akamine, T, Murata, F, Sakou, T y Kurata, H. Alternate activity in the synergistic muscles during prolonged low-level contractions. *J Appl Physiol* 84:1943-1951, 1998.
123. Tanaka, H, Monahan, KD y Seals, DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol* 37:153-156, 2001.
124. Tipton, KD y Wolfe, RR. Exercise-induced changes in protein metabolism. *Acta Physiol Scand* 162:377-387, 1998.
125. Tomlin, DL y Wenger, HA. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Med* 31:1-11, 2001.
126. Trappe, S, Harber, M, Creer, A, Gallagher, P, Slivka, D, Minchev, K y Whitsett, D. Single muscle fiber adaptations with marathon training. *J Appl Physiol* 101:721-727, 2006.
127. Triplett-McBride, NT, Mastro, AM, McBride, JM, Bush, JA, Putukian, M, Sebastianelli, WJ y Kraemer, WJ. Plasma proenkephalin peptide F and human B cell responses to exercise stress in fit and unfit women. *Peptides* 19:731-738, 1998.
128. Tuna, Z, Guzel, NA, Aral, AL, Elbeg, S, Ozer, C, Erikoglu, G, Atak, A y Pinar, L. Effects of an acute exercise up to anaerobic threshold on serum anabolic and catabolic factors in trained and sedentary young males. *Gazi Med J* 25:47-51, 2014.
129. Urhausen, A, Gabriel, H y Kindermann, W. Blood hormones as markers of training stress and overtraining. *Sports Med* 20:251-276, 1995.
130. Urhausen, A y Kindermann, W. Diagnosis of overtraining: What tools do we have? *Sports Med* 32:95-102, 2002.
131. Vogel, JA, Patton, JF, Mello, RP y Daniels, WL. An analysis of aerobic capacity in a large United States population. *J Appl Physiol* 60:494-500, 1986.
132. Vollaard, NB, Constantin-Teodosiu, D, Fredriksson, K, Rooyackers, O, Jansson, E, Greenhaff, PL, Timmons, JA y Sundberg, CJ. Systematic analysis of adaptations in aerobic capacity and submaximal energy metabolism provides a unique insight into determinants of human aerobic performance. *J Appl Physiol* 106:1479-1486, 2009.
133. Wilkinson, SB, Phillips, SM, Atherton, PJ, Patel, R, Yarasheski, KE, Tarnopolsky, MA y Rennie, MJ. Differential effects of resistance and endurance exercise in the fed state on signalling molecule phosphorylation and protein synthesis in human muscle. *J Physiol* 586:3701-3717, 2008.
134. Wilson, JM, Loenneke, JP, Jo, E, Wilson, GJ, Zourdos, MC y Kim, JS. The effects of endurance, strength, and power training on muscle fiber type shifting. *J Strength Cond Res* 26:1724-1729, 2012.
135. Wilt, F. Training for competitive running. En: *Exercise Physiology*. Fall, HB, ed. New York: Academic Press, 395-414, 1968.
136. Wyatt, FB, Donaldson, A y Brown, E. The overtraining syndrome: A meta-analytic review. *J Exerc Physiol Online* 16:12-23, 2013.

137. Zhou, B, Conlee, RK, Jensen, R, Fellingham, GW, George, JD y Fisher, AG. Stroke volume does not plateau during graded exercise in elite male distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 33:1849-1854, 2001.
138. Zouhal, H, Jacob, C, Delamarche, P y Gratas-Delamarche, A. Catecholamines and the effects of exercise, training and gender. *Sports Med* 38:401-423, 2008.

CAPÍTULO 7 Diferencias por edad y sexo, y sus implicaciones para el ejercicio resistido

1. Alentorn-Geli, E, Myer, GD, Silvers, HJ, Samitier, G, Romero, D, Lazaro-Haro, C y Cugat, R. Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 2: A review of prevention programs aimed to modify risk factors and to reduce injury rates. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 17:859-879, 2009.
2. American Academy of Pediatrics. Intensive training and sports specialization in young athletes. *Pediatrics* 106:154-157, 2000.
3. American Academy of Pediatrics. Strength training by children and adolescents. *Pediatrics* 121:835-840, 2008.
4. American College of Sports Medicine. *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. 9.ª ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 184, 2014.
5. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc* 41:1510-1530, 2009.
6. American College of Sports Medicine position stand. The female athlete triad. *Med Sci Sports Exerc* 39:1867-1882, 2007.
7. American Orthopaedic Society for Sports Medicine. *Proceedings of the Conference on Strength Training and the Prepubescent*. Chicago: American Orthopaedic Society for Sports Medicine, 1-14, 1988.
8. Annesi, J, Westcott, W, Faigenbaum, AD y Unruh, JL. Effects of a 12 week physical activity program delivered by YMCA after-school counselors (Youth Fit for Life) on fitness and self-efficacy changes in 5-12 year old boys and girls. *Res Q Exerc Sport* 76:468-476, 2005.
9. Arendt, E y Dick, R. Knee injury patterns among men and women in collegiate basketball and soccer: NCAA data and review of literature. *Am J Sports Med* 23:694-701, 1995.
10. Bailey, D y Martin, A. Physical activity and skeletal health in adolescents. *Pediatr Exerc Sci* 6:330-347, 1994.
11. Bassey, E, Fiatarone, M, O'Neill, E, Kelly, M, Evans, W y Lipsitz, L. Leg extensor power and functional performance in very old men and women. *Clin Sci* 82:321-327, 1992.
12. Behm, DG, Faigenbaum, AD, Falk, B y Klentrou, P. Canadian Society for Exercise Physiology position paper: Resistance training in children and adolescents. *Appl Physiol Nutr Metab* 33:547-561, 2008.
13. Behringer, M, vom Heede, A, Matthews, M y Mester, J. Effects of strength training on motor performance skills in children and adolescents: A meta-analysis. *Pediatr Exerc Sci* 23:186-206, 2011.
14. Behringer, M, vom Heede, A, Yue, Z y Mester, J. Effects of resistance training in children and adolescents: A meta-anlaysis. *Pediatrics* 126:e1199-e1210, 2010.
15. Benson, AC, Torode, ME y Fiatarone Singh, MA. The effect of high intensity progressive resistance training on adiposity in children: A randomized controlled trial. *Int J Obes* 32:1016-1027, 2008.
16. Binzoni, T, Bianchi, S, Hanquinet, S, Kaelin, A, Sayegh, Y, Dumont, M y Jequier, S. Human gastrocnemius medialis pennation angle as a function of age: From newborn to the elderly. *J Physiol Anthropol* 20:293-298, 2001.

17. Bishop, P, Cureton, K y Collins, M. Sex difference in muscular strength in equally-trained men and women. *Ergonomics* 30:675-687, 1987.
18. Blanksby, B y Gregor, J. Anthropometric, strength, and physiological changes in male and female swimmers with progressive resistance training. *Aust J Sport Sci* 1:3-6, 1981.
19. Blimkie, C. Benefits and risks of resistance training in youth. En: *Intensive Participation in Children's Sports*. Cahill, B y Pearl, A, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 133-167, 1993.
20. Boden, BP, Dean, GS, Feagin, JA y Garrett, WE. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics* 23:573-578, 2000.
21. Brenner, JS. Overuse injuries, overtraining y burnout in child and adolescent athletes. *Pediatrics* 119:1242-1245, 2007.
22. British Association of Exercise and Sport Sciences. BASES position statement on guidelines for resistance exercise in young people. *J Sports Sci* 22:383-390, 2004.
23. Buenen, G y Malina, R. Growth and physical performance relative to the timing of the adolescent growth spurt. En: *Exercise and Sport Science Reviews*. Pandolf, K, ed. New York: Macmillan, 503-540, 1988.
24. Bulgakova, N, Vorontsov, A y Fomichenko, T. Improving the technical preparedness of young swimmers by using strength training. *Soviet Sports Rev* 25:102-104, 1990.
25. Byrd, R, Pierce, K, Rielly, L y Brady, J. Young weightlifters' performance across time. *Sports Biomech* 2:133-140, 2003.
26. Campbell, AJ, Borrie, MJ, Spears, GF, Jackson, SL, Brown, JS y Fitzgerald, JL. Circumstances and consequences of falls experienced by a community population 70 years and over during a prospective study. *Age Ageing* 19:136-141, 1990.
27. Campbell, W, Crim, M, Young, V y Evans, W. Increased energy requirements and changes in body composition with resistance training in older adults. *Am J Clin Nutr* 60:167-175, 1994.
28. Campbell, W, Crim, M, Young, V, Joseph, J y Evans, W. Effects of resistance training and dietary protein intake on protein metabolism in older adults. *Am J Appl Physiol* 268:E1143-E1153, 1995.
29. Castro, M, McCann, D, Shaffrath, J y Adams, W. Peak torque per unit cross-sectional area differs between strength-training and untrained adults. *Med Sci Sports Exerc* 27:397-403, 1995.
30. Castro-Pinero, J, Ortega, FB, Artero, EG, Girela-Rejon, MJ, Sjostrom, M y Ruiz, JR. Assessing muscular strength in youth: Usefulness of standing long jump as a general index of muscular fitness. *J Strength Cond Res* 24:1810-1817, 2010.
31. Centers for Disease Control and Prevention. Strength training among adults >65 years United States, 2001. *MMWR* 53:1-4, 2004.
32. Charette, S, McEvoy, L, Pyka, G, Snow-Harter, C, Guido, D, Wiswell, R y Marcus, R. Muscle hypertrophy response to resistance training in older women. *J Appl Physiol* 70:1912-1916, 1991.
33. Chilibeck, P, Calder, A, Sale, D y Webber, C. A comparison of strength and muscle mass increases during resistance training in young women. *Eur J Appl Physiol* 77:170-175, 1998.
34. Christmas, C y Andersen, R. Exercise and older patients. Guidelines for the clinician. *J Am Geriatr Soc* 48:318-324, 2000.
35. Chu, D, Faigenbaum, A y Falkel, J. *Progressive Plyometrics for Kids*. Monterey, CA: Healthy Learning, 15-19, 2006.
36. Cohen, DD, Voss, C, Taylor, MJD, Delextrat, A, Ogunleye, AA y Sandercock, G. Ten-year secular changes in muscular fitness in English children. *Acta Paediatr* 100:e175-e177, 2011.
37. Colliander, E y Tesch, P. Bilateral eccentric and concentric torque of quadriceps and hamstrings in females and males. *Eur J Appl Physiol* 59:227-232, 1989.
38. Colliander, E y Tesch, P. Responses to eccentric and concentric resistance training in females and males. *Acta Physiol Scand* 141:149-156, 1990.
39. Comstock, RD, Collins, CL, Corlette, JD, Fletcher, EN y Center for Injury Research and Policy of the Research Institute at Nationwide Children's Hospital. National high-school sports-related

injury surveillance study, 2011-2012 school year. www.nationwidechildrens.org/cirp-rio-study-reports. Accessed June 10, 2014.
40. Conroy, B, Kraemer, W, Maresh, C, Fleck, S, Stone, M, Fry, A, Miller, P y Dalsky, G. Bone mineral density in elite junior Olympic weightlifters. *Med Sci Sports Exerc* 25:1103-1109, 1993.
41. Cooper, R, Kuh, D y Hardy, R. Objectively measured physical capability levels and mortality: Systematic review and meta-analysis. *Br Med J* 341:c4467, 2010.
42. Cumming, D, Wall, S, Galbraith, M y Belcastro, A. Reproductive hormone responses to resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 19:234-238, 1987.
43. Cureton, K, Collins, M, Hill, D y McElhannon, F. Muscle hypertrophy in men and women. *Med Sci Sports Exerc* 20:338-344, 1988.
44. Dalsky, G, Stocke, K, Ehasani, A, Slatopolsky, E, Lee, W y Birge, S. Weight-bearing exercise training and lumbar bone mineral content in post menopausal women. *Ann Intern Med* 108:824-828, 1988.
45. Davies, B, Greenwood, E y Jones, S. Gender differences in the relationship of performance in the handgrip and standing long jump tests to lean limb volume in young athletes. *Eur J Appl Physiol* 58:315-320, 1988.
46. De Loes, M, Dahlstedt, L y Thomee, R. A 7-year study on risks and costs of knee injuries in male and female youth participants in 12 sports. *Scand J Med Sci Sports* 10:90-97, 2000.
47. De Souza, MJ, Nattiv, A, Joy, E, Misra, M, Williams, NI, Mallinson, RJ, Gibbs, JC, Olmstead, M, Goolsby, M y Matheson, G. Female athlete triad coalition consensus statement on treatment and return to play of the female athlete triad. *Clin J Sports Med* 24:96-119, 2014.
48. De Vos, N, Singh, N, Ross, D, Stavrinos, T, Orr, R y Singh, M. Optimal load for increasing muscle power during explosive resistance training in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 60:638-647, 2005.
49. DiFiori, JP, Benjamin, HJ, Brenner, J, Gregory, A, Jayanthi, N, Landry, G y Luke, A. Overuse injuries and burnout in youth sports: A position statement from the American Medical Society for Sports Medicine. *Clin J Sports Med* 24:3-20, 2014.
50. Docherty, D, Wenger, H, Collis, M y Quinney, H. The effects of variable speed resistance training on strength development in prepubertal boys. *J Hum Mov Stud* 13:377-382, 1987.
51. Drinkwater, B. Weight-bearing exercise and bone mass. *Phys Med Rehabil Clin* 6:567-578, 1995.
52. Emery, C. Injury prevention and future research. *Med Sci Sports Exerc* 48:179-200, 2005.
53. Evans, W. Exercise training guidelines for the elderly. *Med Sci Sports Exerc* 31:12-17, 1999.
54. Faigenbaum, A. Strength training for children and adolescents. *Clin Sports Med* 19:593-619, 2000.
55. Faigenbaum, AD, Farrell, A, Fabiano, M, Radler, T, Naclerio, F, Ratamess, NA, Kang, J y Myer, GD. Effects of integrative neuromuscular training on fitness performance in children. *Pediatr Exerc Sci* 23:573-584, 2011.
56. Faigenbaum, AD, Farrell, A, Fabiano, M, Radler, T, Naclerio, F, Ratamess, NA, Kang, J y Myer, GD. Effects of detraining on fitness performance in 7-year-old children. *J Strength Cond Res* 27:323-330, 2013.
57. Faigenbaum, AD, Kraemer, WJ, Blimkie, CJ, Jeffreys, I, Micheli, LJ, Nitka, M y Rowland, TW. Youth resistance training: Updated position statement paper from the National Strength and Conditioning Association. *J Strength Cond Res* 23:S60-S79, 2009.
58. Faigenbaum, AD, Lloyd, RS y Myer, GD. Youth resistance training: Past practices, new perspectives and future directions. *Pediatr Exerc Sci* 25:591-604, 2013.
59. Faigenbaum, AD, Lloyd, RS, Sheehan, D y Myer, GD. The role of the pediatric exercise specialist in treating exercise deficit disorder in youth. *Strength Cond J* 35:34-41, 2013.
60. Faigenbaum, AD y McFarland, JE. Criterion repetition maximum testing. *Strength Cond J* 36:88-91, 2014.
61. Faigenbaum, AD, McFarland, JE, Herman, RE, Naclerio, F, Ratamess, NA, Kang, J y Myer, GD.

Reliability of the one-repetition-maximum power clean test in adolescent athletes. *J Strength Cond Res* 26:432-437, 2012.
62. Faigenbaum, A y Mediate, P. The effects of medicine ball training on fitness performance of high school physical education students. *Physical Educator* 63:160-167, 2006.
63. Faigenbaum, A, Milliken, L, LaRosa-Loud, R, Burak, B, Doherty, C y Westcott, W. Comparison of 1 and 2 days per week of strength training in children. *Res Q Exerc Sport* 73:416-424, 2002.
64. Faigenbaum, A, Milliken, L, Moulton, L y Westcott, W. Early muscular fitness adaptations in children in response to two different resistance training regimens. *Pediatr Exerc Sci* 17:237-248, 2005.
65. Faigenbaum, A, Milliken, L y Westcott, W. Maximal strength testing in healthy children. *J Strength Cond Res* 17:162-166, 2003.
66. Faigenbaum, AD y Myer, GD. Resistance training among young athletes: Safety, efficacy and injury prevention effects. *Br J Sports Med* 44:56-63, 2010.
67. Faigenbaum, A y Polakowski, C. Olympic-style weightlifting, kid style. *Strength Cond J* 21:73-76, 1999.
68. Faigenbaum, A y Schram, J. Can resistance training reduce injuries in youth sports? *Strength Cond J* 26:16-21, 2004.
69. Faigenbaum, A, Westcott, W, Long, C, LaRosa-Loud, R, Delmonico, M y Micheli, L. Relationship between repetitions and selected percentages of the one repetition maximum in healthy children. *Pediatr Phys Ther* 10:110-113, 1998.
70. Faigenbaum, A, Westcott, W, Micheli, L, Outerbridge, A, Long, C, LaRosa-Loud, R y Zaichkowsky, L. The effects of strength training and detraining on children. *J Strength Cond Res* 10:109-114, 1996.
71. Faigenbaum, A, Zaichkowsky, L, Westcott, W, Micheli, L y Fehlandt, A. The effects of a twice per week strength training program on children. *Pediatr Exerc Sci* 5:339-346, 1993.
72. Falk, B y Eliakim, A. Resistance training, skeletal muscle and growth. *Pediatr Endocrinol Rev* 1:120-127, 2003.
73. Falk, B y Mor, G. The effects of resistance and martial arts training in 6 to 8 year old boys. *Pediatr Exerc Sci* 8:48-56, 1996.
74. Falk, B y Tenenbaum, G. The effectiveness of resistance training in children. A meta-analysis. *Sports Med* 22:176-186, 1996.
75. Fiatarone, M, Marks, E, Ryan, N, Meredith, C, Lipsitz, L y Evans, W. High-intensity strength training in nonagenarians: Effects on skeletal muscle. *JAMA* 263:3029-3034, 1990.
76. Fiatarone, M, O'Neill, E, Ryan, N, Clements, K, Solares, G, Nelson, M, Roberts, S, Kehayias, J, Lipsitz, L y Evans, W. Exercise training and nutritional supplementation for physical frailty in very elderly people. *New Engl J Med* 330:1769-1775, 1994.
77. Fielding, RA, LeBrasseur, NK, Cuoco, A, Bean, J, Mizer, K y Fiatarone Singh, MA. High-velocity resistance training increases skeletal muscle peak power in older women. *J Am Geriatr Soc* 50:655-662, 2002.
78. Ford, H y Puckett, J. Comparative effects of prescribed weight training and basketball programs on basketball test scores of ninth grade boys. *Percept Mot Skills* 56:23-26, 1983.
79. Fransen, J, Pion, J, Vandendriessche, J, Vandorpe, B, Vaeyens, R, Lenoir, M y Philippaerts, RM. Differences in physical fitness and gross motor coordination in boys aged 6-12 years specializing in one versus sampling more than one sport. *J Sports Sci* 30:379-386, 2012.
80. Frontera, W, Meredith, C, O'Reilly, K, Knuttgen, H y Evans, W. Strength conditioning of older men: Skeletal muscle hypertrophy and improved function. *J Appl Physiol* 42:1038-1044, 1988.
81. Fukunga, T, Funato, K y Ikegawa, S. The effects of resistance training on muscle area and strength in prepubescent age. *Ann Physiol Anthropol* 11:357-364, 1992.
82. Galvao, D y Taaffe, D. Resistance training for the older adult: Manipulating training variables to enhance muscle strength. *J Strength Cond Res* 27:48-54, 2005.

83. Garhammer, J. A comparison of maximal power outputs between elite male and female weightlifters in competition. *Int J Sports Biomech* 7:3-11, 1991.
84. Garhammer, J. A review of power output studies of Olympic and powerlifting: Methodology, performance prediction and evaluation tests. *J Strength Cond Res* 7:76-89, 1993.
85. Gonzalez-Badillo, JJ, Gorostiaga, EM, Arellano, R y Izquierdo, M. Moderate resistance training volume produces more favorable strength gains than high or low volumes during a short-term training cycle. *J Strength Cond Res* 19:689-697, 2005.
86. Gonzalez-Badillo, JJ, Izquierdo, M y Gorostiaga, EM. Moderate volume of high relative training intensity produces greater strength gains compared with low and high volume in competitive weightlifters. *J Strength Cond Res* 20:73-81, 2006.
87. Granacher, U, Goesele, A, Roggo, K, Wischer, T, Fischer, S, Zuerny, C, Gollhofer, A y Kriemler, S. Effects and mechanisms of strength training in children. *Int J Sports Med* 32:357-364, 2011.
88. Granacher, U, Muehlbauer, T, Zahner, L, Gollhofer, A y Kressig, RW. Comparison of traditional and recent approaches in the promotion of balance and strength in older adults. *Sports Med* 41:377-400, 2011.
89. Greulich, WW y Pyle, SI. *Radiographic Atlas of Skeletal Development of the Hand and Wrist*. 2.ª ed. Los Angeles: Stanford University Press, 1959.
90. Gumbs, V, Segal, D, Halligan, J y Lower, G. Bilateral distal radius and ulnar fractures in adolescent weight lifters. *Am J Sports Med* 10:375-379, 1982.
91. Gunter, K, Almstedt, H y Janz, K. Physical activity in childhood may be the key to optimizing lifespan skeletal health. *Exerc Sport Sci Rev* 40:13-21, 2012.
92. Hakkinen, K y Hakkinen, A. Muscle cross-sectional area, force production and relaxation characteristics in women at different ages. *Eur J Appl Physiol* 62:410-414, 1991.
93. Hakkinen, K, Pakarinen, A y Kallinen, M. Neuromuscular adaptations and serum hormones in women during short-term intensive strength training. *Eur J Appl Physiol* 64:106-111, 1992.
94. Hakkinen, K, Pakarinen, A, Kyrolainen, H, Cheng, S, Kim, D y Komi, P. Neuromuscular adaptations and serum hormones in females during prolonged power training. *Int J Sports Med* 11:91-98, 1990.
95. Hamill, B. Relative safety of weight lifting and weight training. *J Strength Cond Res* 8:53-57, 1994.
96. Hardy, LL, King, L, Farrell, L, Macniven, R y Howlett, S. Fundamental movement skills among Australian preschool children. *J Sci Med Sport* 13:503-508, 2010.
97. Harries, SK, Lubans, DR y Callister, R. Resistance training to improve power and sports performance in adolescent athletes: A systematic review and meta-analysis. *J Sci Med Sport* 15:532-540, 2012.
98. Henwood, T y Taaffe, D. Improved physical performance in older adults undertaking a short-term programme of high-velocity resistance training. *Gerontology* 51:108-115, 2005.
99. Hetherington, M. Effect of isometric training on the elbow flexion force torque of grade five boys. *Res Q* 47:41-47, 1976.
100. Hetzler, R, DeRenne, C, Buxton, B, Ho, KW, Chai, DX y Seichi, G. Effects of 12 weeks of strength training on anaerobic power in prepubescent male athletes. *J Strength Cond Res* 11:174-181, 1997.
101. Hewett, T. Neuromuscular and hormonal factors associated with knee injuries in female athletes: Strategies for intervention. *Sports Med* 29:313-327, 2000.
102. Hewett, TE y Myer, GD. The mechanistic connection between the trunk, hip, knee, and anterior cruciate ligament injury. *Exerc Sport Sci Rev* 39:161-166, 2011.
103. Hewett, T, Myer, G y Ford, K. Reducing knee and anterior cruciate ligament injuries among female athletes. *J Knee Surg* 18:82-88, 2005.
104. Hind, K y Burrows, M. Weight-bearing exercise and bone mineral accrual in children and adolescents: A review of controlled trials. *Bone* 40:14-27, 2007.

105. Holloway, J. A summary chart: Age related changes in women and men and their possible improvement with training. *J Strength Cond Res* 12:126-128, 1998.
106. Hurley, B y Hagberg, J. Optimizing health in older persons: Aerobic or strength training? In *Exercise and Sport Sciences Reviews*. Holloszy, J, ed. Philadelphia: Williams & Wilkins, 61-89, 1998.
107. Imamura, K, Ashida, H, Ishikawa, T y Fujii, M. Human major psoas muscle and sacrospinalis muscle in relation to age: A study by computed tomography. *J Gerontol* 38:678-681, 1983.
108. Ingle, L, Sleap, M y Tolfrey, K. The effect of a complex training and detraining programme on selected strength and power variables in early pubertal boys. *J Sports Sci* 24:987-997, 2006.
109. Iwamoto, J, Takeda, T y Ichimura, S. Effect of exercise training and detraining on bone mineral density in postmenopausal women with osteoporosis. J *Orthop Sci* 6:128-132, 2001.
110. Jette, A y Branch, L. The Framingham disability study: II. Physical disability among the aging. *Am J Public Health* 71:1211-1216, 1981.
111. Joseph, AM, Collins, CL, Henke, NM, Yard, EE, Fields, SK y Comstock, DA. A multisport epidemiological comparison of anterior cruciate ligament injuries in high school athletes. *J Athl Train* 48:810-817, 2013.
112. Kanis, J, Melton, L, Christiansen, C, Johnson, C y Khaltaev, N. The diagnosis of osteoporosis. *J Bone Miner Res* 9:1137-1141, 1994.
113. Karlsson, MK, Vonschewelov, T, Karlsson, C, Coster, M y Rosengen, BE. Prevention of falls in elderly: A review. *Scand J Public Health* 41:442-454, 2013.
114. Katzmarzyk, P, Malina, R y Beunen, G. The contribution of biologic maturation to the strength and motor fitness of children. *Ann Hum Biol* 24:493-505, 1997.
115. Kaufman, LB y Schilling, DL. Implementation of a strength training program for a 5-year-old child with poor body awareness and developmental coordination disorder. *Phys Ther* 87:455-467, 2007.
116. Kelley, GA, Kelley, KS y Tran, ZV. Resistance training and bone mineral density in women: A meta-analysis of controlled trials. *Am J Phys Med Rehabil* 80:65-77, 2001.
117. Kinugasa, T y Kilding, AE. A comparison of post-match recovery strategies in youth soccer players. *J Strength Cond Res* 23:1402-1407, 2009.
118. Komi, P y Karlsson, J. Skeletal muscle fibre types, enzyme activities and physical performance in young males and females. *Acta Physiol Scand* 103:210-218, 1978.
119. Kraemer, W. Endocrine responses to resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 20(Suppl):152-157, 1988.
120. Kraemer, W, Adams, K, Cafarelli, E, Dudley, G, Dooly, C, Feigenbaum, M, Fleck, S, Franklin, B, Newtown, R, Potteiger, J, Stone, M, Ratamess, N y Triplett-McBride, T. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 34:364-380, 2002.
121. Kraemer, W, Fry, A, Frykman, P, Conroy, B y Hoffman, J. Resistance training and youth. *Pediatr Exerc Sci* 1:336-350, 1989.
122. Kraemer, W, Mazzetti, S, Nindl, B, Gotshalk, L, Bush, J, Marx, J, Dohi, K, Gomez, A, Miles, M, Fleck, S, Newton, R y Hakkinen, K. Effect of resistance training on women's strength/power and occupational performances. *Med Sci Sports Exerc* 33:1011-1025, 2001.
123. Kravitz, L, Akalan, C, Nowicki, K y Kinzey, SJ. Prediction of 1 repetition maximum in high-school power lifters. *J Strength Cond Res* 17:167-172, 2003.
124. Lauback, L. Comparative muscle strength of men and women: A review ofthe literature. *Aviat Space Environ Med* 47:534-542, 1976.
125. Layne, J y Nelson, M. The effects of progressive resistance training on bone density: A review. *Med Sci Sports Exerc* 31:25-30, 1999.
126. Lexell, J y Downham, D. What is the effect of ageing on Type II muscle fibers? J *Neurol Sci* 107:250-251, 1992.
127. Lillegard, W, Brown, E, Wilson, D, Henderson, R y Lewis, E. Efficacy of strength training in

prepubescent to early postpubescent males and females: Effects of gender and maturity. *Pediatr Rehabil* 1:147-157, 1997.
128. Ling, CHY, Taekema, D, de Craen, AJM, Gussekloo, J, Westendorp, RGJ y Maier, AB. Handgrip strength and mortality in the oldest old population: The Leiden 85-plus study. *Can Med Assoc J* 182:429-435, 2010.
129. Lloyd, RS, Faigenbaum, AD, Stone, MH, Oliver, JL, Jeffreys, I, Moody, JA, Brewer, C, Pierce, K, McCambridge, TM, Howard, R, Herrington, L, Hainline, B, Micheli, LJ, Jaques, R, Kraemer, WJ, McBride, MG, Best, TM, Chu, DA, Alvar, BA y Myer, GD. Position statement on youth resistance training: The 2014 international consensus. *Br J Sports Med* 48:498-505, 2014.
130. Lloyd, RS y Oliver, JL. The Youth Physical Development model: A new approach to long-term athletic development. *Strength Cond J* 34:61-72, 2012.
131. Lloyd, RS, Oliver, JL, Faigenbaum, AD, Myer, GD y De Ste Croix, M. Chronological age versus biological maturation: Implications for exercise programming in youth. *J Strength Cond Res* 28:1454-1464, 2014.
132. Lopopolo, R, Greco, M, Sullivan, D, Craik, R y Mangione, K. Effect of therapeutic exercise on gait speed in community-dwelling elderly people: A meta analysis. *Phys Ther* 86:520-540, 2006.
133. Maddalozzo, GF y Snow, CM. High intensity resistance training: Effects of bone in older men and women. *Calcif Tissue Int* 66:399-404, 2000.
134. Magill, R y Anderson, D. Critical periods as optimal readiness for learning sports skills. En: *Children and Youth in Sport: A Biopsychosocial Perspective*. Smoll, F y Smith, R, eds. Madison, WI: Brown & Benchmark, 57-72, 1995.
135. Malina, R. Physical activity and training: Effects on stature and the adolescent growth spurt. *Med Sci Sports Exerc* 26:759-766, 1994.
136. Malina, R, Bouchard, C y Bar-Or, O. *Growth, Maturation, and Physical Activity*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2004.
137. Mayhew, J y Salm, P. Gender differences in anaerobic power tests. *Eur J Appl Physiol* 60:133-138, 1990.
138. McCartney, N. Acute responses to resistance training and safety. *Med Sci Sports Exerc* 31:31-37, 1999.
139. McKay, H, MacLean, L, Petit, M, MacKelvie-O'Brien, K, Janssen, P, Beck, T y Khan, K. «Bounce at the Bell»: A novel program of short bursts of exercise improves proximal femur bone mass in early pubertal children. *Br J Sports Med* 39:521-526, 2005.
140. Meltzer, D. Age dependence of Olympic weightlifting ability. *Med Sci Sports Exerc* 26:1053-1067, 1994.
141. Meredith, C, Frontera, W y Evans, W. Body composition in elderly men: Effect of dietary modification during strength training. *J Am Geriatr Soc* 40:155-162, 1992.
142. Metter, E, Conwit, R, Tobin, J y Fozard, J. Age-associated loss of power and strength in the upper extremities in women and men. *J Gerontol Biol Sci Med* 52:B267-B276, 1997.
143. Micheli, L. The child athlete. En: *ACSM's Guidelines for the Team Physician*. Cantu, R y Micheli, L, eds. Philadelphia: Lea & Febiger, 228-241, 1991.
144. Micheli, L y Natsis, KI. Preventing injuries in sports: What the team physician needs to know. En: *F.IM.S. Team Physician Manual*. 3.ª ed. Micheli, LJ, Pigozzi, F, Chan, KM, Frontera, WR, Bachl, N, Smith, AD y Alenabi, T, eds. London: Routledge, 505-520, 2013.
145. Micheli, L. Strength training in the young athlete. En: *Competitive Sports for Children and Youth*. Brown, E y Branta, C, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 99-105, 1988.
146. Micheli, L, Glassman, R y Klein, M. The prevention of sports injuries in children. *Clin Sports Med* 19:821-834, 2000.
147. Mihata, LC, Beutler, AI y Boden, BP. Comparing the incidence of anterior cruciate ligament injury in collegiate lacrosse, soccer, and basketball players: Implications for anterior cruciate ligament mechanism and prevention. *Am J Sports Med* 34:899-904, 2006.

148. Miller, A, MacDougall, J, Tarnopolsky, M y Sale, D. Gender differences in strength and muscle fiber characteristics. *Eur J Appl Physiol* 66:254-262, 1992.
149. Milliken, LA, Faigenbaum, AD y LaRousa-Loud, R. Correlates of upper and lower body muscular strength in children. *J Strength Cond Res* 22:1339-1346, 2008.
150. Moeller, J y Lamb, M. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes. *Phys Sportsmed* 25:31-48, 1997.
151. Moesch, K, Elbe, AM, Hauge, MLT y Wikman, JM. Late specialization: The key to success in centimeters, grams, or seconds (cgs) sports. *Scand J Med Sci Sports* 21:e282-e290, 2011.
152. Moliner-Urdiales, D, Ruiz, JR, Ortega, FB, Jimenez-Pavon, D, Vicente-Rodriguez, G, Rey-Lopez, JP, Martinez-Gomez, D, Casajus, JA, Mesana, MI, Marcos, A, Noriega-Borge, MJ, Sjostrom, M, Castillo, MJ y Moreno, LA. Secular trends in health-related physical fitness in Spanish adolescents: The AVENA and HELENA studies. *J Sci Med Sport* 13:584-588, 2010.
153. Morris, F, Naughton, G, Gibbs, J, Carlson, J y Wark, J. Prospective ten-month exercise intervention in premenarcheal girls: Positive effects on bone and lean mass. *J Bone Miner Res* 12:1453-1462, 1997.
154. Myer, GD, Ford, KR, Divine, JG, Wall, EJ, Kahanov, L y Hewett, TE. Longitudinal assessment of noncontact anterior cruciate ligament injury risk factors during maturation in a female athlete: A case report. *JAthl Train* 44:101-109, 2009.
155. Myer, GD, Ford, KR, Brent, JL y Hewett, TE. The effects of plyometric versus dynamic balance training on power, balance and landing force in female athletes. *J Strength CondRes* 20:345-353, 2006.
156. Myer, GD, Ford, KR, Palumbo, JP y Hewett, TE. Neuromuscular training improves performance and lower-extremity biomechanics in female athletes. *J Strength Cond Res* 19:51-60, 2005.
157. Myer, GD, Lloyd, RS, Brent, JL y Faigenbaum, AD. How young is «too young» to start training? *ACSM Health Fit J* 17:14-23, 2013.
158. Myer, GD, Quatman, CE, Khoury, J, Wall, EJ y Hewett, TE. Youth versus adult «weightlifting» injuries presenting to United States emergency rooms: Accidental versus nonaccidental injury mechanisms. *J Strength Cond Res* 23:2054-2060, 2009.
159. Myer, GD, Sugimoto, D, Thomas, S y Hewett, TE. The influence of age on the effectiveness of neuromuscular training to reduce anterior cruciate ligament injury in female athletes: A meta-analysis. *Am J Sports Med* 41:203-215, 2013.
160. National Collegiate Athletic Association. Injury rate for women's basketball increases sharply. *NCAA News* 31(May 11):9, 13, 1994.
161. National Strength and Conditioning Association. Strength training for female athletes. *NSCA J* 11:43-55, 29-36, 1989.
162. Naylor, LH, Watts, K, Sharpe, JA, Jones, TW, Davis, EA, Thompson, A, George, K, Ramsay, JM, O'Driscoll, G y Green, DJ. Resistance training and diastolic myocardial tissue velocities in obese children. *Med Sci Sports Exerc* 40:2027-2032, 2008.
163. Nelson, M, Fiatarone, M, Morganti, C, Trice, I, Greenberg, R y Evans, W. Effects of high intensity strength training on multiple risk factors for osteoporotic fractures. *JAMA* 272:1909-1914, 1994.
164. Nelson-Wong, E, Appell, R, McKay, M, Nawaz, H, Roth, J, Sigler, R y Walker, M. Increased fall risk is associated with elevated co-contraction about the ankle during static balance challenges in older adults. *Eur J Appl Physiol* 112:1379-1389, 2012.
165. Ng, M, Fleming, T, Robinson, M, Thomson, B, Graetz, N, Margano, C, et al. Global, regional and national prevalence of overweight and obesity in children and adults during 1980-2013: A systematic analysis for the Global Burden of Disease study 2013. *Lancet* 384:766-781, 2014.
166. Nichols, D, Sanborn, C y Love, A. Resistance training and bone mineral density in adolescent females. *J Pediatr* 139:494-500, 2001.
167. Nielsen, B, Nielsen, K, Behrendt-Hansen, M y Asmussen, E. Training of «functional muscular

strength» in girls 7-19 years old. En: *Children and Exercise IX*. Berg, K y Eriksson, B, eds. Baltimore: University Park Press, 69-77, 1980.
168. Ogden, CL, Carroll, MD, Kit, BK y Flegal, KM. Prevalence of childhood and adult obesity in the United States, 2011-2012. *JAMA* 311:806-814, 2014.
169. Ormsbee, MJ, Pdaro, CM, Ilich, JZ, Purcell, S, Siervo, M, Folsom, A y Panton, L. Osteosarcopenic obesity: The role of bone, muscle, and fat on health. *J Cachexia SarcopeniaMuscle* 5:183-192, 2014.
170. Orr, R, de Vos, N, Singh, N, Ross, D, Stavrinos, T y Fiatarone-Singh, M. Power training improves balance in healthy older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 61:78-85, 2006.
171. Otis, C, Drinkwater, B y Johnson, M. ACSM position stand: The female athlete triad. *Med Sci Sports Exerc* 29:i-ix, 1997.
172. Ozmun, J, Mikesky, A y Surburg, P. Neuromuscular adaptations following prepubescent strength training. *Med Sci Sports Exerc* 26:510-514, 1994.
173. Padua, DA, Carcia, CR, Arnold, BL y Granata, KP. Sex differences in leg stiffness and stiffness recruitment strategy during two-legged hopping. *J Mot Behav* 37:111-125, 2005.
174. Park, CH, Elavsky, S y Koo, KM. Factors influencing physical activity in older adults. *J Exerc Rehabil* 10:45-52, 2014.
175. Pfeiffer, R y Francis, R. Effects of strength training on muscle development in prepubescent, pubescent and postpubescent males. *Phys Sportsmed* 14:134-143, 1986.
176. Piirainen, JM, Cronin, NJ, Avela, J y Linnamo, V. Effects of plyometric and pneumatic explosive strength training on neuromuscular function and dynamic balance control in 60-70 year old males. *J Electromyogr Kinesiol* 24:246-252, 2014.
177. Pizzigalli, L, Filippini, A, Ahmaidi, S, Jullien, H y Rainoldi, A. Prevention of falling risk in elderly people: The relevance of muscular strength and symmetry of lower limbs in postural stability. *J Strength Cond Res* 25:567-574, 2011.
178. Pollock, ML, Franklin, BA, Balady, GJ, Chaitman, BL, Fleg, JL, Fletcher, B, Limacher, M, Pina, IL, Stein, RA, Williams, M y Bazzare, T. Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: Benefits, rationale, safety, and prescription. *Circulation* 101:828-833, 2000.
179. Porter, MM. Power training for older adults. *Appl Physiol Nutr Metab* 31:87-94, 2006.
180. Potdevin, FJ, Alberty, ME, Chevutschi, A, Pelayo, P y Sidney, MC. Effects of a 6-week plyometric training program on performances in pubescent swimmers. *J Strength Cond Res* 25:80-86, 2011.
181. Purves-Smith, FM, Sgarioto, N y Hepple, RT. Fiber typing in aging muscle. *Exerc Sport Sci Rev* 42:45-52, 2014.
182. Quatman, CE, Ford, KR, Myer, GD y Hewett, TE. Maturation leads to gender differences in landing force and vertical jump performance. *Am J Sports Med* 34:806-813, 2006.
183. Quatman-Yates, CC, Myer, GD, Ford, KR y Hewett, TE. A longitudinal evaluation of maturational effects on lower extremity strength in female adolescent athletes. *Pediatr Phys Ther* 25:271-276, 2013.
184. Ramsay, J, Blimkie, C, Smith, K, Garner, S y MacDougall, J. Strength training effects in prepubescent boys. *Med Sci Sports Exerc* 22:605-614, 1990.
185. Reid, KF, Callahan, DM, Carabello, RJ, Phillips, EM, Frontera, WR y Fielding, RA. Lower extremity power training in elderly subjects with mobility limitations: A randomized controlled trial. *Aging Clin Exp Res* 20:337-343, 2008.
186. Roche, AF, Chumlea, WC y Thissen, D. *Assessing the Skeletal Maturity of the Hand-Wrist: Fels Method*. Springfield, IL: Charles C Thomas, 1988.
187. Rowe, P. Cartilage fracture due to weight lifting. *Br J Sports Med* 13:130-131, 1979.
188. Rubenstein, LZ. Falls in older people: Epidemiology, risk factors and strategies for prevention. *Age Ageing* 35:ii37-ii41, 2006.

189. Runhaar, J, Collard, DCM, Kemper, HCG, van Mechelen, W y Chinapaw, M. Motor fitness in Dutch youth: Differences over a 26-year period (1980-2006). *J Sci Med Sport* 13:323-328, 2010.
190. Ryan, J y Salciccioli, G. Fractures of the distal radial epiphysis in adolescent weight lifters. *Am J Sports Med* 4:26-27, 1976.
191. Ryushi, T, Hakkinen, K, Kauhanen, H y Komi, P. Muscle fiber characteristics, muscle cross sectional area and force production in strength athletes, physically active males and females. *Scand J Sports Sci* 10:7-15, 1988.
192. Sadres, E, Eliakim, A, Constantini, N, Lidor, R y Falk, B. The effect of long term resistance training on anthropometric measures, muscle strength and self-concept in pre-pubertal boys. *Pediatr Exerc Sci* 13:357-372, 2001.
193. Shaibi, G, Cruz, M, Ball, G, Weigensberg, MJ, Salem, GJ, Crespo, NC y Goran, MI. Effects of resistance training on insulin sensitivity in overweight Latino adolescent males. *Med Sci Sports Exerc* 38:1208-1215, 2006.
194. Shambaugh, J, Klein, A y Herbert, J. Structural measures as predictors of injury in basketball players. *Med Sci Sports Exerc* 23:522-527, 1991.
195. Shaw, C, McCully, K y Posner, J. Injuries during the one repetition maximum assessment in the elderly. *J Cardiopulm Rehabil* 15:283-287, 1995.
196. Shephard, R. Exercise and training in women, part 1: Influence of gender on exercise and training response. *Can J Appl Physiol* 25:1934, 2000.
197. Sherrington, C, Whitney, JC, Lord, SR, Herbert, RD, Cumming, RG y Close, JCT. Effective exercise for the prevention of falls: A systematic review and meta-analysis. *J Am Geriatr Soc* 56:2234-2243, 2008.
198. Smith, JJ, Eather, N, Morgan, PJ, Plotnikoff, RC, Faigenbaum, AD y Lubans, DR. The health benefits of muscular fitness for children and adolescents: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 44:1209-1223, 2014.
199. Society of Health and Physical Educators. *National Standards & Grade-Level Outcomes for K-12 Physical Education*. Champaign, IL: Human Kinetics, 11-13, 2014.
200. Steib, S, Schoene, D y Pfeifer, K. Dose-response relationship of resistance training in older adults: A meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 42:902-914, 2010.
201. Stewart, CHE y Rittweger, J. Adaptive processes in skeletal muscle: Molecular and genetic influences. *J Musculoskelt Neuronal Interact* 6:73-86, 2006.
202. Straight, CR, Lofgren, IE y Delmonico, MJ. Resistance training in older adults: Are community-based interventions effective for improving health outcomes? *Am J Lifestyle Med* 6:407-414, 2012.
203. Strong, W, Malina, R, Blimkie, C, Daniels, S, Dishman, R, Gutin, B, Hergenroeder, A, Must, A, Nixon, P, Pivarnik, J, Rowland, T, Trost, S y Trudeau, F. Evidence based physical activity for school-age youth. J *Pediatr* 46:732-737, 2005.
204. Sugimoto, D, Myer, GD, Foss, KD y Hewett, TE. Dosage effects of neuromuscular training intervention to reduce anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Meta- and sub-group analyses. *Sports Med* 44:551-562, 2014. 205. Tanner, JM, Healy, MJR, Goldstein, H, y Cameron, N. *Assessment of Skeletal Maturity and Prediction of Adult Height (TW3 Method)*. 3.ª ed. London: Saunders, 2001.
206. Tanner, JM, Whitehouse, RH, Cameron, N, Marshall, WA, Healy, MJR y Goldstein, H. *Assessment of Skeletal Maturity and Prediction of Adult Height (TW2 Method)*. New York: Academic Press, 1975.
207. Tanner, JM, Whitehouse, RH y Healy, MJR. *A New System for Estimating Skeletal Maturity From the Hand and Wrist, with Standards Derived From a Study of 2,600 Healthy British* Children. Paris: International Children's Centre, 1962.
208. Telama, R, Yang, X, Viikari, J, Valimaki, I, Wanne, O y Raitakari, O. Physical activity from childhood to adulthood: A 21 year tracking study. *Am J Prev Med* 28:267-273, 2005.

209. Tiedemann, A, Sherrington, C, Close, JCT y Lord, SR. Exercise and Sports Science Australia position statement on exercise and falls prevention in older people. *J Sci Med Sport* 14:489-495, 2011.
210. Tremblay, MS, Gray, CE, Akinroye, K, Harrington, DM, Katzmarzyk, PT, Lambert, EV, Liukkonen, J, Maddison, R, Ocansey, RT, Onywera, VO, Prista, A, Reilly, JJ, Martinez, MDPR, Duenas, OLS, Standage, M y Tomkinson, G. Physical activity of children: A global matrix of grades comparing 15 countries. *J Phys Act Health* 11 (Suppl 1):s113-s125, 2014.
211. Tsolakis, C, Vagenas, G y Dessypris, A. Strength adaptations and hormonal responses to resistance training and detraining in preadolescent males. *J Strength Cond Res* 18:625-629, 2004.
212. Valovich-McLeod, TC, Decoster, LC, Loud, KJ, Micheli, LJ, Parker, T, Sandrey, MA y White, C. National Athletic Trainers' Association position statement: Prevention of pediatric overuse injuries. *J AM Train* 46:206-220, 2011.
213. Van der Sluis, A, Elferink-Gemser, MT, Coelho-e-Silva, MJ, Nijboer, JA, Brink, MS y Visscher, C. Sports injuries aligned to peak height velocity in talented pubertal soccer players. *Int J Sports Med* 35:351-355, 2014.
214. Vandervoot, A y McComas, A. Contractile changes in opposing muscle of the human ankle joint with aging. *J Appl Physiol* 61:361367, 1986.
215. Vicente-Rodriguez, G. How does exercise affect bone development during growth? *Sports Med* 36:561-569, 2006.
216. Virvidakis, K, Georgiu, E, Korkotsidis, A, Ntalles, K y Proukakis, C. Bone mineral content of junior competitive weightlifters. *Int J Sports Med* 11:244-246, 1990.
217. Wallerstein, LF, Tricoli, V, Barroso, R, Rodacki, ALF, Russo, L, Aihara, AY, Fernandes, ARC, de Mello, MT y Ugrinowitsch, C. Effects of strength and power training on neuromuscular variables in older adults. *J Aging Phys Act* 20:171-185, 2012.
218. Watts, K, Beye, P y Siafarikas, A. Exercise training normalizes vascular dysfunction and improves central adiposity in obese adolescents. *J Am Coll Cardiol* 43:1823-1827, 2004.
219. Watts, K, Jones, T, Davis, E y Green, D. Exercise training in obese children and adolescents. *Sports Med* 35:375-392, 2005.
220. Weltman, A, Janney, C, Rians, C, Strand, K, Berg, B, Tippet, S, Wise, J, Cahill, B y Katch, F. The effects of hydraulic resistance strength training in pre-pubertal males. *Med Sci Sports Exerc* 18:629-638, 1986.
221. West, R. The female athlete: The triad of disordered eating, amenorrhoea and osteoporosis. *Sports Med* 26:63-71, 1998.
222. Westcott, W y Baechle, T. *Strength Training for Seniors*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1-13, 1999.
223. Winter, DA. *Biomechanics andMotor Control ofHumanMovement*. 3ª. ed. New York: Wiley, 151-152, 2005.
224. Wojtys, E, Huston, L, Lindenfeld, T, Hewett, T y Greenfield, M. Association between the menstrual cycle and anterior cruciate injuries in female athletes. *Am J Sports Med* 26:614-619, 1998.
225. Yarasheski, K, Zachwieja, J y Bier, D. Acute effects of resistance exercise on muscle protein synthesis in young and elderly men and women. *Am J Appl Physiol* 265:210-214, 1993.

CAPÍTULO 8 Psicología de la preparación y el rendimiento atlético

1. Bandura, A. Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychol Rev* 84:191-215, 1977.
2. Burton, D, Naylor, S y Holliday, B. Goal setting in sport: Investigating the goal effectiveness

paradox. En: *Handbook of Sport Psychology*. Singer, R, Hausenblas, H y Janelle, C, eds. New York: Wiley, 497-528, 2001.
3. Cahill, L, McGaugh, JL y Weinberger, NM. The neurobiology of learning and memory: Some reminders to remember. *Trends Neurosci* 24:578-581, 2001.
4. Chiviacowsky, S y Wulf, G. Self-controlled feedback is effective if it is based on the learner's performance. *Res Q Exerc Sport* 76:42 48, 2005.
5. Chiviacowsky, S, Wulf, G y Lewthwaite, R. Self-controlled learning: The importance of protecting perceptions of competence. *Front Psychol* 3:458, 2012.
6. Chiviacowsky, S, Wulf, G, Lewthwaite, R y Campos, T. Motor learning benefits of self-controlled practice in persons with Parkinson's disease. *Gait Posture* 35:601-605, 2012.
7. Deci, EL. Intrinsic motivation: Theory and application. En: *Psychology of Motor Behavior and Sport*. Landers, DM y Christina, RW, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 388-396, 1978.
8. Feltz, DL y Landers, DM. The effects of mental practice on motor skill learning and performance: A meta-analysis. *J Sport Psychol* 5,1:25-57, 1983.
9. Fitts, PM y Posner, MI. *Human Performance*. Belmont, CA: Brooks/Cole, 1967.
10. Gill, D y Williams, L. *Psychological Dynamics of Sport and Exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2008.
11. Gould, D y Udry, E. Psychological skills for enhancing performance: Arousal regulation strategies. *Med Sci Sports Exerc* 26:478-485, 1994.
12. Hanin, YL. Interpersonal and intragroup anxiety in sports. En: *Anxiety in Sports: An International Perspective*. Hackfort, D y Spielberger, CD, eds. New York: Taylor & Francis, 19-28, 1989.
13. Hardy, L. Testing the predictions of the cusp catastrophe model of anxiety and performance. *Sport Psychol* 10:140-156, 1996.
14. Hatfield, BD y Walford, GA. Understanding anxiety: Implications for sport performance. *NSCA J* 9:60-61, 1987.
15. Jacobson, E. *Progressive Relaxation*. Chicago: University of Chicago Press, 1929.
16. Kantak, SS y Winstein, CJ. Learning-performance distinction and memory processes for motor skills: A focused review and perspective. *Behav Brain Res* 228:219-231, 2012.
17. Kerr, JH. *Motivation and Emotion in Sport: Reversal Theory*. East Sussex, UK: Psychology Press, 1999.
18. Landin, D y Hebert, EP A comparison of three practice schedules along the contextual interference continuum. *Res Q Exerc Sport* 68:357-361, 1997.
19. Landin, DK, Hebert, EP y Fairweather, M. The effects of variable practice on the performance of a basketball skill. *Res Q Exerc Sport* 64:232-237, 1993.
20. Lewthwaite, R y Wulf, G. Social-comparative feedback affects motor skill learning. *Q J Exp Psychol* 63:738-749, 2010.
21. Locke, EA y Latham, GP The application of goal setting to sports. *J Sport Psychol* 7:205-222, 1985.
22. Martens, R. *Social Psychology and Physical Activity*. New York: Harper & Row, 1975.
23. McClelland, DC, Atkinson, JW, Clark, RA y Lowell, EL. *The Achievement Motive*. New York: Appleton-Century-Crofts, 1953.
24. Naylor, JC y Briggs, GE. Effects of task complexity and task organization on the relative efficiency of part and whole training methods. *J Exp Psychol* 65:217-224, 1963.
25. Nideffer, RM. Test of attentional and interpersonal style. *J Pers Soc Psychol* 34:394-404, 1976.
26. Oxendine, JB. Emotional arousal and motor performance. *Quest* 13:23-32, 1970.
27. Plautz, EJ, Milliken, GW y Nudo, RJ. Effects of repetitive motor training on movement representations in adult squirrel monkeys: Role of use versus learning. *Neurobiol Learn Mem* 74:27-55, 2000.
28. Porges, S, McCabe, P y Yongue, B. Respiratory-heart rate interactions: Psychophysiological implications for pathophysiology and behavior. En: *Perspectives in Cardiovascular*

Psychophysiology. Caccioppo, JT y Petty, RE, eds. New York: Guilford, 223-264, 1982.
29. Sakadjian, A, Panchuk, D y Pearce, AJ. Kinematic and kinetic improvements associated with action observation facilitated learning of the power clean in Australian footballers. *J Strength Cond Res* 28:1613-1625, 2014.
30. Schmidt, RA y Lee, T. *Motor Control and Learning*. 5.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 327-329, 1988.
31. Selye, H. The stress concept: Past, present and future. En: *Stress Research: Issues for the Eighties*. Cooper, CL, ed. New York: Wiley, 1983.
32. Shea, CH, Wright, DL, Wulf, G y Whitacre, C. Physical and observational practice afford unique learning opportunities. *J Mot Behav* 32:27-36, 2000.
33. Shea, JB y Morgan, RL. Contextual interference effects on the acquisition, retention, and transfer of a motor skill. *J Exp Psychol Hum Learn* 5:179, 1979.
34. Smeeton, NJ, Williams, AM, Hodges, NJ y Ward, P. The relative effectiveness of various instructional approaches in developing anticipation skill. J *Exp Psychol Appl* 11:98-110, 2005.
35. Spence, JT y Spence, KW. The motivational components of manifest anxiety: Drive and drive stimuli. En: *Anxiety and Behavior*. Spielberger, CD, ed. New York: Academic Press, 291-326, 1966.
36. Spielberger, CD. *Understanding Stress and Anxiety*. London: Harper & Row, 1979.
37. Spielberger, CD, Gorsuch, RL y Lushene, RE. *Manual for the State-Trait Anxiety Inventory*. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press, 1970.
38. Van Raalte, JL. Self talk. En: *Routledge Handbook of Applied Psychology*. Anderson, SHM, ed. New York: Routledge, 210-517, 2010.
39. Weinberg, RS. Activation/arousal control. En: *Routledge Handbook of Applied Sport Psychology*. Anderson, SHM, ed. New York: Routledge, 471-480, 2010.
40. Weinberg, RS y Gould, D. *Foundations of Sport and Exercise Psychology* 3.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 2015.
41. Wightman, DC y Lintern, G. Part-task training for tracking and manual control. *Hum Factors* 27:267-283, 1985.
42. Williams, JM y Krane, V. Psychological characteristics of peak performance. En: *Applied Sport Psychology: Personal Growth to Peak Performance*. Williams, JM, ed. Mountain View, CA: Mayfield, 158-170, 1998.
43. Winstein, CJ, Pohl, PS, Cardinale, C, Green, A, Scholtz, L y Waters, CS. Learning a partial-weight-bearing skill: Effectiveness of two forms of feedback. *Phys Ther* 76:985-993, 1996.
44. Winstein, CJ y Schmidt, RA. Reduced frequency of knowledge of results enhances motor skill learning. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 16:677-691, 1990.
45. Wolpe, J. Psychotherapy by reciprocal inhibition. *Cond Reflex* 3:234-240, 1968.
46. Wood, JV, Perunovic, WE y Lee, JW. Positive self-statements: Power for some, peril for others. *Psychol Sci* 20:860-866, 2009.
47. Wulf, G, Shea, C y Lewthwaite, R. Motor skill learning and performance: A review of influential factors. *Med Educ* 44:75-84, 2010.
48. Wulf, G, Shea, CH y Matschiner, S. Frequent feedback enhances complex motor skill learning. *J Mot Behav* 30:180-192, 1998.
49. Wulf, G y Weigelt, C. Instructions about physical principles in learning a complex motor skill: To tell or not to tell. *Res Q Exerc Sport* 68:362-367, 1997.
50. Yerkes, RM y Dodson, JD. The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *J Comp Neurol Psychol* 18:459-482, 1908.

CAPÍTULO 9 La salud y los factores nutricionales

básicos

1. Acheson, KJ, Schutz, Y, Bessard, T, Anantharaman, K, Flatt, JP y Jequier, E. Glycogen storage capacity and de novo lipogenesis during massive carbohydrate overfeeding in man. *Am J Clin Nutr* 48:240-247, 1988.
2. Akermark, C, Jacobs, I, Rasmusson, M y Karlsson, J. Diet and muscle glycogen concentration in relation to physical performance in Swedish elite ice hockey players. *Int J Sport Nutr* 6:272-284, 1996.
3. Allen, S, McBride, WT, Young, IS, MacGowan, SW, McMurray, TJ, Prabhu, S, Penugonda, SP y Armstrong, MA. A clinical, renal and immunological assessment of surface modifying additive treated (SMART) cardiopulmonary bypass circuits. *Perfusion* 20:255-262, 2005.
4. Almond, CS, Shin, AY, Fortescue, EB, Mannix, RC, Wypij, D, Binstadt, BA, Duncan, CN, Olson, DP, Salerno, AE, Newburger, JW y Greenes, DS. Hyponatremia among runners in the Boston Marathon. *New Engl J Med* 352:1550-1556, 2005.
5. Anderson, GH, Tecimer, SN, Shah, D y Zafar, TA. Protein source, quantity, and time of consumption determine the effect of proteins on short-term food intake in young men. *J Nutr* 134:3011-3015, 2004.
6. Arieff, AI, Llach, F y Massry, SG. Neurological manifestations and morbidity of hyponatremia: Correlation with brain water and electrolytes. *Medicine* 55:121-129, 1976.
7. Armstrong, LE, Maresh, CM, Castellani, JW, Bergeron, MF, Kenefick, RW, LaGasse, KE y Riebe, D. Urinary indices of hydration status. *Int J Sport Nutr* 4:265-279, 1994.
8. Atkinson, FS, Foster-Powell, K y Brand-Miller, JC. International tables of glycemic index and glycemic load values: 2008. *Diabetes Care* 31:2281-2283, 2008.
9. Bailey, RL, Dodd, KW, Goldman, JA, Gahche, JJ, Dwyer, JT, Moshfegh, AJ, Sempos, CT y Picciano, MF. Estimation of total usual calcium and vitamin D intakes in the United States. *J Nutr* 140:817-822, 2010.
10. Balsom, PD, Wood, K, Olsson, P y Ekblom, B. Carbohydrate intake and multiple sprint sports: With special reference to football (soccer). *Int J Sports Med* 20:48-52, 1999.
11. Bangsbo, J, Graham, TE, Kiens, B y Saltin, B. Elevated muscle glycogen and anaerobic energy production during exhaustive exercise in man. *J Physiol* 451:205-227, 1992.
12. Bar-Or, O, Blimkie, CJ, Hay, JA, MacDougall, JD, Ward, DS y Wilson, WM. Voluntary dehydration and heat intolerance in cystic fibrosis. *Lancet* 339:696-699, 1992.
13. Bardis, CN, Kavouras, SA, Kosti, L, Markousi, M y Sidossis, LS. Mild hypohydration decreases cycling performance in the heat. *Med Sci Sports Exerc* 45:1782-1789, 2013.
14. Batchelder, BC, Krause, BA, Seegmiller, JG y Starkey, CA. Gastrointestinal temperature increases and hypohydration exists after collegiate men's ice hockey participation. *J Strength Cond Res* 24:68-73, 2010.
15. Bermejo, F y Garcia-Lopez, S. A guide to diagnosis of iron deficiency and iron deficiency anemia in digestive diseases. *World J Gastroenterol* 15:4638-4643, 2009.
16. Borzoei, S, Neovius, M, Barkeling, B, Teixeira-Pinto, A y Rossner, S. A comparison of effects of fish and beef protein on satiety in normal weight men. *Eur J Clin Nutr* 60:897-902, 2006.
17. Bozian, RC, Ferguson, JL, Heyssel, RM, Meneely, GR y Darby, WJ. Evidence concerning the human requirement for vitamin B12. Use of the whole body counter for determination of absorption of vitamin B12. *Am J Clin Nutr* 12:117-129, 1963.
18. Brownlie, T, Utermohlen, V, Hinton, PS, Giordano, C y Haas, JD. Marginal iron deficiency without anemia impairs aerobic adaptation among previously untrained women. *Am J Clin Nutr* 75:734-742, 2002.
19. Buyken, AE, Goletzke, J, Joslowski, G, Felbick, A, Cheng, G, Herder, C y Brand-Miller, JC. Association between carbohydrate quality and inflammatory markers: Systematic review of observational and interventional studies. *Am J Clin Nutr* 99:813-833, 2014.

20. Cahill, GF, Jr. Starvation in man. *Clin Endocrinol Metab* 5:397-415, 1976.
21. Campbell, B, Kreider, RB, Ziegenfuss, T, La Bounty, P, Roberts, M, Burke, D, Landis, J, Lopez, H y Antonio, J. International Society of Sports Nutrition position stand: Protein and exercise. *J Int Soc Sports Nutr* 4:8, 2007.
22. Casa, DJ, Armstrong, LE, Hillman, SK, Montain, SJ, Reiff, RV, Rich, BS, Roberts, WO y Stone, JA. National Athletic Trainers' Association position statement: Fluid replacement for athletes. *J Athl Train* 35:212-224, 2000.
23. Cermak, NM y van Loon, LJ. The use of carbohydrates during exercise as an ergogenic aid. *Sports Med* 43:1139-1155, 2013.
24. Chen, HY, Cheng, FC, Pan, HC, Hsu, JC y Wang, MF. Magnesium enhances exercise performance via increasing glucose availability in the blood, muscle, and brain during exercise. *PLoS One* 9:e85486, 2014.
25. Cheuvront, SN, Carter, R, Castellani, JW y Sawka, MN. Hypohydration impairs endurance exercise performance in temperate but not cold air. *J Appl Physiol* 99:1972-1976, 2005.
26. Cheuvront, SN, Carter R y Sawka, MN. Fluid balance and endurance exercise performance. *Curr Sports Med Rep* 2:202-208, 2003.
27. Chiu, YT y Stewart, ML. Effect of variety and cooking method on resistant starch content of white rice and subsequent postprandial glucose response and appetite in humans. *Asia Pac J Clin Nutr* 22:372-379, 2013.
28. Churchward-Venne, TA, Burd, NA y Phillips, SM. Nutritional regulation of muscle protein synthesis with resistance exercise: Strategies to enhance anabolism. *Nutr Metab* 9:40, 2012.
29. Cogswell, ME, Zhang, Z, Carriquiry, AL, Gunn, JP, Kuklina, EV, Saydah, SH, Yang, Q y Moshfegh, AJ. Sodium and potassium intakes among US adults: NHANES 2003-2008. *Am J Clin Nutr* 96:647-657, 2012.
30. Committee on Sports Medicine and Fitness. Climatic heat stress and the exercising child and adolescent. *Pediatrics* 106:158-159, 2000.
31. Coris, EE, Ramirez, AM y Van Durme, DJ. Heat illness in athletes: The dangerous combination of heat, humidity and exercise. *Sports Med* 34:9-16, 2004.
32. Costabile, A, Kolida, S, Klinder, A, Gietl, E, Bauerlein, M, Frohberg, C, Landschutze, V y Gibson, GR. A double-blind, placebo-controlled, cross-over study to establish the bifidogenic effect of a very-long-chain inulin extracted from globe artichoke (Cynara scolymus) in healthy human subjects. *Br J Nutr* 104:1007-1017, 2010.
33. Currell, K y Jeukendrup, AE. Superior endurance performance with ingestion of multiple transportable carbohydrates. *Med Sci Sports Exerc* 40:275-281, 2008.
34. Davis, SE, Dwyer, GB, Reed, K, Bopp, C, Stosic, J y Shepanski, M. Preliminary investigation: The impact of the NCAA Wrestling Weight Certification Program on weight cutting. *J Strength Cond Res* 16:305-307, 2002.
35. DeMarco, HM, Sucher, KP, Cisar, CJ y Butterfield, GE. Pre-exercise carbohydrate meals: Application of glycemic index. *Med Sci Sports Exerc* 31:164-170, 1999.
36. Devaney, BL y Frazao, E. *Review of Dietary Reference Intakes for Selected Nutrients: Challenges and Implications for Federal Food and Nutrition Policy*. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, 1, 2007.
37. Distefano, LJ, Casa, DJ, Vansumeren, MM, Karslo, RM, Huggins, RA, Demartini, JK, Stearns, RL, Armstrong, LE y Maresh, CM. Hypohydration and hyperthermia impair neuromuscular control after exercise. *Med Sci Sports Exerc* 45:1166-1173, 2013.
38. Djousse, L, Pankow, JS, Eckfeldt, JH, Folsom, AR, Hopkins, PN, Province, MA, Hong, Y y Ellison, RC. Relation between dietary linolenic acid and coronary artery disease in the National Heart, Lung, and Blood Institute Family Heart Study. *Am J Clin Nutr* 74:612-619, 2001.
39. Drewnowski, A. Concept of a nutritious food: Toward a nutrient density score. *Am J Clin Nutr* 82:721-732, 2005.

40. Drinkwater, BL, Kupprat, IC, Denton, JE, Crist, JL y Horvath, SM. Response of prepubertal girls and college women to work in the heat. *J Appl Physiol* 43:1046-1053, 1977.
41. Duraffourd, C, De Vadder, F, Goncalves, D, Delaere, F, Penhoat, A, Brusset, B, Rajas, F, Chassard, D, Duchampt, A, Stefanutti, A, Gautier-Stein, A y Mithieux, G. Mu-opioid receptors and dietary protein stimulate a gut-brain neural circuitry limiting food intake. *Cell* 150:377-388, 2012.
42. Esmarck, B, Andersen, JL, Olsen, S, Richter, EA, Mizuno, M y Kjaer, M. Timing of postexercise protein intake is important for muscle hypertrophy with resistance training in elderly humans. *J Physiol* 535:301-311, 2001.
43. Evans, WJ y Hughes, VA. Dietary carbohydrates and endurance exercise. *Am J Clin Nutr* 41:1146-1154, 1985.
44. Fan, J y Watanabe, T. Inflammatory reactions in the pathogenesis of atherosclerosis. *J Atheroscler Thromb* 10:63-71, 2003.
45. Foster-Powell, K, Holt, SH y Brand-Miller, JC. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *Am J Clin Nutr* 76:5-56, 2002.
46. Fulgoni, VL, 3rd, Keast, DR, Auestad, N y Quann, EE. Nutrients from dairy foods are difficult to replace in diets of Americans: Food pattern modeling and an analyses of the National Health and Nutrition Examination Survey 2003-2006. *Nutr Res* 31:759-765, 2011.
47. Garfinkel, D y Garfinkel, L. Magnesium and regulation of carbohydrate metabolism at the molecular level. *Magnesium* 7:249-261, 1988.
48. Geigy, LC. *Units of Measurement, Body Fluids, Composition of the Body, Nutrition*. West Caldwell, NJ: Ciba-Geigy Corporation, 217, 1981.
49. Gerber, GS y Brendler, CB. Evaluation of the urologic patient: History, physical examination, and urinalysis. En: *Campbell-Walsh Urology*. 10.ª ed. Wein, AJ, Kavoussi, LR, Novick, AC, Partin, AW y Peters, CA, eds. Philadelphia: Elsevier Saunders, 73-98, 2011.
50. Godek, SF, Godek, JJ y Bartolozzi, AR. Hydration status in college football players during consecutive days of twice-a-day preseason practices. *Am J Sports Med* 33:843-851, 2005.
51. Godek, SF, Peduzzi, C, Burkholder, R, Condon, S, Dorshimer, G y Bartolozzi, AR. Sweat rates, sweat sodium concentrations, and sodium losses in 3 groups of professional football players. *J Athl Train* 45:364-371, 2010.
52. Gonzalez-Alonso, J, Calbet, JA y Nielsen, B. Muscle blood flow is reduced with dehydration during prolonged exercise in humans. *J Physiol* 513:895-905, 1998.
53. Hall, KD. What is the required energy deficit per unit weight loss? *Int J Obes* 32:573-576, 2008.
54. Hawley, JA, Schabort, EJ, Noakes, TD y Dennis, SC. Carbohydrate-loading and exercise performance. An update. *Sports Med* 24:73-81, 1997.
55. Hayes, LD y Morse, CI. The effects of progressive dehydration on strength and power: Is there a dose response? *Eur J Appl Physiol* 108:701-707, 2010.
56. Heaney, RP y Layman, DK. Amount and type of protein influences bone health. *Am J Clin Nutr* 87:1567S-1570S, 2008.
57. Helge, JW, Watt, PW, Richter, EA, Rennie, MJ y Kiens, B. Fat utilization during exercise: Adaptation to a fat-rich diet increases utilization of plasma fatty acids and very low density lipoprotein-tri-acylglycerol in humans. *J Physiol* 537:1009-1020, 2001.
58. Henry, YM, Fatayerji, D y Eastell, R. Attainment of peak bone mass at the lumbar spine, femoral neck and radius in men and women: Relative contributions of bone size and volumetric bone mineral density. *Osteoporos Int* 15:263-273, 2004.
59. Henson, S, Blandon, J, Cranfield, J y Herath, D. Understanding the propensity of consumers to comply with dietary guidelines directed at heart health. *Appetite* 54:52-61, 2010.
60. Hermansen, K, Rasmussen, O, Gregersen, S y Larsen, S. Influence of ripeness of banana on the blood glucose and insulin response in type 2 diabetic subjects. *Diabet Med* 9:739-743, 1992.
61. Hinton, PS, Giordano, C, Brownlie, T y Haas, JD. Iron supplementation improves endurance after

training in iron-depleted, nonanemic women. *J Appl Physiol* 88:1103-1111, 2000.
62. Hornick, BA. *Job Descriptions: Models for the Dietetics Profession*. Chicago: American Dietetic Association, 9-14, 2008.
63. Hosseinpour-Niazi, S, Sohrab, G, Asghari, G, Mirmiran, P, Moslehi, N y Azizi, F. Dietary glycemic index, glycemic load, and cardiovascular disease risk factors: Tehran Lipid and Glucose Study. *Arch Iran Med* 16:401-407, 2013.
64. Howarth, KR, Phillips, SM, MacDonald, MJ, Richards, D, Moreau, NA y Gibala, MJ. Effect of glycogen availability on human skeletal muscle protein turnover during exercise and recovery. *J Appl Physiol* 109:431-438, 2010.
65. Huang, PC y Chiang, A. Effects of excess protein intake on nitrogen utilization in young men. *J Formos Med Assoc* 91:659-664, 1992.
66. Hulston, CJ, Venables, MC, Mann, CH, Martin, C, Philp, A, Baar, K y Jeukendrup, AE. Training with low muscle glycogen enhances fat metabolism in well-trained cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 42:2046-2055, 2010.
67. Institute of Medicine (U.S.). Panel on Dietary Antioxidants and Related Compounds. *Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids*. Washington, DC: National Academy Press, 2000.
68. Institute of Medicine (U.S.). Panel on Dietary Reference Intakes for Electrolytes and Water. *Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate*. Washington, DC: National Academies Press, 1-405, 2005.
69. Institute of Medicine (U.S.). Panel on Macronutrients. *Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids*. Washington, DC: National Academies Press, 589-738, 2005.
70. Institute of Medicine (U.S.). Panel on Micronutrients. *Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc*. Washington, DC: National Academy Press, 82-161, 290-393, 2001.
71. Institute of Medicine (U.S.). Standing Committee on the Scientific Evaluation of Dietary Reference Intakes. *Dietary Reference Intakes for Calcium, Phosphorus, Magnesium, Vitamin D, and Fluoride*. Washington, DC: National Academy Press, 71-145, 1997.
72. Institute of Medicine (U.S.). Panel on Folate, Other B Vitamins, and Choline. *Dietary Reference Intakes for Thiamin, Riboflavin, Niacin, Vitamin B_6, Folate, Vitamin B_{12}, Pantothenic Acid, Biotin, and Choline*. Washington, DC: National Academy Press, 1-400, 1998.
73. Institute of Medicine (U.S.). Committee on Military Nutrition Research. *Fluid Replacement and Heat Stress*. Washington, DC: National Academy Press, 8, 1994.
74. Ivy, JL. Glycogen resynthesis after exercise: Effect of carbohydrate intake. *Int J Sports Med* 19 (Suppl):S142-S145, 1998.
75. Jacobs, KA y Sherman, WM. The efficacy of carbohydrate supplementation and chronic high-carbohydrate diets for improving endurance performance. *Int J Sport Nutr* 9:92-115, 1999.
76. Jenkins, DJ, Wolever, TM, Taylor, RH, Barker, H, Fielden, H, Baldwin, JM, Bowling, AC, Newman, HC, Jenkins, AL y Goff, DV. Glycemic index of foods: A physiological basis for carbohydrate exchange. *Am J Clin Nutr* 34:362-366, 1981.
77. Jensen, J, Rustad, PI, Kolnes, AJ y Lai, YC. The role of skeletal muscle glycogen breakdown for regulation of insulin sensitivity by exercise. *Front Physiol* 2:112, 2011.
78. Jequier, E y Schutz, Y. Long-term measurements of energy expenditure in humans using a respiration chamber. *Am J Clin Nutr* 38:989-998, 1983.
79. Jeukendrup, AE. Regulation of fat metabolism in skeletal muscle. *Ann NY Acad Sci* 967:217-235, 2002.
80. Jeukendrup, AE, Jentjens, RL y Moseley, L. Nutritional considerations in triathlon. *Sports Med* 35:163-181, 2005.
81. Jones, LC, Cleary, MA, Lopez, RM, Zuri, RE y Lopez, R. Active dehydration impairs upper and

lower body anaerobic muscular power. *J Strength Cond Res* 22:455-463, 2008.
82. Joy, JM, Lowery, RP, Wilson, JM, Purpura, M, De Souza, EO, Wilson, SM, Kalman, DS, Dudeck, JE y Jager, R. The effects of 8 weeks of whey or rice protein supplementation on body composition and exercise performance. *Nutr J* 12:86, 2013.
83. Judelson, DA, Maresh, CM, Anderson, JM, Armstrong, LE, Casa, DJ, Kraemer, WJ y Volek, JS. Hydration and muscular performance: Does fluid balance affect strength, power and high-intensity endurance? *Sports Med* 37:907-921, 2007.
84. Katsanos, CS, Kobayashi, H, Sheffield-Moore, M, Aarsland, A y Wolfe, RR. A high proportion of leucine is required for optimal stimulation of the rate of muscle protein synthesis by essential amino acids in the elderly. *Am J Physiol* 291:E381-E387, 2006.
85. Kerksick, C, Harvey, T, Stout, J, Campbell, B, Wilborn, C, Kreider, R, Kalman, D, Ziegenfuss, T, Lopez, H, Landis, J, Ivy, JL y Antonio, J. International Society of Sports Nutrition position stand: Nutrient timing. *J Int Soc Sports Nutr* 5:17, 2008.
86. Kerstetter, JE, O'Brien, KO e Insogna, KL. Dietary protein affects intestinal calcium absorption. *Am J Clin Nutr* 68:859-865, 1998.
87. Kerstetter, JE, O'Brien, KO e Insogna, KL. Dietary protein, calcium metabolism, and skeletal homeostasis revisited. *Am J Clin Nutr* 78:584S-592S, 2003.
88. Kilding, AE, Tunstall, H, Wraith, E, Good, M, Gammon, C y Smith, C. Sweat rate and sweat electrolyte composition in international female soccer players during game specific training. *Int J Sports Med* 30:443-447, 2009.
89. Kim, SK, Kang, HS, Kim, CS y Kim, YT. The prevalence of anemia and iron depletion in the population aged 10 years or older. *Korean J Hematol* 46:196-199, 2011.
90. Kirwan, JP, Barkoukis, H, Brooks, LM, Marchetti, CM, Stetzer, BP y Gonzalez, F. Exercise training and dietary glycemic load may have synergistic effects on insulin resistance in older obese adults. *Ann Nutr Metab* 55:326-333, 2009.
91. Krieger, JW, Sitren, HS, Daniels, MJ y Langkamp-Henken, B. Effects of variation in protein and carbohydrate intake on body mass and composition during energy restriction: A meta-regression. *Am J Clin Nutr* 83:260-274, 2006.
92. Kurnik, D, Loebstein, R, Rabinovitz, H, Austerweil, N, Halkin, H y Almog, S. Over-the-counter vitamin K1-containing multivitamin supplements disrupt warfarin anticoagulation in vitamin K1-depleted patients. A prospective, controlled trial. *Thromb Haemost* 92:1018-1024, 2004.
93. Layman, DK. Dietary Guidelines should reflect new understandings about adult protein needs. *Nutr Metab* 6:12, 2009.
94. Layman, DK, Clifton, P, Gannon, MC, Krauss, RM y Nuttall, FQ. Protein in optimal health: Heart disease and type 2 diabetes. *Am J Clin Nutr* 87:1571S-1575S, 2008.
95. Lemon, PW y Mullin, JP Effect of initial muscle glycogen levels on protein catabolism during exercise. *J Appl Physiol* 48:624-629, 1980.
96. Lemon, PW, Tarnopolsky, MA, MacDougall, JD y Atkinson, SA. Protein requirements and muscle mass/strength changes during intensive training in novice bodybuilders. *J Appl Physiol* 73:767-775, 1992.
97. Levenhagen, DK, Gresham, JD, Carlson, MG, Maron, DJ, Borel, MJ y Flakoll, PJ. Postexercise nutrient intake timing in humans is critical to recovery of leg glucose and protein homeostasis. *Am J Physiol* 280:E982-E993, 2001.
98. Levine, E, Abbatangelo-Gray, J, Mobley, AR, McLaughlin, GR y Herzog, J. Evaluating MyPlate: An expanded framework using traditional and nontraditional metrics for assessing health communication campaigns. *J Nutr Educ Behav* 44:S2-S12, 2012.
99. Liu, S, Willett, WC, Stampfer, MJ, Hu, FB, Franz, M, Sampson, L, Hennekens, CH y Manson, JE. A prospective study of dietary glycemic load, carbohydrate intake, and risk of coronary heart disease in US women. *Am J Clin Nutr* 71:1455-1461, 2000.
100. Ludwig, DS. Dietary glycemic index and obesity. *J Nutr* 130:280S-283S, 2000.

101. Luhovyy, BL, Akhavan, T y Anderson, GH. Whey proteins in the regulation of food intake and satiety. *J Am Coll Nutr* 26:704S-712S, 2007.
102. Malczewska, J, Raczynski, G y Stupnicki, R. Iron status in female endurance athletes and in non-athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 10:260-276, 2000.
103. Manoguerra, AS, Erdman, AR, Booze, LL, Christianson, G, Wax, PM, Scharman, EJ, Woolf, AD, Chyka, PA, Keyes, DC, Olson, KR, Caravati, EM y Troutman, WG. Iron ingestion: An evidence-based consensus guideline for out-of-hospital management. *Clin Toxicol* 43:553-570, 2005.
104. Marlett, JA, Hosig, KB, Vollendorf, NW, Shinnick, FL, Haack, VS y Story, JA. Mechanism of serum cholesterol reduction by oat bran. *Hepatology* 20:1450-1457, 1994.
105. Martin, WF, Armstrong, LE y Rodriguez, NR. Dietary protein intake and renal function. *Nutr Metab* 2:25, 2005.
106. Martini, WZ, Chinkes, DL y Wolfe, RR. The intracellular free amino acid pool represents tracer precursor enrichment for calculation of protein synthesis in cultured fibroblasts and myocytes. *J Nutr* 134:1546-1550, 2004.
107. Mattar, M y Obeid, O. Fish oil and the management of hypertriglyceridemia. *Nutr Health* 20:41-49, 2009.
108. Maughan, RJ y Leiper, JB. Sodium intake and post-exercise rehydration in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 71:311-319, 1995.
109. Maughan, RJ, Watson, P y Shirreffs, SM. Heat and cold: What does the environment do to the marathon runner? *Sports Med* 37:396-399, 2007.
110. Millward, DJ, Layman, DK, Tome, D y Schaafsma, G. Protein quality assessment: Impact of expanding understanding of protein and amino acid needs for optimal health. *Am J Clin Nutr* 87:1576S-1581S, 2008.
111. Monsen, ER. Iron nutrition and absorption: Dietary factors which impact iron bioavailability. *J Am Diet Assoc* 88:786-790, 1988.
112. Montain, SJ y Coyle, EF. Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *J Appl Physiol* 73:1340-1350, 1992.
113. Mori, TA. Omega-3 fatty acids and hypertension in humans. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 33:842-846, 2006.
114. Moshfegh, AJ, Goldman, JA, Jaspreet, A, Rhodes, D y LaComb, R. *What We Eat in America: NHANES 2005-2006: Usual Nutrient Intakes From Food and Water Compared to 1997Dietary Reference Intakes for Vitamin D, Calcium, Phosphorus, and Magnesium*. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 6-16, 2009.
115. Murphy, SP. Using DRIs for dietary assessment. *Asia Pac J Clin Nutr* 17 (Suppl):299-301, 2008.
116. Musunuru, K. Atherogenic dyslipidemia: Cardiovascular risk and dietary intervention. *Lipids* 45:907-914, 2010.
117. Nadel, ER. Control of sweating rate while exercising in the heat. *Med Sci Sports* 11:31-35, 1979.
118. Naghii, MR y Fouladi, AI. Correct assessment of iron depletion and iron deficiency anemia. *Nutr Health* 18:133-139, 2006.
119. Neale, RJ y Waterlow, JC. The metabolism of 14C-labelled essential amino acids given by intragastric or intravenous infusion to rats on normal and protein-free diets. *Br J Nutr* 32:11-25, 1974.
120. Osterberg, KL, Horswill, CA y Baker, LB. Pregame urine specific gravity and fluid intake by National Basketball Association players during competition. *J Athl Train* 44:53-57, 2009.
121. Paddon-Jones, D, Short, KR, Campbell, WW, Volpi, E y Wolfe, RR. Role of dietary protein in the sarcopenia of aging. *Am J Clin Nutr* 87:1562S-1566S, 2008.
122. Paddon-Jones, D, Westman, E, Mattes, RD, Wolfe, RR, Astrup, A y Westerterp-Plantenga, M. Protein, weight management y satiety. *Am J Clin Nutr* 87:1558S-1561S, 2008.
123. Parr, EB, Camera, DM, Areta, JL, Burke, LM, Phillips, SM, Hawley, JA y Coffey, VG. Alcohol ingestion impairs maximal post-exercise rates of myofibrillar protein synthesis following a single

bout of concurrent training. *PLoS One* 9:e88384, 2014.
124. Pastori, D, Carnevale, R, Cangemi, R, Saliola, M, Nocella, C, Bartimoccia, S, Vicario, T, Farcomeni, A, Violi, F y Pignatelli, P. Vitamin E serum levels and bleeding risk in patients receiving oral anticoagulant therapy: A retrospective cohort study. *JAm Heart Assoc* 2:e000364, 2013.
125. Pejic, RN y Lee, DT. Hypertriglyceridemia. *J Am Board Fam Med* 19:310-316, 2006.
126. Pendergast, DR, Horvath, PJ, Leddy, JJ y Venkatraman, JT. The role of dietary fat on performance, metabolism y health. *Am J Sports Med* 24:S53-S58, 1996.
127. Phillips, SM. A brief review of critical processes in exercise-induced muscular hypertrophy. *Sports Med* 44 (Suppl):71-77, 2014.
128. Phillips, SM, Moore, DR y Tang, JE. A critical examination of dietary protein requirements, benefits y excesses in athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 17 (Suppl):S58-S76, 2007.
129. Pitsiladis, YP, Duignan, C y Maughan, RJ. Effects of alterations in dietary carbohydrate intake on running performance during a 10 km treadmill time trial. *Br J Sports Med* 30:226-231, 1996.
130. Plourde, M y Cunnane, SC. Extremely limited synthesis of long chain polyunsaturates in adults: Implications for their dietary essentiality and use as supplements. *Appl Physiol Nutr Metab* 32:619-634, 2007.
131. Poole, C, Wilborn, C, Taylor, L y Kerksick, C. The role of post-exercise nutrient administration on muscle protein synthesis and glycogen synthesis. *J Sport Sci Med* 9:354-363, 2010.
132. Poortmans, JR y Dellalieux, O. Do regular high protein diets have potential health risks on kidney function in athletes? *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 10:28-38, 2000.
133. Popowski, LA, Oppliger, RA, Patrick Lambert, G, Johnson, RF, Kim Johnson, A y Gisolf, CV. Blood and urinary measures of hydration status during progressive acute dehydration. *Med Sci Sports Exerc* 33:747-753, 2001.
134. Raben, A, Agerholm-Larsen, L, Flint, A, Holst, JJ y Astrup, A. Meals with similar energy densities but rich in protein, fat, carbohydrate, or alcohol have different effects on energy expenditure and substrate metabolism but not on appetite and energy intake. *Am J Clin Nutr* 77:91-100, 2003.
135. Ramnani, P, Gaudier, E, Bingham, M, van Bruggen, P, Tuohy, KM y Gibson, GR. Prebiotic effect of fruit and vegetable shots containing Jerusalem artichoke inulin: A human intervention study. *Br J Nutr* 104:233-240, 2010.
136. Reimers, KJ. Evaluating a healthy, high performance diet. *Strength Cond* 16:28-30, 1994.
137. Risser, WL, Lee, EJ, Poindexter, HB, West, MS, Pivarnik, JM, Risser, JM y Hickson, JF. Iron deficiency in female athletes: Its prevalence and impact on performance. *Med Sci Sports Exerc* 20:116-121, 1988.
138. Rivera-Brown, AM, Ramirez-Marrero, FA, Wilk, B y Bar-Or, O. Voluntary drinking and hydration in trained, heat-acclimatized girls exercising in a hot and humid climate. *Eur J Appl Physiol* 103:109-116, 2008.
139. Robins, AL, Davies, DM y Jones, GE. The effect of nutritional manipulation on ultra-endurance performance: A case study. *Res Sports Med* 13:199-215, 2005.
140. Romijn, JA, Coyle, EF, Sidossis, LS, Gastaldelli, A, Horowitz, JF, Endert, E y Wolfe, RR. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol* 265:E380-E391, 1993.
141. Ross, AC. *Modern Nutrition in Health and Disease*. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins, 17-18, 2014.
142. Ross, AC e Institute of Medicine (U.S.). Committee to Review Dietary Reference Intakes for Vitamin D and Calcium. *Dietary Reference Intakes: Calcium, Vitamin D*. Washington, DC: National Academies Press, 1-512, 2011.
143. Rowlands, DS y Hopkins, WG. Effects of high-fat and high-carbohydrate diets on metabolism and performance in cycling. *Metabolism* 51:678-690, 2002.

144. Ryan, MF. The role of magnesium in clinical biochemistry: An overview. *Ann Clin Biochem* 28:19-26, 1991.
145. Saunders, MJ, Kane, MD y Todd, MK. Effects of a carbohydrate-protein beverage on cycling endurance and muscle damage. *Med Sci Sports Exerc* 36:1233-1238, 2004.
146. Sawka, MN, Burke, LM, Eichner, ER, Maughan, RJ, Montain, SJ y Stachenfeld, NS. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc* 39:377-390, 2007.
147. Sawka, MN y Coyle, EF. Influence of body water and blood volume on thermoregulation and exercise performance in the heat. *Exerc Sport Sci Rev* 27:167-218, 1999.
148. Sawka, MN, Latzka, WA, Matott, RP y Montain, SJ. Hydration effects on temperature regulation. *Int J Sports Med* 19 (Suppl):S108-S110, 1998.
149. Schoffstall, JE, Branch, JD, Leutholtz, BC y Swain, DE. Effects of dehydration and rehydration on the one-repetition maximum bench press of weight-trained males. *J Strength Cond Res* 15:102-108, 2001.
150. Schrauwen-Hinderling, VB, Hesselink, MK, Schrauwen, P y Kooi, ME. Intramyocellular lipid content in human skeletal muscle. *Obesity* 14:357-367, 2006.
151. Schurch, MA, Rizzoli, R, Slosman, D, Vadas, L, Vergnaud, P y Bonjour, JP. Protein supplements increase serum insulin-like growth factor-I levels and attenuate proximal femur bone loss in patients with recent hip fracture. A randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Ann Int Med* 128:801-809, 1998.
152. Schwingshackl, L y Hoffmann, G. Long-term effects of low glycemic index/load vs. high glycemic index/load diets on parameters of obesity and obesity-associated risks: A systematic review and meta-analysis. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 23:699-706, 2013.
153. Sherman, WM, Doyle, JA, Lamb, DR y Strauss, RH. Dietary carbohydrate, muscle glycogen, and exercise performance during 7 d of training. *Am J Clin Nutr* 57:27-31, 1993.
154. Shils, ME y Shike, M. *Modern Nutrition in Health and Disease*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 141-156, 2006.
155. Shirreffs, SM y Maughan, RJ. Volume repletion after exercise-induced volume depletion in humans: Replacement of water and sodium losses. *Am J Physiol* 274:F868-F875, 1998.
156. Shirreffs, SM, Taylor, AJ, Leiper, JB y Maughan, RJ. Post-exercise rehydration in man: Effects of volume consumed and drink sodium content. *Med Sci Sports Exerc* 28:1260-1271, 1996.
157. Siraki, AG, Deterding, LJ, Bonini, MG, Jiang, J, Ehrenshaft, M, Tomer, KB y Mason, RP Procainamide, but not N-acetylprocain-amide, induces protein free radical formation on myeloperoxidase: A potential mechanism of agranulocytosis. *Chem Res Toxicol* 21:1143-1153, 2008.
158. Smith, MF, Newell, AJ y Baker, MR. Effect of acute mild dehydration on cognitive-motor performance in golf. *J Strength Cond Res* 26:3075-3080, 2012.
159. Soetan, KO y Oyewole, OE. The need for adequate processing to reduce the antinutritional factors in plants used as human foods and animal feeds: A review. *Afr J Food Sci* 3:223-232, 2009.
160. Sparks, MJ, Selig, SS y Febbraio, MA. Pre-exercise carbohydrate ingestion: Effect of the glycemic index on endurance exercise performance. *Med Sci Sports Exerc* 30:844-849, 1998.
161. Stoltzfus, R. Defining iron-deficiency anemia in public health terms: A time for reflection. *J Nutr* 131:565S-567S, 2001.
162. Stone, NJ, Robinson, JG, Lichtenstein, AH, Bairey Merz, CN, Blum, CB, Eckel, RH, Goldberg, AC, Gordon, D, Levy, D, Lloyd-Jones, DM, McBride, P, Schwartz, JS, Shero, ST, Smith, SC, Jr., Watson, K y Wilson, PW. Guideline on the treatment of blood cholesterol to reduce atherosclerotic cardiovascular risk in adults: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol* 63:2889-2934, 2014.
163. Sugiura, K y Kobayashi, K. Effect of carbohydrate ingestion on sprint performance following

continuous and intermittent exercise. *Med Sci Sports Exerc* 30:1624-1630, 1998.
164. Tapiero, H, Gate, L y Tew, KD. Iron: Deficiencies and requirements. *Biomed Pharmacother* 55:324-332, 2001.
165. Tarnopolsky, M. Protein requirements for endurance athletes. *Nutrition* 20:662-668, 2004.
166. Taylor, R, Magnusson, I, Rothman, DL, Cline, GW, Caumo, A, Cobelli, C y Shulman, GI. Direct assessment of liver glycogen storage by 13C nuclear magnetic resonance spectroscopy and regulation of glucose homeostasis after a mixed meal in normal subjects. *J Clin Invest* 97:126-132, 1996.
167. Thomas, DE, Brotherhood, JR y Brand, JC. Carbohydrate feeding before exercise: Effect of glycemic index. *Int J Sports Med* 12:180-186, 1991.
168. Tripette, J, Loko, G, Samb, A, Gogh, BD, Sewade, E, Seck, D, Hue, O, Romana, M, Diop, S, Diaw, M, Brudey, K, Bogui, P, Cisse, F, Hardy-Dessources, MD y Connes, P. Effects of hydration and dehydration on blood rheology in sickle cell trait carriers during exercise. *Am J Physiol* 299:H908-H914, 2010.
169. Trumbo, P, Schlicker, S, Yates, AA y Poos, M. Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein and amino acids. *J Am Diet Assoc* 102:1621-1630, 2002.
170. Tsuji, T, Fukuwatari, T, Sasaki, S y Shibata, K. Twenty-fourhour urinary water-soluble vitamin levels correlate with their intakes in free-living Japanese schoolchildren. *Public Health Nutr* 14:327-333, 2011.
171. U.S. Department of Agriculture. http://choosemyplate.gov/foodgroups/oils.html.
172. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. *Nutrient Intakes From Food: Mean Amounts and Percentages of Calories From Protein, Carbohydrate, Fat, and Alcohol, One Day, 2005-2006*. www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/fsrg, 2008.
173. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. *Nutrient Intakes From Food: Mean Amounts Consumed per Individual, by Gender and A*ge. What We Eat in America, NHANES 2009-2010, 2012.
174. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. *Report of the Dietary Guidelines Advisory Committee on the Dietary Guidelines for Americans, 2010*. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, 2010.
175. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. *USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release* 27. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, 2014.
176. U.S. Department of Health and Human Services. *Scientific Report of the 2015 Dietary Guidelines Advisory Committee*. Washington, DC: U.S. Department of Health and Human Services, 2015.
177. Valko, M, Rhodes, CJ, Moncol, J, Izakovic, M y Mazur, M. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chem Biol Interact* 160:1-40, 2006.
178. Volpe, SL, Poule, KA y Bland, EG. Estimation of prepractice hydration status of National Collegiate Athletic Association Division I athletes. *J Athl Train* 44:624-629, 2009.
179. Wallace, KL, Curry, SC, LoVecchio, F y Raschke, RA. Effect of magnesium hydroxide on iron absorption after ferrous sulfate. *Ann Emerg Med* 34:685-687, 1999.
180. Wee, SL, Williams, C, Gray, S y Horabin, J. Influence of high and low glycemic index meals on endurance running capacity. *Med Sci Sports Exerc* 31:393-399, 1999.
181. Wenos, DL y Amato, HK. Weight cycling alters muscular strength and endurance, ratings of perceived exertion, and total body water in college wrestlers. *Percept Mot Skills* 87:975-978, 1998.
182. Wilk, B y Bar-Or, O. Effect of drink flavor and NaCl on voluntary drinking and hydration in boys exercising in the heat. *J Appl Physiol* 80:1112-1117, 1996.
183. World Health Organization. Worldwide prevalence of anaemia 19932005. WHO Global Database on Anaemia. www.who.int/vmnis/database/anaemia/en. Accessed February 15, 2015.

184. Young, VR y Pellett, PL. Plant proteins in relation to human protein and amino acid nutrition. *Am J Clin Nutr* 59:1203S-1212S, 1994.
185. Zawila, LG, Steib, CS y Hoogenboom, B. The female collegiate cross-country runner: Nutritional knowledge and attitudes. *J Athl Train* 38:67-74, 2003.

CAPÍTULO 10 Estrategias nutricionales para potenciar el rendimiento

1. Acheson, KJ, Schutz, Y, Bessard, T, Anantharaman, K, Flatt, JP y Jequier, E. Glycogen storage capacity and de novo lipogenesis during massive carbohydrate overfeeding in man. *Am J Clin Nutr* 48:240-247, 1988.
2. Ainsworth, BE, Haskell, WL, Herrmann, SD, Meckes, N, Bassett, DR, Jr., Tudor-Locke, C, Greer, JL, Vezina, J, Whitt-Glover, MC y Leon, AS. 2011 Compendium of Physical Activities: A second update of codes and MET values. *Med Sci Sports Exerc* 43:1575-1581, 2011.
3. Ali, A y Williams, C. Carbohydrate ingestion and soccer skill performance during prolonged intermittent exercise. *J Sports Sci* 27:1499-1508, 2009.
4. American Academy of Pediatrics. Climatic heat stress and the exercising child and adolescent. *Pediatrics* 106:158-159, 2000.
5. American College of Sports Medicine, American Dietetic Association, and Dietitians of Canada. Joint position statement: Nutrition and athletic performance. *Med Sci Sports Exerc* 41:709-731, 2009.
6. American Psychiatric Association, DSM-5 Task Force. *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*. Washington, DC: American Psychiatric Association, 329-354, 2013.
7. Andrews, JL, Sedlock, DA, Flynn, MG, Navalta, JW y Ji, H. Carbohydrate loading and supplementation in endurance-trained women runners. *J Appl Physiol* 95:584-590, 2003.
8. Aragon, AA y Schoenfeld, BJ. Nutrient timing revisited: Is there a post-exercise anabolic window? *J Int Soc Sports Nut* 10:5, 2013.
9. Asp, S, Rohde, T y Richter, EA. Impaired muscle glycogen resynthesis after a marathon is not caused by decreased muscle GLUT-4 content. *J Appl Physiol* 83:1482-1485, 1997.
10. Balsom, PD, Gaitanos, GC, Soderlund, K y Ekblom, B. High-intensity exercise and muscle glycogen availability in humans. *Acta Physiol Scand* 165:337-345, 1999.
11. Bangsbo, J, Norregaard, L y Thorsoe, F. The effect of carbohydrate diet on intermittent exercise performance. *Int J Sports Med* 13:152 -157, 1992.
12. Bennett, CB, Chilibeck, PD, Barss, T, Vatanparast, H, Vandenberg, A y Zello, GA. Metabolism and performance during extended high-intensity intermittent exercise after consumption of low- and high-glycaemic index pre-exercise meals. *Br J Nutr* 108 (Suppl):S81-S90, 2012.
13. Bergeron, M, Devore, C y Rice, S. Climatic heat stress and exercising children and adolescents. *Pediatrics* 128:e741-e747, 2011.
14. Biolo, G, Maggi, SP, Williams, BD, Tipton, KD y Wolfe, RR. Increased rates of muscle protein turnover and amino acid transport after resistance exercise in humans. *Am J Physiol* 268:E514-E520, 1995.
15. Boisseau, N y Delamarche, P. Metabolic and hormonal responses to exercise in children and adolescents. *Sports Med* 30:405-422, 2000.
16. Borsheim, E, Cree, MG, Tipton, KD, Elliott, TA, Aarsland, A y Wolfe, RR. Effect of carbohydrate intake on net muscle protein synthesis during recovery from resistance exercise. *J Appl Physiol* 96:674-678, 2004.
17. Bradley, U, Spence, M, Courtney, CH, McKinley, MC, Ennis, CN, McCance, DR, McEneny, J, Bell, PM, Young, IS y Hunter, SJ. Low-fat versus low-carbohydrate weight reduction diets: Effects on weight loss, insulin resistance, and cardiovascular risk: A randomized control trial. *Diabetes* 58:2741-2748, 2009.
18. Breen, L, Philp, A, Witard, OC, Jackman, SR, Selby, A, Smith, K, Baar, K y Tipton, KD. The influence of carbohydrate-protein co-ingestion following endurance exercise on myofibrillar and mitochondrial protein synthesis. *J Physiol* 589:4011-4025, 2011.

19. Burke, LM. Nutrition strategies for the marathon: Fuel for training and racing. *Sports Med* 37:344-347, 2007.
20. Burke, LM. Fueling strategies to optimize performance: Training high or training low? *Scand J Med Sci Sports* 20 (Suppl): 48-58, 2010.
21. Centers for Disease Control. Body Mass Index: Considerations for Practitioners. www.cdc.gov/obesity/downloads/BMIforPactitioners.pdf, 2010. Accessed February 6, 2015.
22. Cermak, NM, Res, PT, de Groot, LC, Saris, WH y van Loon, LJ. Protein supplementation augments the adaptive response of skeletal muscle to resistance-type exercise training: A meta-analysis. *Am J Clin Nutr* 96:1454-1464, 2012.
23. Chryssanthopoulos, C y Williams, C. Pre-exercise carbohydrate meal and endurance running capacity when carbohydrates are ingested during exercise. *Int J Sports Med* 18:543-548, 1997.
24. Chryssanthopoulos, C, Williams, C, Nowitz, A, Kotsiopoulou, C y Vleck, V. The effect of a high carbohydrate meal on endurance running capacity. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 12:157-171, 2002.
25. Coyle, EF. Timing and method of increased carbohydrate intake to cope with heavy training, competition and recovery. *J Sports Sci* 9:29-52, 1991.
26. Coyle, EF, Coggan, AR, Hemmert, MK e Ivy, JL. Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J Appl Physiol* 61:165-172, 1986.
27. Coyle, EF, Coggan, AR, Hemmert, MK, Lowe, RC y Walters, TJ. Substrate usage during prolonged exercise following a preexercise meal. *J Appl Physiol* 59:429-433, 1985.
28. Currell, K y Jeukendrup, AE. Superior endurance performance with ingestion of multiple transportable carbohydrates. *Med Sci Sports Exerc* 40:275-281, 2008.
29. Fletcher, GO, Dawes, J y Spano, M. The potential dangers of using rapid weight loss techniques. *Strength Cond J* 36:45-48, 2014.
30. Foster, GD, Wyatt, HR, Hill, JO, Makris, AP, Rosenbaum, DL, Brill, C, Stein, RI, Mohammed, BS, Miller, B, Rader, DJ, Zemel, B, Wadden, TA, Tenhave, T, Newcomb, CW y Klein, S. Weight and metabolic outcomes after 2 years on a low-carbohydrate versus low-fat diet: A randomized trial. *Ann Int Med* 153:147-157, 2010.
31. Frost, E, Redman, L y Bray, G. Effect of dietary protein intake on diet-induced thermogenesis during overfeeding [abstract]. The 32nd Annual Scientific Meeting of The Obesity Society, 2014. www.obesity.org/news-center/study-suggests-the-human-bodycannot-be-trained-to-maintain-a-higher-metabolism.htm.
32. Garby, L, Lammert, O y Nielsen, E. Changes in energy expenditure of light physical activity during a 10 day period at 34 degrees C environmental temperature. *Eur J Clin Nutr* 44:241-244, 1990.
33. Garthe, I, Raastad, T y Sundgot-Borgen, J. Long-term effect of nutritional counselling on desired gain in body mass and lean body mass in elite athletes. *Appl Physiol Nutr Metab* 36:547-554, 2011.
34. Gilson, SF, Saunders, MJ, Moran, CW, Moore, RW, Womack, CJ y Todd, MK. Effects of chocolate milk consumption on markers of muscle recovery following soccer training: A randomized crossover study. *J Int Soc Sports Nutr* 7:19, 2010.
35. Glynn, EL, Fry, CS, Drummond, MJ, Dreyer, HC, Dhanani, S, Volpi, E y Rasmussen, BB. Muscle protein breakdown has a minor role in the protein anabolic response to essential amino acid and carbohydrate intake following resistance exercise. *Am J Physiol* 299:R533-R540, 2010.
36. Goh, Q, Boop, CA, Luden, ND, Smith, AG, Womack, CJ y Saunders, MJ. Recovery from cycling exercise: Effects of carbohydrate and protein beverages. *Nutrients* 4:568-584, 2012.
37. Goltz, FR, Stenzel, LM y Schneider, CD. Disordered eating behaviors and body image in male athletes. *Rev Bras Psiquiatr* 35:237-242, 2013.
38. Gomes, RV, Moreira, A, Coutts, AJ, Capitani, CD y Aoki, MS. Effect of carbohydrate supplementation on the physiological and perceptual responses to prolonged tennis match play. *J*

Strength Cond Res 28:735-741, 2014.
39. Haff, GG, Lehmkuhl, MJ, McCoy, LB y Stone, MH. Carbohydrate supplementation and resistance training. *J Strength Cond Res* 17:187-196, 2003.
40. Hansen, M, Bangsbo, J, Jensen J, Bibby, BM y Madsen, K. Effect of whey protein hydrolysate on performance and recovery of top-class orienteering runners. *Int J Sport Nutr Exerc Metab,* 2014.
41. Harris, EC y Barraclough, B. Excess mortality of mental disorder. *Br J Psychiatry* 173:11-53, 1998.
42. Harris, J y Benedict, F. *A Biometric Study of Basal Metabolism in Man*. Washington, DC: Carnegie Institution, 370-373, 1919.
43. Harvie, M, Wright, C, Pegington, M, McMullan, D, Mitchell, E, Martin, B, Cutler, RG, Evans, G, Whiteside, S, Maudsley, S, Camandola, S, Wang, R, Carlson, OD, Egan, JM, Mattson, MP y Howell, A. The effect of intermittent energy and carbohydrate restriction v. daily energy restriction on weight loss and metabolic disease risk markers in overweight women. *Br J Nutr* 110:1534-1547, 2013.
44. Hatfield, DL, Kraemer, WJ, Volek, JS, Rubin, MR, Grebien, B, Gomez, AL, French, DN, Scheett, TP, Ratamess, NA, Sharman, MJ, McGuigan, MR, Newton, RU y Hakkinen, K. The effects of carbohydrate loading on repetitive jump squat power performance. *J Strength Cond Res* 20:167-171, 2006.
45. Helge, JW, Watt, PW, Richter, EA, Rennie, MJ y Kiens, B. Fat utilization during exercise: Adaptation to a fat-rich diet increases utilization of plasma fatty acids and very low density lipoprotein-tri-acylglycerol in humans. *J Physiol* 537:1009-1020, 2001.
46. Hession, M, Rolland, C, Kulkarni, U, Wise, A y Broom, J. Systematic review of randomized controlled trials of low-carbohydrate vs. low-fat/low-calorie diets in the management of obesity and its comorbidities. *Obes Rev* 10:36-50, 2009.
47. Hill, RJ y Davies, PS. The validity of self-reported energy intake as determined using the doubly labelled water technique. *Br J Nutr* 85:415-430, 2001.
48. Hoek, HW. Classification, epidemiology and treatment of DSM-5 feeding and eating disorders. *Curr Opin Psychiatry* 26:529-531, 2013.
49. Howarth, KR, Moreau, NA, Phillips, SM y Gibala, MJ. Coingestion of protein with carbohydrate during recovery from endurance exercise stimulates skeletal muscle protein synthesis in humans. *J Appl Physiol* 106:1394-1402, 2009.
50. Hudson, JI, Hiripi, E, Pope, HG, Jr. y Kessler, RC. The prevalence and correlates of eating disorders in the National Comorbidity Survey Replication. *Biol Psychiatry* 61:348-358, 2007.
51. Institute of Medicine (U.S.). Panel on Dietary Reference Intakes for Electrolytes and Water. *Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate*. Washington, DC: National Academies Press, 2005.
52. Institute of Medicine (U.S.). Panel on Macronutrients. *Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids*. Washington, DC: National Academies Press, 111-121, 2005.
53. Institute of Medicine (U.S.). Committee on Military Nutrition Research. *Fluid Replacement and Heat Stress*. Washington, DC: National Academy Press, 8, 1994.
54. Jacobs, I, Kaiser, P y Tesch, P. Muscle strength and fatigue after selective glycogen depletion in human skeletal muscle fibers. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 46:47-53, 1981.
55. Jacobs, I, Westlin, N, Karlsson, J, Rasmusson, M y Houghton, B. Muscle glycogen and diet in elite soccer players. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 48:297-302, 1982.
56. Jensen, J, Rustad, PI, Kolnes, AJ y Lai, YC. The role of skeletal muscle glycogen breakdown for regulation of insulin sensitivity by exercise. *Front Physiol* 2:112, 2011.
57. Jentjens, R y Jeukendrup, A. Determinants of post-exercise glycogen synthesis during short-term recovery. *Sports Med* 33: 117-144, 2003.
58. Jentjens, RL, Achten, J y Jeukendrup, AE. High oxidation rates from combined carbohydrates

ingested during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 36:1551-1558, 2004.
59. Jequier, E y Schutz, Y. Long-term measurements of energy expenditure in humans using a respiration chamber. *Am J Clin Nutr* 38:989-998, 1983.
60. Jeukendrup, AE. Oral carbohydrate rinse: Placebo or beneficial? *Curr Sports Med Rep* 12:222-227, 2013.
61. Jeukendrup, AE y Jentjens, R. Oxidation of carbohydrate feedings during prolonged exercise: Current thoughts, guidelines and directions for future research. *Sports Med* 29:407-424, 2000.
62. Jeukendrup, AE, Wagenmakers, AJ, Stegen, JH, Gijsen, AP, Brouns, F y Saris, WH. Carbohydrate ingestion can completely suppress endogenous glucose production during exercise. *Am J Physiol* 276:E672-E683, 1999.
63. Joy, JM, Lowery, RP, Wilson, JM, Purpura, M, De Souza, EO, Wilson, SM, Kalman, DS, Dudeck, JE y Jager, R. The effects of 8 weeks of whey or rice protein supplementation on body composition and exercise performance. *Nutr J* 12:86, 2013.
64. Khan, Y y Tisman, G. Pica in iron deficiency: A case series. *J Med Case Rep* 4:86, 2010.
65. Kovacs, MS. A review of fluid and hydration in competitive tennis. *Int J Sports Physiol Perform* 3:413-423, 2008.
66. Kreider, RB. Physiological considerations of ultraendurance performance. *Int J Sport Nutr* 1:3-27, 1991.
67. Kreitzman, SN, Coxon, AY y Szaz, KF. Glycogen storage: Illusions of easy weight loss, excessive weight regain, and distortions in estimates of body composition. *Am J Clin Nutr* 56: 292S-293S, 1992.
68. Krustrup, P, Mohr, M, Ellingsgaard, H y Bangsbo, J. Physical demands during an elite female soccer game: Importance of training status. *Med Sci Sports Exerc* 37:1242-1248, 2005.
69. Kutz, MR y Gunter, MJ. Creatine monohydrate supplementation on body weight and percent body fat. *J Strength Cond Res* 17: 817821, 2003.
70. Lambert, BS, Oliver, JM, Katts, GR, Green, JS, Martin, SE y Crouse, SF. DEXA or BMI: Clinical considerations for evaluating obesity in collegiate division I-A American football athletes. *Clin J Sport Med* 22:436-438, 2012.
71. Lee, JD, Sterrett, LE, Guth, LM, Konopka, AR y Mahon, AD. The effect of pre-exercise carbohydrate supplementation on anaerobic exercise performance in adolescent males. *Pediatr Exerc Sci* 23:344-354, 2011.
72. Lemon, PW y Mullin, JP. Effect of initial muscle glycogen levels on protein catabolism during exercise. *J Appl Physiol* 48:624-629, 1980.
73. Levenhagen, DK, Gresham, JD, Carlson, MG, Maron, DJ, Borel, MJ y Flakoll, PJ. Postexercise nutrient intake timing in humans is critical to recovery of leg glucose and protein homeostasis. *Am J Physiol* 280:E982-E993, 2001.
74. MacDougall, JD, Ray, S, Sale, DG, McCartney, N, Lee, P y Garner, S. Muscle substrate utilization and lactate production. *Can J Appl Physiol* 24:209-215, 1999.
75. Maclean, WC, Jr., Placko, RP y Graham, GC. Plasma free amino acids of children consuming a diet with uneven distribution of protein relative to energy. *J Nutr* 106:241-248, 1976.
76. Makris, A y Foster, GD. Dietary approaches to the treatment of obesity. *Psychiatr Clin North Am* 34:813-827, 2011.
77. Mamerow, MM, Mettler, JA, English, KL, Casperson, SL, Arentson-Lantz, E, Sheffield-Moore, M, Layman, DK y Paddon-Jones, D. Dietary protein distribution positively influences 24-h muscle protein synthesis in healthy adults. *J Nutr* 144:876-880, 2014.
78. Marmy-Conus, N, Fabris, S, Proietto, J y Hargreaves, M. Pre-exercise glucose ingestion and glucose kinetics during exercise. *J Appl Physiol* 81:853-857, 1996.
79. Maughan, RJ y Shirreffs, SM. Development of individual hydration strategies for athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 18:457-472, 2008.
80. Millard-Stafford, M, Warren, GL, Thomas, LM, Doyle, JA, Snow, T y Hitchcock, K. Recovery

from run training: Efficacy of a carbohydrate-protein beverage? *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 15:610-624, 2005.
81. Mitchell, CJ, Churchward-Venne, TA, Parise, G, Bellamy, L, Baker, SK, Smith, K, Atherton, PJ y Phillips, SM. Acute post-exercise myofibrillar protein synthesis is not correlated with resistance training-induced muscle hypertrophy in young men. *PLoSOne* 9:e89431, 2014.
82. Mitchell, JB, Costill, DL, Houmard, JA, Fink, WJ, Robergs, RA y Davis, JA. Gastric emptying: Influence of prolonged exercise and carbohydrate concentration. *Med Sci Sports Exerc* 21:269-274, 1989.
83. Muller, MJ, Bosy-Westphal, A, Klaus, S, Kreymann, G, Luhrmann, PM, Neuhauser-Berthold, M, Noack, R, Pirke, KM, Platte, P, Selberg, O y Steiniger, J. World Health Organization equations have shortcomings for predicting resting energy expenditure in persons from a modern, affluent population: Generation of a new reference standard from a retrospective analysis of a German database of resting energy expenditure. *Am J Clin Nutr* 80:1379-1390, 2004.
84. Murphy, CH, Hector, AJ y Phillips, SM. Considerations for protein intake in managing weight loss in athletes. *Eur J Sport Sci* 15:1-8, 2014.
85. Murray, R, Paul, GL, Seifert, JG y Eddy, DE. Responses to varying rates of carbohydrate ingestion during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 23:713-718, 1991.
86. National Heart, Lunga y Blood Institute. Clinical guidelines on the identification, evaluation, and treatment of overweight and obesity in adults. The evidence report. *Obes Res* 6:464, 1998.
87. National Institute of Mental Health. What are eating disorders? www.nimh.nih.gov/health/publications/eating-disorders-new-trifold/index.shtml, 2014.
88. Nelson, KM, Weinsier, RL, Long, CL y Schutz, Y. Prediction of resting energy expenditure from fat-free mass and fat mass. *Am J Clin Nutr* 56:848-856, 1992.
89. Nicholas, CW, Green, PA, Hawkins, RD y Williams, C. Carbohydrate intake and recovery of intermittent running capacity. *Int J Sport Nutr* 7:251-260, 1997.
90. Nieman, DC. Influence of carbohydrate on the immune response to intensive, prolonged exercise. *Exerc Immunol Rev* 4:64-76, 1998.
91. Norton, LE, Layman, DK, Bunpo, P, Anthony, TG, Brana, DV y Garlick, PJ. The leucine content of a complete meal directs peak activation but not duration of skeletal muscle protein synthesis and mammalian target of rapamycin signaling in rats. *J Nutr* 139:1103 -1109, 2009.
92. Ogden, CL, Carroll, MD, Kit, BK y Flegal, KM. Prevalence of childhood and adult obesity in the United States, 2011-2012. *JAMA* 311:806-814, 2014.
93. Okano, G, Takeda, H, Morita, I, Katoh, M, Mu, Z y Miyake, S. Effect of pre-exercise fructose ingestion on endurance performance in fed men. *Med Sci Sports Exerc* 20:105-109, 1988.
94. Oosthuyse, T y Bosch, AN. The effect of the menstrual cycle on exercise metabolism: Implications for exercise performance in eumenorrhoeic women. *Sports Med* 40:207-227, 2010.
95. Ormsbee, MJ, Bach, CW y Baur, DA. Pre-exercise nutrition: The role of macronutrients, modified starches and supplements on metabolism and endurance performance. *Nutrients* 6:1782-1808, 2014.
96. Ostojic, SM y Mazic, S. Effects of a carbohydrate-electrolyte drink on specific soccer tests and performance. *J Sports Sci Med* 1:47-53, 2002.
97. Paddon-Jones, D, Sheffield-Moore, M, Zhang, XJ, Volpi, E, Wolf, SE, Aarsland, A, Ferrando, AA y Wolfe, RR. Amino acid ingestion improves muscle protein synthesis in the young and elderly. *Am J Physiol* 286:E321-E328, 2004.
98. Parkin, JA, Carey, MF, Martin, IK, Stojanovska, L y Febbraio, MA. Muscle glycogen storage following prolonged exercise: Effect of timing of ingestion of high glycemic index food. *Med Sci Sports Exerc* 29:220-224, 1997.
99. Pascoe, DD, Costill, DL, Fink, WJ, Robergs, RA y Zachwieja, JJ. Glycogen resynthesis in skeletal muscle following resistive exercise. *Med Sci Sports Exerc* 25:349-354, 1993.
100. Paul, D, Jacobs, KA, Geor, RJ y Hinchcliff, KW. No effect of pre-exercise meal on substrate

metabolism and time trial performance during intense endurance exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 13:489-503, 2003.
101. Perez-Schindler, J, Hamilton, DL, Moore, DR, Baar, K y Philp, A. Nutritional strategies to support concurrent training. *Eur J Sport Sci*, 2014.
102. Pettersson, S, Ekstrom, MP y Berg, CM. Practices of weight regulation among elite athletes in combat sports: A matter of mental advantage? *J Athl Train* 48:99-108, 2013.
103. Phillips, SM. A brief review of critical processes in exercise-induced muscular hypertrophy. *Sports Med* 44 (Suppl):S71-S77, 2014.
104. Phillips, SM, Tipton, KD, Aarsland, A, Wolf, SE y Wolfe, RR. Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. *Am J Physiol* 273:E99-E107, 1997.
105. Pizza, FX, Flynn, MG, Duscha, BD, Holden, J y Kubitz, ER. A carbohydrate loading regimen improves high intensity, short duration exercise performance. *Int J Sport Nutr* 5:110-116, 1995.
106. Rankin, JW. Weight loss and gain in athletes. *Curr Sports Med Rep* 1:208-213, 2002.
107. Ravussin, E, Burnand, B, Schutz, Y y Jequier, E. Twenty-fourhour energy expenditure and resting metabolic rate in obese, moderately obese, and control subjects. *Am J Clin Nutr* 35:566-573, 1982.
108. Ravussin, E, Lillioja, S, Anderson, TE, Christin, L y Bogardus, C. Determinants of 24-hour energy expenditure in man. Methods and results using a respiratory chamber. *J Clin Invest* 78:1568-1578, 1986.
109. Rico-Sanz, J, Zehnder, M, Buchli, R, Dambach, M y Boutellier, U. Muscle glycogen degradation during simulation of a fatiguing soccer match in elite soccer players examined noninvasively by 13C-MRS. *Med Sci Sports Exerc* 31:1587-1593, 1999.
110. Rowlands, DS, Nelson, AR, Phillips, SM, Faulkner, JA, Clarke, J, Burd, NA, Moore, D y Stellingwerff, T. Protein-leucine fed dose effects on muscle protein synthesis after endurance exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 2014.
111. Saunders, MJ, Luden, ND y Herrick, JE. Consumption of an oral carbohydrate-protein gel improves cycling endurance and prevents postexercise muscle damage. *J Strength Cond Res* 21:678-684, 2007.
112. Sawka, MN, Burke, LM, Eichner, ER, Maughan, RJ, Montain, SJ y Stachenfeld, NS. American College of Sports Medicine position stand: Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc* 39:377 -390, 2007.
113. Schabort, EJ, Bosch, AN, Weltan, SM y Noakes, TD. The effect of a preexercise meal on time to fatigue during prolonged cycling exercise. *Med Sci Sports Exerc* 31:464-471, 1999.
114. Schoeller, DA. Limitations in the assessment of dietary energy intake by self-report. *Metabolism* 44:18-22, 1995.
115. Schoenfeld, BJ, Aragon, AA y Krieger, JW. The effect of protein timing on muscle strength and hypertrophy: A meta-analysis. *J Int Soc Sports Nutr* 10:53, 2013.
116. Shepherd, SJ y Gibson, PR. Fructose malabsorption and symptoms of irritable bowel syndrome: Guidelines for effective dietary management. *J Am Diet Assoc* 106:1631-1639, 2006.
117. Sherman, WM, Costill, DL, Fink, WJ, Hagerman, FC, Armstrong, LE y Murray, TF. Effect of a 42.2-km footrace and subsequent rest or exercise on muscle glycogen and enzymes. *J Appl Physiol* 55:1219-1224, 1983.
118. Shirreffs, SM y Maughan, RJ. Volume repletion after exercise-induced volume depletion in humans: Replacement of water and sodium losses. *Am J Physiol* 274:F868-F875, 1998.
119. Skoog, SM y Bharucha, AE. Dietary fructose and gastrointestinal symptoms: A review. *Am J Gastroenterol* 99:2046-2050, 2004.
120. Stearns, RL, Emmanuel, H, Volek, JS y Casa, DJ. Effects of ingesting protein in combination with carbohydrate during exercise on endurance performance: A systematic review with meta-analysis. *J Strength Cond Res* 24:2192-2202, 2010.
121. Sundgot-Borgen, J y Torstveit, MK. Prevalence of eating disorders in elite athletes is higher than

in the general population. *Clin J Sport Med* 14:25-32, 2004.
122. Tarnopolsky, M, Bosman, M, Macdonald, J, Vandeputte, D, Martin, J y Roy, B. Postexercise protein-carbohydrate and carbohydrate supplements increase muscle glycogen in men and women. *J Appl Physiol* 83:1877-1883, 1997.
123. Tarnopolsky, MA, Atkinson, SA, Phillips, SM y MacDougall, JD. Carbohydrate loading and metabolism during exercise in men and women. *J Appl Physiol* 78:1360-1368, 1995.
124. Tarnopolsky, MA, Gibala, M, Jeukendrup, AE y Phillips, SM. Nutritional needs of elite endurance athletes. Part I: Carbohydrate and fluid requirements. *Eur J Sport Sci* 5:3-14, 2005.
125. Tarnopolsky, MA, Zawada, C, Richmond, LB, Carter, S, Shearer, J, Graham, T y Phillips, SM. Gender differences in carbohydrate loading are related to energy intake. *J Appl Physiol* 91:225-230, 2001.
126. Thompson, J y Manore, MM. Predicted and measured resting metabolic rate of male and female endurance athletes. *J Am Diet Assoc* 96:30-34, 1996.
127. Tipton, KD, Ferrando, AA, Phillips, SM, Doyle, D, Jr. y Wolfe, RR. Postexercise net protein synthesis in human muscle from orally administered amino acids. *Am J Physiol* 276:E628-E634, 1999.
128. Triplett, D, Doyle, JA, Rupp, JC y Benardot, D. An isocaloric glucose-fructose beverage's effect on simulated 100-km cycling performance compared with a glucose-only beverage. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 20:122-131, 2010.
129. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. *National Nutrient Database for Standard Reference, Release 26*, 2013. http://ndb.nal.usda.gov/ndb/search.
130. U.S. Department of Agriculture, Human Nutrition Information Service. *Report of the Dietary Guidelines Advisory Committee on the Dietary Guidelines for Americans, 2010*. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, 40-41, 2010.
131. U.S. Food and Drug Administration. Part 180—Food additives permitted in food or in contact with food on an interim basis pend ing additional study. Subpart B—Specific requreiments for certain food additives. www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=180.30, 2014.
132. Vergauwen, L, Brouns, F y Hespel, P. Carbohydrate supplementation improves stroke performance in tennis. *Med Sci Sports Exerc* 30:1289-1295, 1998.
133. Walker, JL, Heigenhauser, GJ, Hultman, E y Spriet, LL. Dietary carbohydrate, muscle glycogen content, and endurance performance in well-trained women. *J Appl Physiol* 88:2151-2158, 2000.
134. Warhol, MJ, Siegel, AJ, Evans, WJ y Silverman, LM. Skeletal muscle injury and repair in marathon runners after competition. *Am J Pathol* 118:331-339, 1985.
135. Weinheimer, EM, Sands, LP y Campbell, WW. A systematic review of the separate and combined effects of energy restriction and exercise on fat-free mass in middle-aged and older adults: Implications for sarcopenic obesity. *Nutr Rev* 68:375-388, 2010.
136. Welsh, RS, Davis, JM, Burke, JR y Williams, HG. Carbohydrates and physical/mental performance during intermittent exercise to fatigue. *Med Sci Sports Exerc* 34:723-731, 2002.
137. Widrick, JJ, Costill, DL, Fink, WJ, Hickey, MS, McConell, GK y Tanaka, H. Carbohydrate feedings and exercise performance: Effect of initial muscle glycogen concentration. *J Appl Physiol* 74:2998 -3005, 1993.
138. Wilk, B y Bar-Or, O. Effect of drink flavor and NaCl on voluntary drinking and hydration in boys exercising in the heat. *J Appl Physiol* 80:1112-1117, 1996.
139. Williams, C, Brewer, J y Walker, M. The effect of a high carbohydrate diet on running performance during a 30-km treadmill time trial. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 65:18-24, 1992.
140. Wilson, JM, Marin, PJ, Rhea, MR, Wilson, SM, Loenneke, JP y Anderson, JC. Concurrent training: A meta-analysis examining interference of aerobic and resistance exercises. *J Strength Cond Res* 26:2293-2307, 2012.

141. Yamada, Y, Uchida, J, Izumi, H, Tsukamoto, Y, Inoue, G, Watanabe, Y, Irie, J y Yamada, S. A non-calorie-restricted low-carbohydrate diet is effective as an alternative therapy for patients with type 2 diabetes. *Int Med* 53:13-19, 2014.
142. Zeederberg, C, Leach, L, Lambert, EV, Noakes, TD, Dennis, SC y Hawley, JA. The effect of carbohydrate ingestion on the motor skill proficiency of soccer players. *Int J Sport Nutr* 6:348-355, 1996.
143. Zucker, NL, Womble, LG, Milliamson, DA y Perrin, LA. Protective factors for eating disorders in female college athletes. *Eat Disord* 7:207-218, 2007.

CAPÍTULO 11 Métodos y sustancias para mejorar el rendimiento

1. Abrahamsen, B, Nielsen, TL, Hangaard, J, Gregersen, G, Vahl, N, Korsholm, L, Hansen, TB, Andersen, M y Hagen, C. Dose, IGF-I and sex-dependent changes in lipid profile and body composition during GH replacement therapy in adult onset GH deficiency. *Eur* J *Endocrinol* 150:671-679, 2004.
2. Alen, M y Hakkinen, K. Physical health and fitness of an elite bodybuilder during 1 year of self-administration of testosterone and anabolic steroids: A case study. *Int J Sports Med* 6:24-29, 1985.
3. Alen, M, Hakkinen, K y Komi, PV. Changes in neuromuscular performance and muscle fiber characteristics of elite power athletes self-administering androgenic and anabolic steroids. *Acta Physiol Scand* 122:535-544, 1984.
4. Alford, C, Cox, H y Wescott, R. The effects of red bull energy drink on human performance and mood. *Amino Acids* 21:139-150, 2001.
5. Alvares, TS, Conte-Junior, CA, Silva, JT y Paschoalin, VM. Acute L-arginine supplementation does not increase nitric oxide production in healthy subjects. *Nutr Metab* 9:54, 2012.
6. Anderson, RL, Wilmore, JH, Joyner, MJ, Freund, BJ, Hartzell, AA, Todd, CA y Ewy, GA. Effects of cardioselective and nonselective beta-adrenergic blockade on the performance of highly trained runners. *Am J Cardiol* 55:149D-154D, 1985.
7. Antal, LC y Good, CS. Effects of oxprenolol on pistol shooting under stress. *Practitioner* 224:755-760, 1980.
8. Arenas, J, Ricoy, JR, Encinas, AR, Pola, P, D'Iddio, S, Zeviani, M, Didonato, S y Corsi, M. Carnitine in muscle, serum, and urine of nonprofessional athletes: Effects of physical exercise, training, and L-carnitine administration. *Muscle Nerve* 14:598-604, 1991.
9. Artioli, GG, Gualano, B, Smith, A, Stout, J, and Lancha, AH, Jr. Role of beta-alanine supplementation on muscle carnosine and exercise performance. *Med Sci Sports Exerc* 42:1162-1173, 2010.
10. Aschenbach, W, Ocel, J, Craft, L, Ward, C, Spangenburg, E y Williams, J. Effect of oral sodium loading on high-intensity arm ergometry in college wrestlers. *Med Sci Sports Exerc* 32:669-675, 2000.
11. Astorino, TA, Matera, AJ, Basinger, J, Evans, M, Schurman, T y Marquez, R. Effects of red bull energy drink on repeated sprint performance in women athletes. *Amino Acids* 42:1803-1808, 2012.
12. Astrup, A, Breum, L, Toubro, S, Hein, P y Quaade, F. The effect and safety of an ephedrine/caffeine compound compared to ephedrine, caffeine and placebo in obese subjects on an energy restricted diet. A double blind trial. *Int J Obes Relat Metab Disord* 16:269-277, 1992.
13. Bacurau, RF, Navarro, F, Bassit, RA, Meneguello, MO, Santos, RV, Almeida, AL y Costa Rosa, LF. Does exercise training interfere with the effects of L-carnitine supplementation? *Nutrition* 19:337 -341, 2003.

14. Bahrke, MS y Yesalis, CE. Abuse of anabolic androgenic steroids and related substances in sport and exercise. *Curr Opin Pharmacol* 4:614-620, 2004.
15. Ball, D y Maughan, RJ. The effect of sodium citrate ingestion on the metabolic response to intense exercise following diet manipulation in man. *Exp Physiol* 82:1041-1056, 1997.
16. Barnett, C, Costill, DL, Vukovich, MD, Cole, KJ, Goodpaster, BH, Trappe, SW y Fink, WJ. Effect of L-carnitine supplementation on muscle and blood carnitine content and lactate accumulation during high-intensity sprint cycling. *Int J Sport Nutr* 4:280-288, 1994.
17. Baumann, GP. Growth hormone doping in sports: A critical review of use and detection strategies. *Endocrinol Rev* 33:155-186, 2012.
18. Behre, H y Nieschlag, E. Testosterone buciclate (20 Aet-1) in hypogonadal men: Pharmacokinetics and pharmacodynamics of the new long-acting androgen ester. *J Clin Endocrinol Metab* 75:1204 -1210, 1992.
19. Bell, DG y Jacobs, I. Combined caffeine and ephedrine ingestion improves run times of Canadian forces warrior test. *Aviat Space Environ Med* 70:325-329, 1999.
20. Bell, DG, Jacobs, I, McLellan, TM y Zamecnik, J. Reducing the dose of combined caffeine and ephedrine preserves the ergogenic effect. *Aviat Space Environ Med* 71:415-419, 2000.
21. Bell, DG, Jacobs, I y Zamecnik, J. Effects of caffeine, ephedrine and their combination on time to exhaustion during high-intensity exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 77:427-433, 1998.
22. Bell, GJ y Wenger, HA. The effect of one-legged sprint training on intramuscular pH and nonbicarbonate buffering capacity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 58:158-164, 1988.
23. Bemben, MG, Bemben, DA, Loftiss, DD y Knehans, AW. Creatine supplementation during resistance training in college football athletes. *Med Sci Sports Exerc* 33:1667-1673, 2001.
24. Bergen, WG y Merkel, RA. Body composition of animals treated with partitioning agents: Implications for human health. *FASEB J* 5:2951-2957, 1991.
25. Berglund, B y Ekblom, B. Effect of recombinant human erythropoietin treatment on blood pressure and some haematological parameters in healthy men. *J Intern Med* 229:125-130, 1991.
26. Berning, JM, Adams, KJ y Stamford, BA. Anabolic steroid usage in athletics: Facts, fiction y public relations. *J Strength Cond Res* 18:908-917, 2004.
27. Bhasin, S, Storer, TW, Berman, N, Callegari, C, Clevenger, B, Phillips, J, Bunnell, TJ, Tricker, R, Shirazi, A y Casaburi, R. The effects of supraphysiologic doses of testosterone on muscle size and strength in normal men. *New Engl J Med* 335:1-7, 1996.
28. Bishop, D, Edge, J, Davis, C y Goodman, C. Induced metabolic alkalosis affects muscle metabolism and repeated-sprint ability. *Med Sci Sports Exerc* 36:807-813, 2004.
29. Bishop, D, Lawrence, S y Spencer, M. Predictors of repeated-sprint ability in elite female hockey players. *J Sci Med Sport* 6:199-209, 2003.
30. Bode-Böger, SM, Boger, RH, Schroder, EP y Frolich, JC. Exercise increases systemic nitric oxide production in men. *J Cardiovasc Risk* 1:173-178, 1994.
31. Bogdanis, GC, Nevill, ME, Boobis, LH y Lakomy, HK. Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *J Appl Physiol* 80:876-884, 1996.
32. Borsheim, E, Cree, MG, Tipton, KD, Elliott, TA, Aarsland, A y Wolfe, RR. Effect of carbohydrate intake on net muscle protein synthesis during recovery from resistance exercise. *J Appl Physiol* 96:674-678, 2004.
33. Brandsch, C y Eder, K. Effect of L-carnitine on weight loss and body composition of rats fed a hypocaloric diet. *Ann Nutr Metab* 46:205-210, 2002.
34. Broeder, CE, Quindry, J, Brittingham, K, Panton, L, Thomson, J, Appakondu, S, Breuel, K, Byrd, R, Douglas, J, Earnest, C, Mitchell, C, Olson, M, Roy, T y Yarlagadda, C. The Andro Project: Physiological and hormonal influences of androstenedione supplementation in men 35 to 65 years old participating in a high-intensity resistance training program. *Arch Intern Med* 160:3093-3104, 2000.

35. Brown, CM, McGrath, JC, Midgley, JM, Muir, AG, O'Brien, JW, Thonoor, CM, Williams, CM y Wilson, VG. Activities of octopamine and synephrine stereoisomers on alpha-adrenoceptors. *Br J Pharmacol* 93:417-429, 1988.
36. Brown, GA, Vukovich, M y King, DS. Testosterone prohormone supplements. *Med Sci Sports Exerc* 38:1451-1461, 2006.
37. Brown, GA, Vukovich, MD, Sharp, RL, Reifenrath, TA, Parsons, KA y King, DS. Effect of oral DHEA on serum testosterone and adaptations to resistance training in young men. *J Appl Physiol* 87:2274-2283, 1999.
38. Bruce, CR, Anderson, ME, Fraser, SF, Stepto, NK, Klein, R, Hopkins, WG y Hawley, JA. Enhancement of2000-m rowing performance after caffeine ingestion. *Med Sci Sports Exerc* 32:1958-1963, 2000.
39. Buckley, WE, Yesalis, CE, Friedl, KE, Anderson, WA, Streit, AL y Wright, JE. Estimated prevalence of anabolic steroid use among male high school seniors. *JAMA* 260:3441-3445, 1988.
40. Buford, TW, Kreider, RB, Stout, JR, Greenwood, M, Campbell, B, Spano, M, Ziegenfuss, T, Lopez, H, Landis, J y Antonio, J. International Society of Sports Nutrition position stand: Creatine supplementation and exercise. *J Int Soc Sports Nutr* 4:6, 2007.
41. Cafri, G, Thompson, JK, Ricciardelli, L, McCabe, M, Smolak, L y Yesalis, C. Pursuit of the muscular ideal: Physical and psychological consequences and putative risk factors. *Clin Psychol Rev* 25:215-239, 2005.
42. Campbell, B. Dietary protein strategies for performance enhancement. En: *Sports Nutrition: Enhancing Athletic Performance*. Campbell, B, ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 163-164, 2014.
43. Campbell, B, Wilborn, C, La Bounty, P, Taylor, L, Nelson, MT, Greenwood, M, Ziegenfuss, TN, Lopez, HL, Hoffman, JR, Stout, JR, Schmitz, S, Collins, R, Kalman, DS, Antonio, J y Kreider, RB. International Society of Sports Nutrition position stand: Energy drinks. *J Int Soc Sports Nutr* 10:1, 2013.
44. Candow, DG, Kleisinger, AK, Grenier, S y Dorsch, KD. Effect of sugar-free Red Bull energy drink on high-intensity run time-to-exhaustion in young adults. *J Strength Cond Res* 23:1271-1275, 2009.
45. Carpene, C, Galitzky, J, Fontana, E, Atgie, C, Lafontan, M y Berlan, M. Selective activation of beta3-adrenoreceptors by octopamine: Comparative studies in mammalian fat cells. *Naunyn Schmiedebergs Arch Pharmacol* 359:310-321, 1999.
46. Casal, DC y Leon, AS. Failure of caffeine to affect substrate utilization during prolonged running. *Med Sci Sports Exerc* 17:174-179, 1985.
47. Cazzola, M. A global strategy for prevention and detection of blood doping with erythropoietin and related drugs. *Haematologica* 85:561-563, 2000.
48. Cheetham, ME, Boobis, LH, Brooks, S y Williams, C. Human muscle metabolism during sprint running. *J Appl Physiol* 61:54-60, 1986.
49. Choong, K, Lakshman, KM y Bhasin, S. The physiological and pharmacological basis for the ergogenic effects of androgens in elite sports. *Asian J Androl* 10:351-363, 2008.
50. Cohen, PA, Travis, JC y Venhuis, BJ. A synthetic stimulant never tested in humans, 1,3-dimethylbutylamine (DMBA), is identified in multiple dietary supplements. *Drug Test Anal*, 2014.
51. Collier, SR, Casey, DP y Kanaley, JA. Growth hormone responses to varying doses of oral arginine. *Growth Horm IGF Res* 15:136-139, 2005.
52. Collomp, K, Ahmaidi, S, Audran, M, Chanal, JL y Prefaut, C. Effects of caffeine ingestion on performance and anaerobic metabolism during the Wingate test. *Int J Sports Med* 12:439-443, 1991.
53. Collomp, K, Ahmaidi, S, Chatard, JC, Audran, M y Prefaut, C. Benefits of caffeine ingestion on sprint performance in trained and untrained swimmers. *Eur J Appl Physiol* 64:377-380, 1992.
54. Cooke, RR, McIntosh, RP, McIntosh, JG y Delahunt, JW. Serum forms of testosterone in men

after an hCG stimulation: Relative increase in non-protein bound forms. *Clin Endocrinol* 32:165-175, 1990.
55. Coombes, J y McNaughton, L. Effects of bicarbonate ingestion on leg strength and power during isokinetic knee flexion and extension. *J Strength Cond Res* 7:241-249, 1993.
56. Costill, DL, Dalsky, GP y Fink, WJ. Effects of caffeine ingestion on metabolism and exercise performance. *Med Sci Sports* 10:155-158, 1978.
57. Cox, G y Jenkins, DG. The physiological and ventilatory responses to repeated 60 s sprints following sodium citrate ingestion. *J Sports Sci* 12:469-475, 1994.
58. Crist, DM, Peake, GT, Loftfield, RB, Kraner, JC y Egan, PA. Supplemental growth hormone alters body composition, muscle protein metabolism and serum lipids in fit adults: Characterization of dose-dependent and response-recovery effects. *Mech Ageing Dev* 58:191-205, 1991.
59. Curry, LA y Wagman, DF. Qualitative description of the prevalence and use of anabolic androgenic steroids by United States powerlifters. *Percept Mot Skills* 88:224-233, 1999.
60. Dalbo, VJ, Roberts, MD, Stout, JR y Kerksick, CM. Putting to rest the myth of creatine supplementation leading to muscle cramps and dehydration. *Br J Sports Med* 42:567-573, 2008.
61. David, KG, Dingemanse, E, Freud, J, Laqueur, E. Uber krystallinisches mannliches Hormon aus Hoden (Testosteron) wirksamer als aus ham oder aus Cholesterin bereitetes Androsteron [On crystalline male hormone from testicles (testosterone) effective as from urine or from cholesterol]. *Hoppe Seylers Z Physiol Chem* 233:281, 1935.
62. Dawson, B, Cutler, M, Moody, A, Lawrence, S, Goodman, C y Randall, N. Effects of oral creatine loading on single and repeated maximal short sprints. *Aust J Sci Med Sport* 27:56-61, 1995.
63. Del Coso, J, Salinero, JJ, Gonzalez-Millan, C, Abian-Vicen, J y Perez-Gonzalez, B. Dose response effects of a caffeine-containing energy drink on muscle performance: A repeated measures design. *J Int Soc Sports Nutr* 9:21, 2012.
64. Deutz, NE, Pereira, SL, Hays, NP, Oliver, JS, Edens, NK, Evans, CM y Wolfe, RR. Effect of p-hydroxy-p-methylbutyrate (HMB) on lean body mass during 10 days of bed rest in older adults. *Clin Nutr* 32:704-712, 2013.
65. Dickman, S. East Germany: Science in the disservice of the state. *Science* 254:26-27, 1991.
66. Dodge, T y Hoagland, MF. The use of anabolic androgenic steroids and polypharmacy: A review of the literature. *Drug Alcohol Depend* 114:100-109, 2011.
67. Duncan, MJ y Oxford, SW. The effect of caffeine ingestion on mood state and bench press performance to failure. *J Strength Cond Res* 25:178-185, 2011.
68. Dunnett, M y Harris, RC. Influence of oral beta-alanine and L-histidine supplementation on the carnosine content of the gluteus medius. *Equine Vet J* (Suppl) 30:499-504, 1999.
69. Dvorak, J, Baume, N, Botre, F, Broseus, J, Budgett, R, Frey, WO, Geyer, H, Harcourt, PR, Ho, D, Howman, D, Isola, V, Lundby, C, Marclay, F, Peytavin, A, Pipe, A, Pitsiladis, YP, Reichel, C, Robinson, N, Rodchenkov, G, Saugy, M, Sayegh, S, Segura, J, Thevis, M, Vernec, A, Viret, M, Vouillamoz, M y Zorzoli, M. Time for change: A roadmap to guide the implementation of the World Anti-Doping Code 2015. *Br J Sports Med* 48:801-806, 2014.
70. Edge, J, Bishop, D y Goodman, C. The effects of training intensity on muscle buffer capacity in females. *Eur J Appl Physiol* 96:97-105, 2006.
71. Edge, J, Bishop, D, Goodman, C y Dawson, B. Effects of highand moderate-intensity training on metabolism and repeated sprints. *Med Sci Sports Exerc* 37:1975-1982, 2005.
72. Eichner, ER. Blood doping: Infusions, erythropoietin and artificial blood. *Sports Med* 37:389-391, 2007.
73. Ekblom, B y Berglund, B. Effect of erythropoietin administration on mammal aerobic power. *Scand J Med Sci Sports* 1:88-93, 1991.
74. Eley, HL, Russell, ST, Baxter, JH, Mukerji, P y Tisdale, MJ. Signaling pathways initiated by

beta-hydroxy-beta-methylbutyrate to attenuate the depression of protein synthesis in skeletal muscle in response to cachectic stimuli. *Am J Physiol* 293:E923-E931, 2007.
75. Fahey, TD y Brown, CH. The effects of an anabolic steroid on the strength, body composition, and endurance of college males when accompanied by a weight training program. *Med Sci Sports* 5:272-276, 1973.
76. Fahs, CA, Heffernan, KS y Fernhall, B. Hemodynamic and vascular response to resistance exercise with L-arginine. *Med Sci Sports Exerc* 41:773-779, 2009.
77. Fayh, AP, Krause, M, Rodrigues-Krause, J, Ribeiro, JL, Ribeiro, JP, Friedman, R, Moreira, JC y Reischak-Oliveira, A. Effects of L-arginine supplementation on blood flow, oxidative stress status and exercise responses in young adults with uncomplicated type I diabetes. *Eur J Nutr* 52:975-983, 2013.
78. Febbraio, MA, Flanagan, TR, Snow, RJ, Zhao, S y Carey, MF. Effect of creatine supplementation on intramuscular TCr, metabolism and performance during intermittent, supramaximal exercise in humans. *Acta Physiol Scand* 155:387-395, 1995.
79. Finkelstein, BS, Imperiale, TF, Speroff, T, Marrero, U, Radcliffe, DJ y Cuttler, L. Effect of growth hormone therapy on height in children with idiopathic short stature: A meta-analysis. *Arch Pediatr Adolesc Med* 156:230-240, 2002.
80. Fong, Y, Rosenbaum, M, Tracey, KJ, Raman, G, Hesse, DG, Matthews, DE, Leibel, RL, Gertner, JM, Fischman, DA y Lowry, SF. Recombinant growth hormone enhances muscle myosin heavy-chain mRNA accumulation and amino acid accrual in humans. *Proc Natl Acad Sci USA* 86:3371-3374, 1989.
81. Forbes, G. The effect of anabolic steroids on lean body mass: The dose response curve. *Metabolism* 34:571-573, 1985.
82. Forbes, GB, Porta, CR, Herr, BE y Griggs, RC. Sequence of changes in body composition induced by testosterone and reversal of changes after drug is stopped. *JAMA* 267:397-399, 1992.
83. Forbes, SC, Candow, DG, Little, JP, Magnus, C y Chilibeck, PD. Effect of Red Bull energy drink on repeated Wingate cycle performance and bench-press muscle endurance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 17:433-444, 2007.
84. Foster, ZJ y Housner, JA. Anabolic-androgenic steroids and testosterone precursors: Ergogenic aids and sport. *Curr Sports Med Rep* 3:234-241, 2004.
85. Fowler, WM, Jr., Gardner, GW y Egstrom, GH. Effect of an anabolic steroid on physical performance of young men. *J Appl Physiol* 20:1038-1040, 1965.
86. Franke, WW y Berendonk, B. Hormonal doping and androgenization of athletes: A secret program of the German Democratic Republic government. *Clin Chem* 43:1262-1279, 1997.
87. Frankos, VH, Street, DA y O'Neill, RK. FDA regulation of dietary supplements and requirements regarding adverse event reporting. *Clin Pharmacol Ther* 87:239-244, 2010.
88. Friedl, K, Dettori, J, Hannan, C, Jr., Patience, T y Plymate, S. Comparison of the effects of high dose testosterone and 19-nortestosterone to a replacement dose of testosterone on strength and body composition in normal men. *J Steroid Biochem* 40:607-612, 1991.
89. Frishman, WH. Beta-adrenergic receptor blockers. Adverse effects and drug interactions. *Hypertension* 11:1121-1129, 1988.
90. Froiland, K, Koszewski, W, Hingst, J y Kopecky, L. Nutritional supplement use among college athletes and their sources of information. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 14:104-120, 2004.
91. Fudala, PJ, Weinrieb, RM, Calarco, JS, Kampman, KM y Boardman, C. An evaluation of anabolic-androgenic steroid abusers over a period of 1 year: Seven case studies. *Ann Clin Psychiatry* 15:121-130, 2003.
92. Fugh-Berman, A y Myers, A. Citrus aurantium, an ingredient of dietary supplements marketed for weight loss: Current status of clinical and basic research. *Exp Biol Med* 229:698-704, 2004.
93. Gaitanos, GC, Williams, C, Boobis, LH y Brooks, S. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J Appl Physiol* 75:712-719, 1993.

94. Gallagher, PM, Carrithers, JA, Godard, MP, Schulze, KE y Trappe, SW. Beta-hydroxy-beta-methylbutyrate ingestion, part I: Effects on strength and fat free mass. *Med Sci Sports Exerc* 32:2109-2115, 2000.
95. Gareau, R, Audran, M, Baynes, RD, Flowers, CH, Duvallet, A, Senecal, L y Brisson, GR. Erythropoietin abuse in athletes. *Nature* 380:113, 1996.
96. Garlick, PJ y Grant, I. Amino acid infusion increases the sensitivity of muscle protein synthesis in vivo to insulin. Effect of branched-chain amino acids. *Biochem J* 254:579-584, 1988.
97. Giamberardino, MA, Dragani, L, Valente, R, Di Lisa, F, Saggini, R y Vecchiet, L. Effects of prolonged L-carnitine administration on delayed muscle pain and CK release after eccentric effort. *Int J Sports Med* 17:320-324, 1996.
98. Goldstein, ER, Ziegenfuss, T, Kalman, D, Kreider, R, Campbell, B, Wilborn, C, Taylor, L, Willoughby, D, Stout, J, Graves, BS, Wildman, R, Ivy, JL, Spano, M, Smith, AE y Antonio, J. International Society of Sports Nutrition position stand: Caffeine and performance. *J Int Soc Sports Nutr* 7:5, 2010.
99. Goodbar, NH, Foushee, JA, Eagerton, DH, Haynes, KB y Johnson, AA. Effect of the human chorionic gonadotropin diet on patient outcomes. *Ann Pharmacother* 47:e23, 2013.
100. Gonzalez, AM, Walsh, AL, Ratamess, NA, Kang, J y Hoffman, JR. Effect of a pre-workout energy supplement on acute multi-joint resistance exercise. *J Sports Sci Med* 10:261-266, 2011.
101. Graham, TE, Hibbert, E y Sathasivam, P. Metabolic and exercise endurance effects of coffee and caffeine ingestion. *J Appl Physiol* 85:883-889, 1998.
102. Greenhaff, PL. Creatine and its application as an ergogenic aid. *Int J Sport Nutr* 5 (Suppl):S100-S110, 1995.
103. Greenwood, M, Kreider, RB, Melton, C, Rasmussen, C, Lancaster, S, Cantler, E, Milnor, P y Almada, A. Creatine supplementation during college football training does not increase the incidence of cramping or injury. *Mol Cell Biochem* 244:83-88, 2003.
104. Greer, BK y Jones, BT. Acute arginine supplementation fails to improve muscle endurance or affect blood pressure responses to resistance training. *J Strength Cond Res* 25:1789-1794, 2011.
105. Greer, F, McLean, C y Graham, TE. Caffeine, performance, and metabolism during repeated Wingate exercise tests. *J Appl Physiol* 85:1502-1508, 1998.
106. Griggs, RC, Kingston, W, Jozefowicz, RF, Herr, BE, Forbes, G y Halliday, D. Effect of testosterone on muscle mass and muscle protein synthesis. *J Appl Physiol* 66:498-503, 1989.
107. Haaz, S, Fontaine, KR, Cutter, G, Limdi, N, Perumean-Chaney, S y Allison, DB. Citrus aurantium and synephrine alkaloids in the treatment of overweight and obesity: An update. *Obes Rev* 7:79-88, 2006.
108. Haff, GG, Kirksey, KB, Stone, MH, Warren, BJ, Johnson, RL, Stone, M, O'Bryant, H y Proulx, C. The effect of 6 weeks of creatine monohydrate supplementation on dynamic rate of force development. *J Strength Cond Res* 14:426-433, 2000.
109. Haller, CA, Benowitz, NL y Jacob, P. Hemodynamic effects of ephedra-free weight-loss supplements in humans. *Am J Med* 118:998 -1003, 2005.
110. Harris, RC, Tallon, MJ, Dunnett, M, Boobis, L, Coakley, J, Kim, HJ, Fallowfield, JL, Hill, CA, Sale, C y Wise, JA. The absorption of orally supplied beta-alanine and its effect on muscle carnosine synthesis in human vastus lateralis. *Amino Acids* 30:279-289, 2006.
111. Hartgens, F, Van Marken Lichtenbelt, WD, Ebbing, S, Vollaard, N, Rietjens, G y Kuipers, H. Body composition and anthropometry in bodybuilders: Regional changes due to nandrolone decanoate administration. *Int J Sports Med* 22:235-241, 2001.
112. Hausswirth, C, Bigard, AX, Lepers, R, Berthelot, M y Guezennec, CY. Sodium citrate ingestion and muscle performance in acute hypobaric hypoxia. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 71:362-368, 1995.
113. Hervey, GR, Knibbs, AV, Burkinshaw, L, Morgan, DB, Jones, PR, Chettle, DR y Vartsky, D. Effects of methandienone on the performance and body composition of men undergoing athletic

training. *Clin Sci* 60:457-461, 1981.
114. Hill, CA, Harris, RC, Kim, HJ, Harris, BD, Sale, C, Boobis, LH, Kim, CK y Wise, JA. Influence of beta-alanine supplementation on skeletal muscle carnosine concentrations and high intensity cycling capacity. *Amino Acids* 32:225-233, 2007.
115. Hirvonen, J, Nummela, A, Rusko, H, Rehunen, S y Harkonen, M. Fatigue and changes of ATP, creatine phosphate, and lactate during the 400-m sprint. *Can J Sport Sci* 17:141-144, 1992.
116. Ho, JY, Kraemer, WJ, Volek, JS, Fragala, MS, Thomas, GA, Dunn-Lewis, C, Coday, M, Hakkinen, K y Maresh, CM. l-Carnitine l-tartrate supplementation favorably affects biochemical markers of recovery from physical exertion in middle-aged men and women. *Metabolism* 59:1190-1199, 2010.
117. Hobson, RM, Harris, RC, Martin, D, Smith, P, Macklin, B, Elliott-Sale, KJ y Sale, C. Effect of sodium bicarbonate supplementation on 2000-m rowing performance. *Int J Sports Physiol Perform* 9:139144, 2014.
118. Hoffman, JR, Kang, J, Ratamess, NA, Hoffman, MW, Tranchina, CP y Faigenbaum, AD. Examination of a pre-exercise, high energy supplement on exercise performance. *J Int Soc Sports Nutr* 6:2, 2009.
119. Hoffman, JR, Kang, J, Ratamess, NA, Jennings, PF, Mangine, G y Faigenbaum, AD. Thermogenic effect from nutritionally enriched coffee consumption. *J Int Soc Sports Nutr* 3:35-41, 2006.
120. Hoffman, AR, Kuntze, JE, Baptista, J, Baum, HB, Baumann, GP, Biller, BM, Clark, RV, Cook, D, Inzucchi, SE, Kleinberg, D, Klibanski, A, Phillips, LS, Ridgway, EC, Robbins, RJ, Schlechte, J, Sharma, M, Thorner, MO y Vance, ML. Growth hormone (GH) replacement therapy in adult-onset GH deficiency: Effects on body composition in men and women in a double-blind, randomized, placebo-controlled trial. *J Clin Endocrinol Metab* 89: 2048-2056, 2004.
121. Hoffman, JR, Kraemer, WJ, Bhasin, S, Storer, T, Ratamess, NA, Haff, GG, Willoughby, DS y Rogol, AD. Position stand on androgen and human growth hormone use. *J Strength Cond Res* 23 (Suppl):S1-S59, 2009.
122. Hoffman, J, Ratamess, N, Kang, J, Mangine, G, Faigenbaum, A y Stout, J. Effect of creatine and beta-alanine supplementation on performance and endocrine responses in strength/power athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 16:430-446, 2006.
123. Hoffman, J, Ratamess, NA, Ross, R, Kang, J, Magrelli, J, Neese, K, Faigenbaum, AD y Wise, JA. Beta-alanine and the hormonal response to exercise. *Int J Sports Med* 29:952-958, 2008.
124. Holmgren, P, Norden-Pettersson, L y Ahlner, J. Caffeine fatalities—four case reports. *Forensic Sci Int* 139:71-73, 2004.
125. Horn, S, Gregory, P y Guskiewicz, KM. Self-reported anabolican-drogenic steroids use and musculoskeletal injuries: Findings from the center for the study of retired athletes health survey of retired NFL players. *Am J Phys Med Rehabil* 88:192-200, 2009.
126. Horswill, CA, Costill, DL, Fink, WJ, Flynn, MG, Kirwan, JP, Mitchell, JB y Houmard, JA. Influence of sodium bicarbonate on sprint performance: Relationship to dosage. *Med Sci Sports Exerc* 20:566-569, 1988.
127. Howland, J y Rohsenow, DJ. Risks of energy drinks mixed with alcohol. *JAMA* 309:245-246, 2013.
128. Hsu, KF, Chien, KY, Chang-Chien, GP, Lin, SF, Hsu, PH y Hsu, MC. Liquid chromatography-tandem mass spectrometry screening method for the simultaneous detection of stimulants and diuretics in urine. *J Anal Toxicol* 35:665-674, 2011.
129. Huang, A y Owen, K. Role of supplementary L-carnitine in exercise and exercise recovery. *Med Sport Sci* 59:135-142, 2012.
130. Hulsmann, WC y Dubelaar, ML. Carnitine requirement of vascular endothelial and smooth muscle cells in imminent ischemia. *Mol Cell Biochem* 116:125-129, 1992.
131. Hultman, E, Cederblad, G y Harper, P. Carnitine administration as a tool of modify energy

metabolism during exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 62:450, 1991.
132. Hultman, E, Soderlund, K, Timmons, JA, Cederblad, G y Greenhaff, PL. Muscle creatine loading in men. *J Appl Physiol* 81:232-237, 1996.
133. Irving, LM, Wall, M, Neumark-Sztainer, D y Story, M. Steroid use among adolescents: Findings from Project EAT. *J Adolesc Health* 30:243-252, 2002.
134. Ivy, JL, Kammer, L, Ding, Z, Wang, B, Bernard, JR, Liao, YH y Hwang, J. Improved cycling time-trial performance after ingestion of a caffeine energy drink. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 19:61-78, 2009.
135. Jablecka, A, Bogdanski, P, Balcer, N, Cieslewicz, A, Skoluda, A y Musialik, K. The effect of oral L-arginine supplementation on fasting glucose, HbA1c, nitric oxide and total antioxidant status in diabetic patients with atherosclerotic peripheral arterial disease of lower extremities. *Eur Rev Med Pharmacol* 16:342-350, 2012.
136. Jablecka, A, Checinski, P, Krauss, H, Micker, M y Ast, J. The influence of two different doses of L-arginine oral supplementation on nitric oxide (NO) concentration and total antioxidant status (TAS) in atherosclerotic patients. *Med Sci Monit* 10:CR29-CR32, 2004.
137. Jacobs, I, Pasternak, H y Bell, DG. Effects of ephedrine, caffeine, and their combination on muscular endurance. *Med Sci Sports Exerc* 35:987-994, 2003.
138. Kamalakkannan, G, Petrilli, CM, George, I, LaManca, J, McLaughlin, BT, Shane, E, Mancini, DM y Maybaum, S. Clenbuterol increases lean muscle mass but not endurance in patients with chronic heart failure. *J Heart Lung Transpl* 27:457-461, 2008.
139. Katsanos, CS, Kobayashi, H, Sheffield-Moore, M, Aarsland, A y Wolfe, RR. A high proportion of leucine is required for optimal stimulation of the rate of muscle protein synthesis by essential amino acids in the elderly. *Am J Physiol* 291:E381-E387, 2006.
140. Kendrick, IP, Harris, RC, Kim, HJ, Kim, CK, Dang, VH, Lam, TQ, Bui, TT, Smith, M y Wise, JA. The effects of 10 weeks of resistance training combined with beta-alanine supplementation on whole body strength, force production, muscular endurance and body composition. *Amino Acids* 34:547-554, 2008.
141. Kerksick, CM, Wilborn, CD, Campbell, B, Harvey, TM, Marcello, BM, Roberts, MD, Parker, AG, Byars, AG, Greenwood, LD, Almada, AL, Kreider, RB y Greenwood, M. The effects of creatine monohydrate supplementation with and without D-pinitol on resistance training adaptations. *J Strength Cond Res* 23:2673-2682, 2009.
142. Kerner, J y Hoppel, C. Fatty acid import into mitochondria. *Biochim Biophys Acta* 1486:1-17, 2000.
143. Kerrigan, S y Lindsey, T. Fatal caffeine overdose: Two case reports. *Forensic Sci Int* 153:67-69, 2005.
144. King, DS, Sharp, RL, Vukovich, MD, Brown, GA, Reifenrath, TA, Uhl, NL y Parsons, KA. Effect of oral androstenedione on serum testosterone and adaptations to resistance training in young men: A randomized controlled trial. *JAMA* 281:2020-2028, 1999.
145. Kinugasa, R, Akima, H, Ota, A, Ohta, A y Kuno, SY. Short-term creatine supplementation does not improve muscle activation or sprint performance in humans. *Eur J Appl Physiol* 91:230-237, 2004.
146. Knitter, AE, Panton, L, Rathmacher, JA, Petersen, A y Sharp, R. Effects of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate on muscle damage after a prolonged run. *J Appl Physiol* 89:1340-1344, 2000.
147. Kraemer, WJ, Spiering, BA, Volek, JS, Ratamess, NA, Sharman, MJ, Rubin, MR, French, DN, Silvestre, R, Hatfield, DL, Van Heest, JL, Vingren, JL, Judelson, DA, Deschenes, MR y Maresh, CM. Androgenic responses to resistance exercise: Effects of feeding and L-carnitine. *Med Sci Sports Exerc* 38:1288-1296, 2006.
148. Kraemer, WJ, Volek, JS, French, DN, Rubin, MR, Sharman, MJ, Gomez, AL, Ratamess, NA, Newton, RU, Jemiolo, B, Craig, BW y Hakkinen, K. The effects of L-carnitine L-tartrate supplementation on hormonal responses to resistance exercise and recovery. *J Strength Cond Res*

17:455-462, 2003.
149. Kreider, RB. Effects of creatine supplementation on performance and training adaptations. *Mol Cell Biochem* 244:89-94, 2003.
150. Kreider, RB, Ferreira, M, Wilson, M y Almada, AL. Effects of calcium beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) supplementation during resistance-training on markers of catabolism, body composition and strength. *Int J Sports Med* 20:503-509, 1999.
151. Kreider, RB, Melton, C, Rasmussen, CJ, Greenwood, M, Lancaster, S, Cantler, EC, Milnor, P y Almada, AL. Long-term creatine supplementation does not significantly affect clinical markers of health in athletes. *Mol Cell Biochem* 244:95-104, 2003.
152. Kruse, P, Ladefoged, J, Nielsen, U, Paulev, PE y Sorensen, JP. Beta-blockade used in precision sports: Effect on pistol shooting performance. *J Appl Physiol* 61:417-420, 1986.
153. Kuipers, H, Wijnen, JA, Hartgens, F y Willems, SM. Influence of anabolic steroids on body composition, blood pressure, lipid profile and liver functions in body builders. *Int J Sports Med* 12:413-418, 1991.
154. LaBotz, M y Smith, BW. Creatine supplement use in an NCAA Division I athletic program. *Clin J Sport Med* 9:167-169, 1999.
155. Liddle, DG y Connor, DJ. Nutritional supplements and ergogenic AIDS. *Prim Care* 40:487-505, 2013.
156. Linderman, JK y Gosselink, KL. The effects of sodium bicarbonate ingestion on exercise performance. *Sports Med* 18:75-80, 1994.
157. Lindh, AM, Peyrebrune, MC, Ingham, SA, Bailey, DM y Folland, JP. Sodium bicarbonate improves swimming performance. *Int J Sports Med* 29:519-523, 2008.
158. Linossier, MT, Dormois, D, Bregere, P, Geyssant, A y Denis, C. Effect of sodium citrate on performance and metabolism of human skeletal muscle during supramaximal cycling exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 76:48-54, 1997.
159. Liu, TH, Wu, CL, Chiang, CW, Lo, YW, Tseng, HF y Chang, CK. No effect of short-term arginine supplementation on nitric oxide production, metabolism and performance in intermittent exercise in athletes. *J Nutr Biochem* 20:462-468, 2009.
160. Llewellyn, W. *Anabolics 2005: Anabolic Steroid Reference Manual*. Jupiter, FL: Body of Science, 267-331, 2005.
161. Loughton, SJ y Ruhling, RO. Human strength and endurance responses to anabolic steroid and training. *J Sports Med Phys Fitness* 17:285-296, 1977.
162. MacRae, JC, Skene, PA, Connell, A, Buchan, V y Lobley, GE. The action of the beta-agonist clenbuterol on protein and energy metabolism in fattening wether lambs. *Br J Nutr* 59:457-465, 1988.
163. Mahesh, VB y Greenblatt, RB. The in vivo conversion of dehydroepiandrosterone and androstenedione to testosterone in the human. *Acta Endrocrinol* 41:400-406, 1962.
164. Maltin, CA, Delday, MI, Hay, SM, Smith, FG, Lobley, GE y Reeds, PJ. The effect of the anabolic agent, clenbuterol, on overloaded rat skeletal muscle. *Biosci Rep* 7:143-149, 1987.
165. Maltin, CA, Delday, MI, Watson, JS, Heys, SD, Nevison, IM, Ritchie, IK y Gibson, PH. Clenbuterol, a beta-adrenoceptor agonist, increases relative muscle strength in orthopaedic patients. *Clin Sci* 84:651-654, 1993.
166. Martineau, L, Horan, MA, Rothwell, NJ y Little, RA. Salbutamol, a beta 2-adrenoceptor agonist, increases skeletal muscle strength in young men. *Clin Sci* 83:615-621, 1992.
167. McCabe, SE, Brower, KJ, West, BT, Nelson, TF y Wechsler, H. Trends in non-medical use of anabolic steroids by U.S. college students: Results from four national surveys. *Drug Alcohol Depend* 90:243-251, 2007.
168. McCartney, N, Spriet, LL, Heigenhauser, GJ, Kowalchuk, JM, Sutton, JR y Jones, NL. Muscle power and metabolism in maximal intermittent exercise. *J Appl Physiol* 60:1164-1169, 1986.
169. McNaughton, L, Backx, K, Palmer, G y Strange, N. Effects of chronic bicarbonate ingestion on

the performance of high-intensity work. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 80:333-336, 1999.
170. McNaughton, L y Cedaro, R. Sodium citrate ingestion and its effects on maximal anaerobic exercise of different durations. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 64:36-41, 1992.
171. McNaughton, LR, Ford, S y Newbold, C. Effect of sodium bicarbonate ingestion on high intensity exercise in moderately trained women. *J Strength Cond Res* 11:98-102, 1997.
172. McNaughton, LR, Siegler, J y Midgley, A. Ergogenic effects of sodium bicarbonate. *Curr Sports Med Rep* 7:230-236, 2008.
173. Menon, DK. Successful treatment of anabolic steroid-induced azoospermia with human chorionic gonadotropin and human meno pausal gonadotropin. *Fertil Steril* 79:1659-1661, 2003.
174. Midgley, SJ, Heather, N y Davies, JB. Levels of aggression among a group of anabolic-androgenic steroid users. *Med Sci Law* 41:309-314, 2001.
175. Migeon, CJ. Adrenal androgens in man. *Am J Med* 53:606-626, 1972.
176. Moss, JL, Crosnoe, LE y Kim, ED. Effect of rejuvenation hormones on spermatogenesis. *Fertil Steril* 99:1814-1820, 2013.
177. Mujika, I, Chatard, JC, Lacoste, L, Barale, F y Geyssant, A. Creatine supplementation does not improve sprint performance in competitive swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 28:1435-1441, 1996.
178. Nevill, ME, Boobis, LH, Brooks, S y Williams, C. Effect of training on muscle metabolism during treadmill sprinting. *J Appl Physiol* 67:2376-2382, 1989.
179. Nissen, S, Sharp, R, Ray, M, Rathmacher, JA, Rice, D, Fuller, JC, Jr., Connelly, AS y Abumrad, N. Effect of leucine metabolite beta-hydroxy-beta-methylbutyrate on muscle metabolism during resistance-exercise training. *J Appl Physiol* 81:2095-2104, 1996.
180. Norton, LE, Wilson, GJ, Layman, DK, Moulton, CJ y Garlick, PJ. Leucine content of dietary proteins is a determinant of postprandial skeletal muscle protein synthesis in adult rats. *Nutr Metab* 9:67, 2012.
181. O'Connor, DM y Crowe, MJ. Effects of beta-hydroxy-beta-meth-ylbutyrate and creatine monohydrate supplementation on the aerobic and anaerobic capacity of highly trained athletes. *J Sports Med Phys Fitness* 43:64-68, 2003.
182. Oöpik, V, Saaremets, I, Medijainen, L, Karelson, K, Janson, T y Timpmann, S. Effects of sodium citrate ingestion before exercise on endurance performance in well trained college runners. *Br J Sports Med* 37:485-489, 2003.
183. Pagonis, TA, Angelopoulos, NV, Koukoulis, GN y Hadjichristodoulou, CS. Psychiatric side effects induced by supraphysiological doses of combinations of anabolic steroids correlate to the severity of abuse. *Eur Psychiatry* 21:551-562, 2006.
184. Panton, LB, Rathmacher, JA, Baier, S y Nissen, S. Nutritional supplementation of the leucine metabolite beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) during resistance training. *Nutrition* 16:734-739, 2000.
185. Pasiakos, SM, McClung, HL, McClung, JP, Margolis, LM, Andersen, NE, Cloutier, GJ, Pikosky, MA, Rood, JC, Fielding, RA y Young, AJ. Leucine-enriched essential amino acid supplementation during moderate steady state exercise enhances postexercise muscle protein synthesis. *Am J Clin Nutr* 94:809-818, 2011.
186. Pearson, DR, Hamby, DG, Russel, W y Harris, T. Long-term effects of creatine monohydrate on strength and power. *J Strength Cond Res* 13:187-192, 1999.
187. Perry, P, Lund, B, Deninger, M, Kutscher, E y Schneider, J. Anabolic steroid use in weightlifters and bodybuilders: An internet survey of drug utilization. *Clin J Sport Med* 15:326-330, 2005.
188. Petroczi, A, Naughton, D, Pearce, G, Bailey, R, Bloodworth, A y McNamee, M. Nutritional supplement use by elite young UK athletes: Fallacies of advice regarding efficacy. *J Int Soc Sports Nutr* 5:22, 2008.
189. Poortmans, JR, Auquier, H, Renaut, V, Durussel, A, Saugy, M y Brisson, GR. Effect of short-term creatine supplementation on renal responses in men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 76:566-567, 1997.

190. Poortmans, J y Francaux, M. Long-term oral creatine supplementation does not impair renal function in healthy athletes. *Med Sci Sports Exerc* 31:1108-1110, 1999.
191. Pope, HG, Jr., Gruber, AJ, Choi, P, Olivardia, R y Phillips, KA. Muscle dysmorphia. An underrecognized form of body dysmorphic disorder. *Psychosomatics* 38:548-557, 1997.
192. Pope, HG, Jr. y Katz, DL. Psychiatric and medical effects of anabolic-androgenic steroid use. A controlled study of 160 athletes. *Arch Gen Psychiatry* 51:375-382, 1994.
193. Pope, HG, Jr., Katz, DL y Hudson, JI. Anorexia nervosa and «reverse anorexia» among 108 male bodybuilders. *Comp Psychiatry* 34:406-409, 1993.
194. Pope, HG, Jr., Kouri, EM y Hudson, JI. Effects of supraphysiologic doses of testosterone on mood and aggression in normal men: A randomized controlled trial. *Arch Gen Psychiatry* 57:133-140, 2000.
195. Prather, ID, Brown, DE, North, P y Wilson, JR. Clenbuterol: A substitute for anabolic steroids? *Med Sci Sports Exerc* 27:1118-1121, 1995.
196. Ransone, J, Neighbors, K, Lefavi, R y Chromiak, J. The effect of beta-hydroxy beta-methylbutyrate on muscular strength and body composition in collegiate football players. *J Strength Cond Res* 17:34-39, 2003.
197. Rasmussen, BB, Tipton, KD, Miller, SL, Wolf, SE y Wolfe, RR. An oral essential amino acid-carbohydrate supplement enhances muscle protein anabolism after resistance exercise. *J Appl Physiol* 88:386-392, 2000.
198. Reardon, CL y Creado, S. Drug abuse in athletes. *Subst Abuse Rehabil* 14:95-105, 2014.
199. Rieu, I, Balage, M, Sornet, C, Giraudet, C, Pujos, E, Grizard, J, Mosoni, L y Dardevet, D. Leucine supplementation improves muscle protein synthesis in elderly men independently of hyperaminoacidaemia. *J Physiol* 575:305-315, 2006.
200. Robergs, RA, Ghiasvand, F y Parker, D. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *Am J Physiol* 287:R502-R516, 2004.
201. Roy, BD, Tarnopolsky, MA, MacDougall, JD, Fowles, J y Yarasheski, KE. Effect of glucose supplement timing on protein metabolism after resistance training. *J Appl Physiol* 82:1882-1888, 1997.
202. Rubin, MR, Volek, JS, Gomez, AL, Ratamess, NA, French, DN, Sharman, MJ y Kraemer, WJ. Safety measures of L-carnitine L-tartrate supplementation in healthy men. *J Strength Cond Res* 15:486-490, 2001.
203. Russell, C, Papadopoulos, E, Mezil, Y, Wells, GD, Plyley, MJ, Greenway, M y Klentrou, P. Acute versus chronic supplementation of sodium citrate on 200 m performance in adolescent swimmers. *J Int Soc Sports Nutr* 11:26, 2014.
204. Salomon, F, Cuneo, RC, Hesp, R y Sonksen, PH. The effects of treatment with recombinant human growth hormone on body composition and metabolism in adults with growth hormone deficiency. *New Engl J Med* 321:1797-1803, 1989.
205. Schabort, EJ, Wilson, G y Noakes, TD. Dose-related elevations in venous pH with citrate ingestion do not alter 40-km cycling time-trial performance. *Eur J Appl Physiol* 83:320-327, 2000.
206. Schilling, BK, Stone, MH, Utter, A, Kearney, JT, Johnson, M, Coglianese, R, Smith, L, O'Bryant, HS, Fry, AC, Starks, M, Keith, R y Stone, ME. Creatine supplementation and health variables: A retrospective study. *Med Sci Sports Exerc* 33:183-188, 2001.
207. Schwarz, S, Onken, D y Schubert, A. The steroid story of Jenapharm: From the late 1940s to the early 1970s. *Steroids* 64:439-445, 1999.
208. Schwedhelm, E, Maas, R, Freese, R, Jung, D, Lukacs, Z, Jambrecina, A, Spickler, W, Schulze, F y Boger, RH. Pharmacokinetic and pharmacodynamic properties of oral L-citrulline and L-arginine: Impact on nitric oxide metabolism. *Br J Clin Pharmacol* 65:51-59, 2008.
209. Sepkowitz, KA. Energy drinks and caffeine-related adverse effects. *JAMA* 309:243-244, 2013.
210. Shekelle, P, Hardy, M, Morton, S, Maglione, M, Suttorp, M, Roth, E y Jungvig, L. Ephedra and

ephedrine for weight loss and athletic performance enhancement: Clinical efficacy and side effects. *Evid Rep Technol Assess (Summ)* 76:1-4, 2003.
211. Smith, HJ, Mukerji, P y Tisdale, MJ. Attenuation of proteasome-induced proteolysis in skeletal muscle by {beta}-hydroxy-{beta}-methylbutyrate in cancer-induced muscle loss. *Cancer Res* 65:277-283, 2005.
212. Snow, RJ, McKenna, MJ, Selig, SE, Kemp, J, Stathis, CG y Zhao, S. Effect of creatine supplementation on sprint exercise performance and muscle metabolism. *J Appl Physiol* 84:1667-1673, 1998.
213. Souissi, M, Abedelmalek, S, Chtourou, H, Atheymen, R, Hakim, A y Sahnoun, Z. Effects of morning caffeine ingestion on mood states, simple reaction time, and short-term maximal performance on elite judoists. *Asian J Sports Med* 3:161-168, 2012.
214. Spiering, BA, Kraemer, WJ, Vingren, JL, Hatfield, DL, Fragala, MS, Ho, JY, Maresh, CM, Anderson, JM y Volek, JS. Responses of criterion variables to different supplemental doses of L-carnitine L-tartrate. *J Strength Cond Res* 21:259-264, 2007.
215. Spriet, LL. Caffeine and performance. *Int J Sport Nutr* 5:S84-S99, 1995.
216. Spriet, LL, MacLean, DA, Dyck, DJ, Hultman, E, Cederblad, G y Graham, TE. Caffeine ingestion and muscle metabolism during prolonged exercise in humans. *Am J Physiol* 262:E891-E898, 1992.
217. Stamford, BA y Moffatt, R. Anabolic steroid: Effectiveness as an ergogenic aid to experienced weight trainers. *J Sports Med Phys Fitness* 14:191-197, 1974.
218. Stein, MR, Julis, RE, Peck, CC, Hinshaw, W, Sawicki, JE y Deller, JJ, Jr. Ineffectiveness of human chorionic gonadotropin in weight reduction: A double-blind study. *Am J Clin Nutr* 29:940-948, 1976.
219. Stephens, TJ, McKenna, MJ, Canny, BJ, Snow, RJ y McConell, GK. Effect of sodium bicarbonate on muscle metabolism during intense endurance cycling. *Med Sci Sports Exerc* 34:614-621, 2002.
220. Stohs, SJ, Preuss, HG y Shara, M. A review of the human clinical studies involving Citrus aurantium (bitter orange) extract and its primary protoalkaloid p-synephrine. *Int J Med Sci* 9:527-538, 2012.
221. Stout, JR, Cramer, JT, Zoeller, RF, Torok, D, Costa, P, Hoffman, JR, Harris, RC y O'Kroy, J. Effects of beta-alanine supplementation on the onset of neuromuscular fatigue and ventilatory threshold in women. *Amino Acids* 32:381-386, 2007.
222. Striley, CL, Griffiths, RR y Cottler, LB. Evaluating dependence criteria for caffeine. J *Caffeine Res* 1:219-225, 2011.
223. Stromme, SB, Meen, HD y Aakvaag, A. Effects of an androgenic-anabolic steroid on strength development and plasma testosterone levels in normal males. *Med Sci Sports* 6:203-208, 1974.
224. Suzuki, Y, Ito, O, Mukai, N, Takahashi, H y Takamatsu, K. High level of skeletal muscle carnosine contributes to the latter half of exercise performance during 30-s maximal cycle ergometer sprinting. *Jpn J Physiol* 52:199-205, 2002.
225. Swirzinski, L, Latin, RW, Berg, K y Grandjean, A. A survey of sport nutrition supplements in high school football players. *J Strength Cond Res* 14:464-469, 2000.
226. Tang, JE, Lysecki, PJ, Manolakos, JJ, MacDonald, MJ, Tarnopolsky, MA y Phillips, SM. Bolus arginine supplementation affects neither muscle blood flow nor muscle protein synthesis in young men at rest or after resistance exercise. *J Nutr* 141:195-200, 2011.
227. Tarnopolsky, MA. Caffeine and endurance performance. *Sports Med* 18:109-125, 1994.
228. Tavares, AB, Micmacher, E, Biesek, S, Assumpção, R, Redorat, R, Veloso, U, Vaisman, M, Farinatti, PT, and Conceição, F. Effects of growth hormone administration on muscle strength in men over 50 years old. *Int J Endocrinol* 2013:942030, 2013.
229. Tesch, PA. Exercise performance and beta-blockade. *Sports Med* 2:389-412, 1985.
230. Tipton, KD, Ferrando, AA, Phillips, SM, Doyle, D, Jr. y Wolfe, RR. Postexercise net protein

synthesis in human muscle from orally administered amino acids. *Am J Physiol* 276:E628-E634, 1999.
231. Tipton, KD, Gurkin, BE, Matin, S y Wolfe, RR. Nonessential amino acids are not necessary to stimulate net muscle protein synthesis in healthy volunteers. *J Nutr Biochem* 10:89-95, 1999.
232. Tipton, KD, Rasmussen, BB, Miller, SL, Wolf, SE, Owens-Stovall, SK, Petrini, BE y Wolfe, RR. Timing of amino acid-carbohydrate ingestion alters anabolic response of muscle to resistance exercise. *Am J Physiol* 281:E197-E206, 2001.
233. Tiryaki, GR y Atterbom, HA. The effects of sodium bicarbonate and sodium citrate on 600 m running time of trained females. *J Sports Med Phys Fitness* 35:194-198, 1995.
234. Torpy, JM y Livingston, EH. JAMA patient page. Energy drinks. *JAMA* 309:297, 2013.
235. Transparency Market Research. Sports nutrition market—global industry analysis, size, share, growth, trends and forecast, 2013-2019. www.transparencymarketresearch.com/sports-nutritionmarket.html.
236. Trice, I y Haymes, EM. Effects of caffeine ingestion on exercise-induced changes during high-intensity, intermittent exercise. *Int J Sport Nutr* 5:37-44, 1995.
237. Underwood, LE, Attie, KM y Baptista, J. Growth hormone (GH) dose-response in young adults with childhood-onset GH deficiency: A two-year, multicenter, multiple-dose, placebo-controlled study. *J Clin Endocrinol Metab* 88:5273-5280, 2003.
238. VandenBerg, P, Neumark-Sztainer, D, Cafri, G y Wall, M. Steroid use among adolescents: Longitudinal findings from Project EAT. *Pediatrics* 119:476-486, 2007.
239. Vanhatalo, A, Bailey, SJ, DiMenna, FJ, Blackwell, JR, Wallis, GA y Jones, AM. No effect of acute L-arginine supplementation on O_2 cost or exercise tolerance. *Eur J Appl Physiol* 113:1805-1819, 2013.
240. Van Marken Lichtenbelt, WD, Hartgens, F, Vollaard, NB, Ebbing, S y Kuipers, H. Bodybuilders' body composition: Effect of nandrolone decanoate. *Med Sci Sports Exerc* 36:484-489, 2004.
241. Van Someren, K, Edwards, AJ, Howatson, G. Supplementation with beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) and alpha-ketoisocaproic acid (KIC) reduces signs and symptoms of exercise-induced muscle damage in man. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 15:413-424, 2005.
242. Van Someren, K, Fulcher, K, McCarthy, J, Moore, J, Horgan, G y Langford, R. An investigation into the effects of sodium citrate ingestion on high-intensity exercise performance. *Int J Sport Nutr* 8:356-363, 1998.
243. Volek, JS, Duncan, ND, Mazzetti, SA, Staron, RS, Putukian, M, Gomez, AL, Pearson, DR, Fink, WJ y Kraemer, WJ. Performance and muscle fiber adaptations to creatine supplementation and heavy resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 31:1147-1156, 1999.
244. Volek, JS y Kraemer, WJ. Creatine supplementation: Its effect on human muscular performance and body composition. *J Strength Cond Res* 10:200-210, 1996.
245. Volek, JS, Kraemer, WJ, Rubin, MR, Gomez, AL, Ratamess, NA y Gaynor, P. L-carnitine L-tartrate supplementation favorably affects markers of recovery from exercise stress. *Am J Physiol* 282:E474-E482, 2002.
246. Volek, JS, Ratamess, NA, Rubin, MR, Gomez, AL, French, DN, McGuigan, MM, Scheett, TP, Sharman, MJ, Hakkinen, K y Kraemer, WJ. The effects of creatine supplementation on muscular performance and body composition responses to shortterm resis tance training overreaching. *Eur J Appl Physiol* 91:628-637, 2004.
247. Wachter, S, Vogt, M, Kreis, R, Boesch, C, Bigler, P, Hoppeler, H y Krahenbuhl, S. Long-term administration of L-carnitine to humans: Effect on skeletal muscle carnitine content and physical performance. *Clin Chim Acta* 318:51-61, 2002.
248. Wallace, MB, Lim, J, Cutler, A y Bucci, L. Effects of dehydroe-piandrosterone vs androstenedione supplementation in men. *Med Sci Sports Exerc* 31:1788-1792, 1999.
249. Walsh, AL, Gonzalez, AM, Ratamess, NA, Kang, J y Hoffman, JR. Improved time to exhaustion following ingestion of the energy drink Amino Impact. *J Int Soc Sports Nutr* 7:14, 2010.

250. Ward, P. The effect of an anabolic steroid on strength and lean body mass. *Med Sci Sports* 5:277-282, 1973.
251. Webster, MJ, Webster, MN, Crawford, RE y Gladden, LB. Effect of sodium bicarbonate ingestion on exhaustive resistance exercise performance. *Med Sci Sports Exerc* 25:960-965, 1993.
252. Welle, S, Jozefowicz, R, Forbes, G y Griggs, RC. Effect of testosterone on metabolic rate and body composition in normal men and men with muscular dystrophy. *J Clin Endocrinol Metab* 74:332-335, 1992.
253. Wiles, JD, Bird, SR, Hopkins, J y Riley, M. Effect of caffeinated coffee on running speed, respiratory factors, blood lactate and perceived exertion during 1500-m treadmill running. *Br J Sports Med* 26:116-120, 1992.
254. Williams, AD, Cribb, PJ, Cooke, MB y Hayes, A. The effect of ephedra and caffeine on maximal strength and power in resistance-trained athletes. *J Strength Cond Res* 22:464-470, 2008.
255. Willoughby, DS y Rosene, J. Effects of oral creatine and resistance training on myosin heavy chain expression. *Med Sci Sports Exerc* 33:1674-1681, 2001.
256. Wilson, J. Androgen abuse by athletes. *Endocr Rev* 9:181-199, 1988.
257. Wilson, JM, Lowery, RP, Joy, JM, Andersen, JC, Wilson, SM, Stout, JR, Duncan, N, Fuller, JC, Baier, SM, Naimo, MA, and Rathmacher, J. The effects of 12 weeks of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate free acid supplementation on muscle mass, strength, and power in resistance-trained individuals: A randomized, double-blind, place bo-controlled study. *Eur J Appl Physiol* 114:1217-1227, 2014.
258. Windsor, RE y Dumitru, D. Anabolic steroid use by athletes. How serious are the health hazards? *Postgrad Med* 84:37-38, 41-43, 47-49, 1988.
259. Zoeller, RF, Stout, JR, O'Kroy, JA, Torok, DJ y Mielke, M. Effects of 28 days of beta-alanine and creatine monohydrate supplementation on aerobic power, ventilatory and lactate thresholds, and time to exhaustion. *Amino Acids* 33:505-510, 2007.

CAPÍTULO 12 Principios de la selección y administración de pruebas

1. Anastasi, A. *Psychological Testing*. 7.ª ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 113-139, 1997.
2. Baumgartner, TA y Jackson, AS. *Measurement for Evaluation in Physical Education and Exercise Science*. 8.ª ed. Madison, WI: Brown & Benchmark, 69-107, 2007.
3. Ben Abdelkrim, N, Castagna, C, Jabri, I, Battikh, T, El Fazaa, S y El Ati, J. Activity profile and physiological requirements of junior elite basketball players in relation to aerobic-anaerobic fitness. *J Strength Cond Res* 24:2330-2342, 2010.
4. Bergeron, MF, Bahr, R, Bartsch, P, Bourdon, L, Calbet, JA, Carlsen, KH, Castagna, O, Gonzalez-Alonso, J, Lundby, C, Maughan, RJ, Millet, G, Mountjoy, M, Racinais, S, Rasmussen, P, Singh, DG, Subudhi, AW, Young, AJ, Soligard, T y Engebretsen, L. International Olympic Committee consensus statement on thermoregulatory and altitude challenges for high-level athletes. *Br J Sports Med* 46:770 -779, 2012.
5. Bogdanis, GC, Nevill, ME, Boobis, LH, Lakomy, HK y Nevill, AM. Recovery of power output and muscle metabolites following 30 s of maximal sprint cycling in man. *J Physiol* 482 (Pt 2):467-480, 1995.
6. Brukner, P y Khan, K. *Clinical Sports Medicine*. 4.ª ed. New York: McGraw-Hill, 1142-1143, 2012.
7. Buchheit, M y Laursen, PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. Part II: Anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. *Sports Med* 43:927 -954, 2013.

8. Chu, D y Vermeil, A. The rationale for field testing. *NSCA J* 5:35-36, 1983.
9. Dawson, B, Goodman, C, Lawrence, S, Preen, D, Polglaze, T, Fitzsimons, M y Fournier, P. Muscle phosphocreatine repletion following single and repeated short sprint efforts. *Scand J Med Sci Sports* 7:206-213, 1997.
10. Fox, EL, Bowers, RW y Foss, ML. *The Physiological Basis for Exercise and Sport*. 5.ª ed. Dubuque, IL: Brown, 338-340, 1993.
11. Fulco, CS, Rock, PB y Cymerman, A. Maximal and submaximal exercise performance at altitude. *Aviat Space Environ Med* 69:793-801, 1998.
12. Gillam, GM y Marks, M. 300 yard shuttle run. *NSCA J* 5:46, 1983.
13. Hayes, M, Castle, PC, Ross, EZ y Maxwell, NS. The influence of hot humid and hot dry environments on intermittent-sprint exercise performance. *Int J Sports Physiol Perform* 9:387-396, 2014.
14. Heyward, VH. *Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription*. 7.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 47-78, 2014.
15. Hopkins, WG. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med* 30:1-15, 2000.
16. Joyce, D y Lewindon, D. *High-Performance Training for Sports*. Champaign, IL: Human Kinetics, 3-5, 2014.
17. Kraning, KK y Gonzalez, RR. A mechanistic computer simulation of human work in heat that accounts for physical and physiological effects of clothing, aerobic fitness, and progressive dehydration. *J Therm Biol* 22:331-342, 1997.
18. Larsen, GE, George, JD, Alexander, JL, Fellingham, GW, Aldana, SG y Parcell, AC. Prediction of maximum oxygen consumption from walking, jogging, or running. *Res Q Exerc Sport* 73:66-72, 2002.
19. Matuszak, ME, Fry, AC, Weiss, LW, Ireland, TR y McKnight, MM. Effect of rest interval length on repeated 1 repetition maximum back squats. *J Strength Cond Res* 17:634-637, 2003.
20. McArdle, WD, Katch, FI y Katch, VL. *Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance*. 7.ª ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 648-661, 2007.
21. Messick, S. Validity. En: *Educational Measurement,* Linn, R, ed. New York: Macmillan, 13-104, 1989.
22. Morrow, JR. *Measurement and Evaluation in Human Performance*. 4.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 102-108, 2011.
23. Narazaki, K, Berg, K, Stergiou, N y Chen, B. Physiological demands of competitive basketball. *Scand J Med Sci Sports* 19:425-432, 2009.
24. Negrete, RJ, Hanney, WJ, Pabian, P y Kolber, MJ. Upper body push and pull strength ratio in recreationally active adults. *Int J Sports Phys Ther* 8:138-144, 2013.
25. Newton, R y Dugan, E. Application of strength diagnosis. *Strength Cond J* 24:50-59, 2002.
26. Parkin, JM, Carey, MF, Zhao, S y Febbraio, MA. Effect of ambient temperature on human skeletal muscle metabolism during fatiguing submaximal exercise. *J Appl Physiol* 86:902-908, 1999.
27. Pescatello, LS, ed. *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. 9.ª ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins, 201-202, 216-223, 2014.
28. Ratamess, NA. *ACSM's Foundations of Strength Training and Conditioning*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 451-454, 2012.
29. Read, PJ, Hughes, J, Stewart, P, Chavda, S, Bishop, C, Edwards, M y Turner, AN. A needs analysis and field-based testing battery for basketball. *J Strength Cond Res* 36:13-20, 2014.
30. Reilly, T y Waterhouse, J. Sports performance: Is there evidence that the body clock plays a role? *Eur J Appl Physiol* 106:321-332, 2009.
31. Schuler, B, Thomsen, JJ, Gassmann, M y Lundby, C. Timing the arrival at 2340 m altitude for aerobic performance. *Scand J Med Sci Sports* 17:588-594, 2007.

32. Sparks, SA, Cable, NT, Doran, DA y Maclaren, DP. Influence of environmental temperature on duathlon performance. *Ergonomics* 48:1558-1567, 2005.
33. Turner, AN y Stewart, PF. Repeat sprint ability. *Strength Cond J* 35:37-41, 2013.
34. Wisloff, U, Castagna, C, Helgerud, J, Jones, R y Hoff, J. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med* 38:285-288, 2004.

CAPÍTULO 13 Administración, puntuación e interpretación de las pruebas seleccionadas

1. Andersson, H, Raastad, T, Nilsson, J, Paulsen, G, Garthe, I y Kadi, F. Neuromuscular fatigue and recovery in elite female soccer: Effects of active recovery. *Med Sci Sports Exerc* 40:372-380, 2008.
2. Arnason, A, Sigurdsson, SB, Gudmundsson, A, Holme, I, Engebretsen, L y Bahr, R. Physical fitness, injuries, and team performance in soccer. *Med Sci Sports Exerc* 36:278-285, 2004.
3. Atkins, S, Hesketh, C y Sinclair, J. The presence of bilateral imbalance of the lower limbs in elite youth soccer players of different ages. *J Strength Cond Res*, 2013.
4. Atkins, SJ. Performance of the Yo-Yo intermittent recovery test by elite professional and semiprofessional rugby league players. *J Strength Cond Res* 20:222-225, 2006.
5. Baker, D. 10-year changes in upper body strength and power in elite professional rugby league players: The effect of training age, stage, and content. *J Strength Cond Res* 27:285-292, 2013.
6. Baker, D y Newton, RU. Discriminative analyses of various upper body tests in professional rugby-league players. *Int J Sports Physiol Perform* 1:347-360, 2006.
7. Baker, D y Newton, RU. Comparison of lower body strength, power, acceleration, speed, agility, and sprint momentum to describe and compare playing rank among professional rugby league players. *J Strength Cond Res* 22:153-158, 2008.
8. Baker, DG y Newton, RU. An analysis of the ratio and relationship between upper body pressing and pulling strength. *J Strength Cond Res* 18:594-598, 2004.
9. Bangsbo, J, Iaia, FM y Krustrup, P. The Yo-Yo intermittent recovery test: A useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. *Sports Med* 38:37-51, 2008.
10. Barr, MJ y Nolte, VW. The importance of maximal leg strength for female athletes when performing drop jumps. *J Strength Cond Res* 28:373-380, 2014.
11. Baumgartner, TA y Jackson, AS. *Measurement for Evaluation in Physical Education and Exercise Science*. 8.ª ed. Madison, WI: Brown & Benchmark, 255-256, 2007.
12. Black, W y Roundy, E. Comparisons of size, strength, speed, and power in NCAA Division 1-A football players. *J Strength Cond Res* 8:80-85, 1994.
13. Bradley, PS, Bendiksen, M, Dellal, A, Mohr, M, Wilkie, A, Datson, N, Orntoft, C, Zebis, M, Gomez-Diaz, A, Bangsbo, J y Krustrup, P. The application of the Yo-Yo intermittent endurance level 2 test to elite female soccer populations. *Scand J Med Sci Sports* 24:43-54, 2014.
14. Bressel, E, Yonker, JC, Kras, J y Heath, EM. Comparison of static and dynamic balance in female collegiate soccer, basketball, and gymnastics athletes. *J Athl Train* 42:42-46, 2007.
15. Burr, JF, Jamnik, RK, Baker, J, Macpherson, A, Gledhill, N y McGuire, EJ. Relationship of physical fitness test results and hockey playing potential in elite-level ice hockey players. *J Strength Cond Res* 22:1535-1543, 2008.
16. Butler, RJ, Plisky, PJ, Southers, C, Scoma, C y Kiesel, KB. Biomechanical analysis of the different classifications of the Functional Movement Screen deep squat test. *Sports Biomech* 9:270-279, 2010.
17. Castagna, C y Castellini, E. Vertical jump performance in Italian male and female national team soccer players. *J Strength Cond Res* 27:1156-1161, 2013.

18. Church, JB. Basic statistics for the strength and conditioning professional. *Strength Cond J* 30:51-53, 2008.
19. Cohen, JA. *Statistical Power Analysis for the Behavioural Sciences*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 273-379, 1988.
20. Comfort, P, Graham-Smith, P, Matthews, MJ y Bamber, C. Strength and power characteristics in English elite rugby league players. *J Strength Cond Res* 25:1374-1384, 2011.
21. Crewther, BT, McGuigan, MR y Gill, ND. The ratio and allometric scaling of speed, power, and strength in elite male rugby union players. *J Strength Cond Res* 25:1968-1975, 2011.
22. Cullen, BD, Cregg, CJ, Kelly, DT, Hughes, SM, Daly, PG y Moyna, NM. Fitness profiling of elite level adolescent Gaelic football players. *J Strength Cond Res* 27:2096-2103, 2013.
23. Davlin, CD. Dynamic balance in high level athletes. *Percept Mot Skills* 98:1171-1176, 2004.
24. Department of the Army. *Physical Fitness Training: Field Manual No. 21-20*. Washington, DC: Headquarters, Department of the Army, 1998.
25. Deprez, D, Coutts, AJ, Lenoir, M, Fransen, J, Pion, J, Philippaerts, R y Vaeyens, R. Reliability and validity of the Yo-Yo intermittent recovery test level 1 in young soccer players. *J Sports Sci* 32:903-910, 2014.
26. Desgorces, FD, Berthelot, G, Dietrich, G y Testa, MS. Local muscular endurance and prediction of 1 repetition maximum for bench in 4 athletic populations. *J Strength Cond Res* 24:394-400, 2010.
27. Driss, T y Vandewalle, H. The measurement of maximal (anaerobic) power output on a cycle ergometer: A critical review. *Biomed Res Int* 2013:589361, 2013.
28. Evans, EM, Rowe, DA, Misic, MM, Prior, BM y Arngrimsson, SA. Skinfold prediction equation for athletes developed using a four-component model. *Med Sci Sports Exerc* 37:2006-2011, 2005.
29. Flanagan, E. The effect size statistic-applications for the strength and conditioning coach. *Strength Cond J* 35:37-40, 2013.
30. Fox, EL, Bowers, RW y Foss, ML. *The Physiological Basis for Exercise and Sport*. 5.ª ed. Dubuque, IL: Brown, 676, 1993.
31. Fry, AC y Kraemer, WJ. Physical performance characteristics of American collegiate football players. *J Appl Sport Sci Res* 5: 126-138, 1991.
32. Fry, AC, Schilling, BK, Staron, RS, Hagerman, FC, Hikida, RS y Thrush, JT. Muscle fiber characteristics and performance correlates of male Olympic-style weightlifters. *J Strength Cond Res* 17:746 -754, 2003.
33. Gabbett, T y Georgieff, B. Physiological and anthropometric characteristics of Australian junior national, state, and novice volleyball players. *J Strength Cond Res* 21:902-908, 2007.
34. Gabbett, T, Jenkins, D y Abernethy, B. Relationships between physiological, anthropometric, and skill qualities and playing performance in professional rugby league players. *J Sports Sci* 29:1655-1664, 2011.
35. Gabbett, T, Kelly, J y Pezet, T. Relationship between physical fitness and playing ability in rugby league players. *J Strength Cond Res* 21:1126-1133, 2007.
36. Gabbett, T, Kelly, J, Ralph, S y Driscoll, D. Physiological and anthropometric characteristics of junior elite and sub-elite rugby league players, with special reference to starters and non-starters. *J Sci Med Sport* 12:215-222, 2009.
37. Garcia-Lopez, J, Morante, JC, Ogueta-Alday, A y Rodriguez-Marroyo, JA. The type of mat (Contact vs. Photocell) affects vertical jump height estimated from flight time. *J Strength Cond Res* 27:1162 -1167, 2013.
38. Gillam, GM y Marks, M. 300 yard shuttle run. *NSCA J* 5:46, 1983.
39. Gorostiaga, EM, Granados, C, Ibanez, J, Gonzalez-Badillo, JJ e Izquierdo, M. Effects of an entire season on physical fitness changes in elite male handball players. *Med Sci Sports Exerc* 38:357-366, 2006.
40. Granados, C, Izquierdo, M, Ibanez, J, Ruesta, M y Gorostiaga, EM. Effects of an entire season on

physical fitness in elite female handball players. *Med Sci Sports Exerc* 40:351-361, 2008.
41. Gribble, PA, Hertel, J y Plisky, P Using the Star Excursion Balance Test to assess dynamic postural-control deficits and outcomes in lower extremity injury: A literature and systematic review. *J Athl Train* 47:339-357, 2012.
42. Haugen, TA, Tonnessen, E y Seiler, S. Speed and countermovement-jump characteristics of elite female soccer players, 1995-2010. *Int J Sports Physiol Perform* 7:340-349, 2012.
43. Hertel, J, Braham, RA, Hale, SA y Olmsted-Kramer, LC. Simplifying the star excursion balance test: Analyses of subjects with and without chronic ankle instability. *J Orthop Sports Phys Ther* 36:131-137, 2006.
44. Hetzler, RK, Stickley, CD, Lundquist, KM y Kimura, IF. Reliability and accuracy of handheld stopwatches compared with electronic timing in measuring sprint performance. *J Strength Cond Res* 22:1969-1976, 2008.
45. Heyward, VH. *Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription*. Champaign, IL: Human Kinetics, 47-56, 222, 235-244, 2014.
46. Heyward, VH y Stolarczyk, LM. *Applied Body Composition Assessment*. Champaign, IL: Human Kinetics, 106-134, 1996.
47. Hoffman, J. *Norms for Fitness, Performance, and Health*. Champaign, IL: Human Kinetics, 36-38, 55-58, 113, 2006.
48. Hoffman, JR, Ratamess, NA, Klatt, M, Faigenbaum, AD, Ross, RE, Tranchina, NM, McCurley, RC, Kang, J y Kraemer, WJ. Com parison between different off-season resistance training programs in Division III American college football players. *J Strength Cond Res* 23:11-19, 2009.
49. Hoffman, JR, Ratamess, NA, Neese, KL, Ross, RE, Kang, J, Magrelli, JF y Faigenbaum, AD. Physical performance characteristics in National Collegiate Athletic Association Division III champion female lacrosse athletes. *J Strength Cond Res* 23:1524-1529, 2009.
50. Hoffman, JR, Vazquez, J, Pichardo, N y Tenenbaum, G. Anthropometric and performance comparisons in professional baseball players. *J Strength Cond Res* 23:2173-2178, 2009.
51. Hopkins, WG. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc* 41:3-13, 2009.
52. Hrysomallis, C. Balance ability and athletic performance. *Sports Med* 41:221-232, 2011.
53. Hrysomallis, C. Injury incidence, risk factors and prevention in Australian rules football. *Sports Med* 43:339-354, 2013.
54. Iverson, GL y Koehle, MS. Normative data for the balance error scoring system in adults. *Rehabil Res Pract* 2013:846418, 2013.
55. Jackson, AS y Pollock, ML. Generalized equations for predicting body density of men. *Br J Nutr* 40:497-504, 1978.
56. Jackson, AS, Pollock, ML y Gettman, LR. Intertester reliability of selected skinfold and circumference measurements and percent fat estimates. *Res Q* 49:546-551, 1978.
57. Jackson, AS, Pollock, ML y Ward, A. Generalized equations for predicting body density of women. *Med Sci Sports Exerc* 12:175-181, 1980.
58. Krustrup, P, Bradley, PS, Christensen, JF, Castagna, C, Jackman, S, Connolly, L, Randers, MB, Mohr, M y Bangsbo, J. The Yo-Yo IE2 Test: Physiological response for untrained men vs trained soccer players. *Med Sci Sports Exerc* 47, 100-108, 2015.
59. Krustrup, P, Zebis, M, Jensen, JM y Mohr, M. Game-induced fatigue patterns in elite female soccer. *J Strength Cond Res* 24:437-441, 2010.
60. Leger, L y Boucher, R. An indirect continuous running multistage field test: The Universite de Montreal track test. *Can J Appl Sport Sci* 5:77-84, 1990.
61. Leger, L y Mercier, D. Gross energy cost of horizontal treadmill and track running. *Sports Med* 1:270-277, 1984.
62. Lloyd, RS, Oliver, JL, Hughes, MG y Williams, CA. Reliability and validity of field-based measures of leg stiffness and reactive strength index in youths. *J Sports Sci* 27:1565-1573, 2009.

63. Magal, M, Smith, RT, Dyer, JJ y Hoffman, JR. Seasonal variation in physical performance-related variables in male NCAA Division III soccer players. *J Strength Cond Res* 23:2555-2559, 2009.
64. Mann, JB, Stoner, JD y Mayhew, JL. NFL-225 test to predict 1RM bench press in NCAA Division I football players. *J Strength Cond Res* 26:2623-2631, 2012.
65. McArdle, WD, Katch, FI y Katch, VL. *Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance*. 8.ª ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 236-237, 749-752, 2015.
66. McCurdy, K y Langford, G. The relationship between maximum unilateral squat strength and balance in young adult men and women. *J Sports Sci Med* 5:282-288, 2006.
67. McCurdy, K, Walker, JL, Langford, GA, Kutz, MR, Guerrero, JM y McMillan, J. The relationship between kinematic determinants ofjump and sprint performance in division I women soccer players. *J Strength Cond Res* 24:3200-3208, 2010.
68. McGill, SM, Andersen, JT y Horne, AD. Predicting performance and injury resilience from movement quality and fitness scores in a basketball team over 2 years. *J Strength Cond Res* 26:1731-1739, 2012.
69. McGuigan, MR, Doyle, TL, Newton, M, Edwards, DJ, Nimphius, S y Newton, RU. Eccentric utilization ratio: Effect of sport and phase of training. *J Strength Cond Res* 20:992-995, 2006.
70. McGuigan, MR, Sheppard, JM, Cormack, SJ y Taylor, K. Strength and power assessment protocols. IEn: *Physiological Tests for Elite Athletes*. Tanner, RK y Gore, CJ, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 207-230, 2013.
71. McMaster, DT, Gill, N, Cronin, J y McGuigan, M. A brief review of strength and ballistic assessment methodologies in sport. *Sports Med* 44:603-623, 2014.
72. Meir, R, Newton, R, Curtis, E, Fardell, M y Butler, B. Physical fitness qualities of professional rugby league football players: Deter mination of positional differences. *J Strength Cond Res* 15:450-458, 2001.
73. Miller, T. *NSCA's Guide to Tests and Assessments*. Champaign, IL: Human Kinetics, 10-29, 193-199, 229-247, 295-315, 2012.
74. Mohr, M, Krustrup, P y Bangsbo, J. Match performance of top-level soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci* 21:519-528, 2003.
75. Moresi, MP, Bradshaw, EP, Greene, D y Naughton, G. The assessment of adolescent female athletes using standing and reactive long jumps. *Sports Biomech* 10:73-84, 2011.
76. Mujika, I, Santisteban, J, Impellizzeri, FM y Castagna, C. Fitness determinants of success in men's and women's football. *J Sports Sci* 27:107-114, 2009.
77. Newton, R y Dugan, E. Application of strength diagnosis. *Strength Cond J* 24:50-59, 2002.
78. Nieman, DC. *Fitness and Sports Medicine*. 3.ª ed. Palo Alto, CA: Bull, 504, 1995.
79. Nieman, DC. *Exercise Testing and Prescription: A Health-Related Approach*. 7.ª ed. New York: McGraw-Hill, 148-150, 2011.
80. Nimphius, S, McGuigan, MR y Newton, RU. Relationship between strength, power, speed, and change of direction performance of female softball players. *J Strength Cond Res* 24:885-895, 2010.
81. Nimphius, S, McGuigan, MR y Newton, RU. Changes in muscle architecture and performance during a competitive season in female softball players. *J Strength Cond Res* 26:2655-2666, 2012.
82. Oba, Y, Hetzler, RK, Stickley, CD, Tamura, K, Kimura, IF y Heffernan, T. Allometric scaling of strength scores in NCAA Division IA football athletes. *J Strength Cond Res* 28:3330-3337, 2014.
83. Olmsted, LC, Carcia, CR, Hertel, J y Shultz, SJ. Efficacy of the star excursion balance tests in detecting reach deficits in subjects with chronic ankle instability. *J Athl Train* 37:501-506, 2002.
84. Parchmann, CJ y McBride, JM. Relationship between functional movement screen and athletic performance. *J Strength Cond Res* 25:3378-3384, 2011.
85. Parsonage, JR, Williams, RS, Rainer, P, McKeown, I y Williams, MD. Assessment of conditioning-specific movement tasks and physical fitness measures in talent identified under 16-

year-old rugby union players. *J Strength Cond Res* 28:1497-1506, 2014.
86. Pauole, K, Madole, K, Garhammer, J, Lacourse, M y Rozenek, R. Reliability and validity of the t-test as a measure of agility, leg power, and leg speed in college-aged men and women. *J Strength Cond Res* 14:443-450, 2000.
87. Pearson, SN, Cronin, JB, Hume, PA y Slyfield, D. Kinematics and kinetics of the bench-press and bench-pull exercises in a strength-trained sporting population. *Sports Biomech* 8:245-254, 2009.
88. Pescatello, LS, ed. *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. 9.ª ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins, 62-109, 2014.
89. Ransdell, LB y Murray, T. A physical profile of elite female ice hockey players from the USA. *J Strength Cond Res* 25:2358-2363, 2011.
90. Ratamess, NA. *ACSM's Foundations of Strength Training and Con ditioning*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 451-486, 2012.
91. Reid, DD y Sandland, RL. New lamps for old? *J Roy Statist Soc Ser C* 32:86-87, 1983.
92. Reilly, T y Waterhouse, J. Sports performance: Is there evidence that the body clock plays a role? *Eur J Appl Physiol* 106:321-332, 2009.
93. Reiman, MP y Mankse, R. *Functional Testing in Human Performance*. Champaign, IL: Human Kinetics, 108-109, 2009.
94. Rhea, MR. Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *J Strength Cond Res* 18:918-920, 2004.
95. Riemann, BL, Guskiewicz, KM y Shields, EW. Relationship between clinical and forceplate measures of postural stability. *J Sport Rehabil* 8:71-82, 1999.
96. Sanchez-Medina, L, Gonzalez-Badillo, JJ, Perez, CE y Pallares, JG. Velocity and power-load relationships of the bench pull vs. bench press exercises. *Int J Sports Med* 35:209-216, 2014.
97. Sassi, RH, Dardouri, W, Yahmed, MH, Gmada, N, Mahfoudhi, ME y Gharbi, Z. Relative and absolute reliability of a modified agility T-test and its relationship with vertical jump and straight sprint. *J Strength Cond Res* 23:1644-1651, 2009.
98. Schaal, M, Ransdell, LB, Simonson, SR y Gao, Y. Physiologic performance test differences in female volleyball athletes by competition level and player position. *J Strength Cond Res* 27:1841-1850, 2013.
99. Sedano, S, Vaeyens, R, Philippaerts, RM, Redondo, JC y Cuadrado, G. Anthropometric and anaerobic fitness profile of elite and non-elite female soccer players. *J Sports Med Phys Fitness* 49:387-394, 2009.
100. Semenick, D. The T-test. *NSCA J* 12:36-37, 1990.
101. Sheppard, JM y Young, WB. Agility literature review: Classifications, training and testing. *J Sports Sci* 24:919-932, 2006.
102. Silvestre, R, West, C, Maresh, CM y Kraemer, WJ. Body composition and physical performance in men's soccer: A study of a National Collegiate Athletic Association Division I team. *J Strength Cond Res* 20:177-183, 2006.
103. Slaughter, MH, Lohman, TG, Boileau, RA, Horswill, CA, Stillman, RJ, Van Loan, MD y Bemben, DA. Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Hum Biol* 60:709-723, 1988.
104. Sloan, AW y Weir, JB. Nomograms for prediction of body density and total body fat from skinfold measurements. *J Appl Physiol* 28:221-222, 1970.
105. Spiteri, T, Nimphius, S, Hart, NH, Specos, C, Sheppard, JM y Newton, RU. The contribution of strength characteristics to change of direction and agility performance in female basketball players. *J Strength Cond Res* 28:2415-2423, 2014.
106. Sporis, G, Jukic, I, Ostojic, SM y Milanovic, D. Fitness profiling in soccer: Physical and physiologic characteristics of elite players. *J Strength Cond Res* 23:1947-1953, 2009.
107. Sporis, G, Ruzic, L y Leko, G. The anaerobic endurance of elite soccer players improved after a high-intensity training intervention in the 8-week conditioning program. *J Strength Cond Res*

22:559-566, 2008.
108. Stewart, PF, Turner, AN y Miller, SC. Reliability, factorial validity y interrelationships of five commonly used change of direction speed tests. *Scand J Med Sci Sports* 24:500-506, 2014.
109. Stockbrugger, BA y Haennel, RG. Contributing factors to performance of a medicine ball explosive power test: A comparison between jump and nonjump athletes. *J Strength Cond Res* 17:768 -774, 2003.
110. Thomas, JR, Nelson, JK y Silverman, SJ. *Research Methods in Physical Activity*. 6.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 99-112, 2011.
111. Thorpe, JL y Ebersole, KT. Unilateral balance performance in female collegiate soccer athletes. *J Strength Cond Res* 22:1429-1433, 2008.
112. Till, K, Cobley, S, O'Hara, J, Brightmore, A, Cooke, C y Chapman, C. Using anthropometric and performance characteristics to predict selection in junior UK Rugby League players. *J Sci Med Sport* 14:264-269, 2011.
113. Till, K, Cobley, S, O'Hara, J, Morley, D, Chapman, C y Cooke, C. Retrospective analysis of anthropometric and fitness characteristics associated with long-term career progression in Rugby League. *J Sci Med Sport* 18:310-314, 2015.
114. Till, K, Tester, E, Jones, B, Emmonds, S, Fahey, J y Cooke, C. Anthropometric and physical characteristics of English academy rugby league players. *J Strength Cond Res* 28:319-327, 2014.
115. Turner, AN y Stewart, PF. Repeat sprint ability. *Strength Cond J* 35:37-41, 2013.
116. Vernillo, G, Silvestri, A y Torre, AL. The yo-yo intermittent recovery test in junior basketball players according to performance level and age group. *J Strength Cond Res* 26:2490-2494, 2012.
117. Vescovi, JD, Brown, TD y Murray, TM. Descriptive characteristics of NCAA Division I women lacrosse players. *J Sci Med Sport* 10:334-340, 2007.
118. Vescovi, JD y McGuigan, MR. Relationships between sprinting, agility, and jump ability in female athletes. *J Sports Sci* 26:97-107, 2008.
119. Volek, JS, Ratamess, NA, Rubin, MR, Gomez, AL, French, DN, McGuigan, MM, Scheett, TP, Sharman, MJ, Hakkinen, K y Kraemer, WJ. The effects of creatine supplementation on muscular performance and body composition responses to shortterm resistance training overreaching. *Eur J Appl Physiol* 91:628-637, 2004.
120. Walklate, BM, O'Brien, BJ, Paton, CD y Young, W. Supplementing regular training with short-duration sprint-agility training leads to a substantial increase in repeated sprint-agility performance with national level badminton players. *J Strength Cond Res* 23:1477-1481, 2009.
121. Whitehead, PN, Schilling, BK, Peterson, DD y Weiss, LW. Possible new modalities for the Navy physical readiness test. *Mil Med* 177:1417-1425, 2012.
122. Whitmer, T, Fry, AC, Forsythe, C, Andre, MJ, Lane, MT, Hudy, A y Honnold, D. Accuracy of a vertical jump contact mat for deter mining jump height and flight time. *J Strength Cond Res* 29:877-881, 2015.
123. Wisloff, U, Castagna, C, Helgerud, J, Jones, R y Hoff, J. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med* 38:285-288, 2004.
124. Wisloff, U, Helgerud, J y Hoff, J. Strength and endurance of elite soccer players. *Med Sci Sports Exerc* 30:462-467, 1998.
125. YMCA. *YMCA Fitness Testing and Assessment Manual*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2000.
126. Young, W, Russell, A, Burge, P, Clarke, A, Cormack, S y Stewart, G. The use of sprint tests for assessment of speed qualities of elite Australian rules footballers. *Int J Sports Physiol Perform* 3:199-206, 2008.
127. Young, WB y Pryor, L. Relationship between pre-season anthropometric and fitness measures and indicators of playing performance in elite junior Australian Rules football. *J Sci Med Sport* 10:110-118, 2007.

CAPÍTULO 14 Calentamiento y entrenamiento de la flexibilidad

1. Andersen, JC. Stretching before and after exercise: Effect on muscle soreness and injury risk. *J Athl Train* 40:218-220, 2005.
2. Anthony, CP y Kolthoff, NJ. *Textbook of Anatomy and Physiology*. 9.ª ed. St. Louis: Mosby, 1975.
3. Asmussen, E, Bonde-Peterson, F y Jorgenson, K. Mechano-elastic properties of human muscles at different temperatures. *Acta Physiol Scand* 96:86-93, 1976.
4. Bandy, WD e Irion, JM. The effect of time on static stretch on the flexibility of the hamstring muscles. *Phys Ther* 74:845-852, 1994.
5. Bandy, WD, Irion, JM y Briggler, M. The effect of static stretch and dynamic range of motion training on the flexibility of the ham string muscles. *J Orthop Sports Phys Ther* 27:295-300, 1998.
6. Bandy, WD, Irion, JM y Briggler, M. The effect of time and frequency of static stretching on flexibility of the hamstring muscles. *Phys Ther* 77:1090-1096, 1997.
7. Behm, DG, Bambury, A, Cahill, F y Power, K. Effect of acute static stretching on force, balance, reaction time, and movement time. *Med Sci Sports Exerc* 36:1397-1402, 2004.
8. Behm, DG, Button, DC y Butt, JC. Factors affecting force loss with prolonged stretching. *Can J Appl Physiol* 26:261-272, 2001.
9. Bergh, U y Ekblom, B. Influence of muscle temperature on maximal strength and power output in human muscle. *Acta Physiol Scand* 107:332-337, 1979.
10. Bishop, D. Warm-up. Potential mechanisms and the effects of passive warm-up on performance. *Sports Med* 33:439-454, 2003.
11. Bishop, D. Warm up II. Performance changes following active warm-up and how to structure the warm-up. *Sports Med* 33:483-498, 2003.
12. Blazevich, AJ, Cannavan, D, Waugh, CM, Fath, F, Miller, SC y Kay, AD. Neuromuscular factors influencing the maximum stretch limit of the human plantar flexors. *J Appl Physiol* 113(9):1446-1455, 2012
13. Brodowicz, GR, Welsh, R y Wallis, J. Comparison of stretching with ice, stretching with heat, or stretching alone on hamstring flexibility. *J Athl Train* 31:324-327, 1996.
14. Burkett, LN, Phillips, WT y Ziuraitis, J. The best warm-up for the vertical jump in college-age athletic men. *J Strength Cond Res* 19:673-676, 2005.
15. Cherry, DB. Review of physical therapy alternatives for reducing muscle contracture. *Phys Ther* 60:877-881, 1980.
16. Church, JB, Wiggins, MS, Moode, FM y Crist, R. Effect of warm-up and flexibility treatments on vertical jump performance. *J Strength Cond Res* 15:332-336, 2001.
17. Cipriani, D, Abel, B y Pirrwitz, D. A comparison of two stretching protocols on hip range of motion: Implications for total daily stretch duration. *J Strength Cond Res* 17:274-278, 2003.
18. Condon, SM y Hutton, RS. Soleus muscle electromyographic activity and ankle dorsiflexion range of motion during four stretching procedures. *Phys Ther* 67:24-30, 1987.
19. Cook, G. *Movement: Functional Movement Systems: Screening Assessment and Corrective Strategies*. Aptos, CA: On Target, 19, 2010.
20. Corbin, CB, Dowell, LJ, Lindsey, R y Tolson, H. *Concepts in Physical Education*. Dubuque, IA: Brown, 1-320, 1978.
21. Cornelius, WJ. The effective way. *NSCA J* 7:62-64, 1985.
22. Cornelius, WJ y Hinson, MM. The relationship between isometric contractions of hip extensors and subsequent flexibility in males. *Sports Med Phys Fitness* 20:75-80, 1980.
23. Cornwell, A, Nelson, AG y Sidaway, B. Acute effects of stretching on the neuromechanical

properties of the triceps surae muscle complex. *Eur J Appl Physiol* 86:428-434, 2002.
24. Covert, CA, Alexander, MP, Petronis, JJ y Davis, DS. Comparison of ballistic and static stretching on hamstring muscle length using an equal stretching dose. *J Strength Cond Res* 24:3008-3014, 2010.
25. Cramer, JT, Housh, TJ, Coburn, JW, Beck, TW y Johnson, GO. Acute effects of static stretching on maximal eccentric torque pro duction in women. *J Strength Cond Res* 20:354-358, 2006.
26. Cramer, JT, Housh, TJ, Johnson, GO, Miller, JM, Coburn, JW y Beck, TW. Acute effects of static stretching on peak torque in women. *J Strength Cond Res* 18:236-241, 2004.
27. Cramer, JT, Housh, TJ, Weir, JP, Johnson, GO, Coburn, JW y Beck, TW. The acute effects of static stretching on peak torque, mean power output, electromyography, and mechanomyography. *Eur J Appl Physiol* 93:530-539, 2005.
28. Davis, DS, Ashby, PE, McCale, KL, McQuain, JA y Wine, JM. The effectiveness of 3 stretching techniques on hamstring flexibility using consistent stretching parameters. *J Strength Cond Res* 19:27-32, 2005.
29. Depino, GM, Webright, WG y Arnold, BL. Duration of maintained hamstring flexibility after cessation of an acute static stretching protocol. *J Athl Train* 35:56-59, 2000.
30. DeVries, HA y Housh, TJ. *Physiology of Exercise for Physical Education, Athletics and Exercise Science*. 5.ª ed. Dubuque, IA: Brown, 1995.
31. De Weijer, VC, Gorniak, GC y Shamus, E. The effect of static stretch and warm-up exercise on hamstring length over the course of 24 hours. *J Orthop Sports Phys Ther* 33:727-733, 2003.
32. Earle, RW y Baechle, TR, eds. *NSCA's Essentials of Personal Training*. Champaign, IL: Human Kinetics, 267-294, 2004.
33. Enoka, RM. *Neuromechanics of Human Movement*. 4.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 305-309, 2008.
34. Etnyre, BR y Abraham, LD. Gains in range of ankle dorsiflexion using three popular stretching techniques. *Am J Phys Med* 65:189 -196, 1986.
35. Evetovich, TK, Nauman, NJ, Conley, DS y Todd, JB. Effect of static stretching of the biceps brachii on torque, electromyography, and mechanomyography during concentric isokinetic muscle actions. *J Strength Cond Res* 17:484-488, 2003.
36. Faigenbaum, AD, Bellucci, M, Bernieri, A, Bakker, B y Hoorens, K. Acute effects of different warm-up protocols on fitness perfor mance in children. *J Strength Cond Res* 19:376-381, 2005.
37. Fleck, SJ y Kraemer, WJ. *Designing Resistance Training Programs*. 3.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 142, 2004.
38. Fletcher, IM y Jones, B. The effect of different warm-up stretch protocols on 20 meter sprint performance in trained rugby union players. *J Strength Cond Res* 18:885-888, 2004.
39. Flexibility: Roundtable. *NSCA J* 6:10-22, 71-73, 1984.
40. Fox, EL. *Sports Physiology*. Philadelphia: Saunders, 240-350, 1979.
41. Fradkin, AJ, Gabbe, BJ y Cameron, PA. Does warming up prevent injury in sport? The evidence from randomised controlled trials. *J Sci Med Sport* 9:214-220, 2006.
42. Fradkin, AJ, Zazryn, TR y Smoliga, JM. Effects of warming up on physical performance: A systematic review with meta analysis. *J Strength Cond Res* 24:140-148, 2010.
43. Funk, DC, Swank, AM, Mikla, BM, Fagan, TA y Farr, BK. Impact of prior exercise on hamstring flexibility: A comparison of proprioceptive neuromuscular facilitation and static stretching. *J Strength Cond Res* 17:489-492, 2003.
44. Getchell, B. *Physical Fitness: A Way of Life*. New York: Wiley, 1-53, 1979.
45. Gleim, GW y McHugh, MP. Flexibility and its effects on sports injury and performance [review]. *Sports Med* 24:289-299, 1997.
46. Gremion, G. Is stretching for sports performance still useful? A review of the literature. *Rev Med Suisse* 27:1830-1834, 2005.
47. Hart, L. Effect of stretching on sport injury risk: A review. *Med Sci Sports Exerc* 36:371-378,

2004.
48. Hedrick, A. Dynamic flexibility training. *Strength Cond J* 22:33-38, 2000.
49. Hedrick, A. Flexibility, body-weight and stability ball exercises. En: *NSCA's Essentials of Personal Training*. Earle, RW y Baechle, TR, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 268-294, 2004.
50. Herbert, RD y Gabriel, M. Effects of stretching before and after exercise on muscle soreness and risk of injury: A systematic review. *Br Med J* 325:468-470, 2002.
51. Hoffman, J. *Physiological Aspects of Sports Training and Perfor mance*. Champaign, IL: Human Kinetics, 156, 2002.
52. Holland, GJ. The physiology of flexibility: A review of the literature. *Kinesthesiol Rev* 1:49-62, 1966.
53. Holt, LE, Travis, TM y Okia, T. Comparative study of three stretching techniques. *Percept Mot Skills* 31:611-616, 1970.
54. Jeffreys, I. Warm-up revisited: The ramp method of optimizing warm-ups. *Prof Strength Cond* 6:12-18, 2007.
55. Johansson, PH, Lindstrom, L, Sundelin, G y Lindstrom, B. The effects of pre-exercise stretching on muscular soreness, tenderness and force loss following heavy eccentric exercise. *Scand J Med Sci Sports* 9:219-225, 1999.
56. Kay, AD y Blazevich, AJ. Effect of acute static stretching on maximal muscle performance: A systematic review. *Med Sci Sports Exerc* 44:154-164, 2012.
57. Knapik, JJ, Bauman, CL y Jones, BH. Preseason strength and flexibility imbalances associated with athletic injuries in female collegiate athletes. *Am J Orthop Soc Sports Med* 19:76-81, 1991.
58. Knapik, JJ, Jones, BH, Bauman, CL y Harris, JM. Strength, flexibility and athletic injuries. *Sports Med* 14:277-288, 1992.
59. Knudson, DV, Magnusson, P y McHugh, M. Current issues in flexibility fitness. *Pres Counc Phys Fit Sports Res Dig* 3:1-6, 2000.
60. Leighton, JR. A study of the effect of progressive weight training on flexibility. *J Assoc Phys Ment Rehabil* 18:101, 1964.
61. Lund, H, Vestergaard-Poulsen, P, Kanstrup, IL y Sejrsen, P The effect of passive stretching on delayed onset muscle soreness, and other detrimental effects following eccentric exercise. *Scand J Med Sci Sports* 8:216-221, 1998.
62. Magnusson, SP, Simonsen, EB, Aagaard, P, Boesen, J, Johannsen, F y Kjaer, M. Determinants of musculoskeletal flexibility: Visco elastic properties, cross-sectional area, EMG and stretch tolerance. *Scand J Med Sci Sports* 7:195-202, 1997.
63. Mahieu, NN, McNair, P, De Muynck, M, Stevens, V, Blanckaert, I, Smits, N y Witvrouw, E. Effect of static and ballistic stretching on the muscle-tendon tissue properties. *Med Sci Sports Exerc* 39:494-501, 2007.
64. Mann, DP y Jones, MT. Guidelines to the implementation of a dynamic stretching program. *Strength Cond J* 21:53-55, 1999.
65. Marek, SM, Cramer, JT, Fincher, AL, Massey, LL, Dangelmaier, SM, Purkayastha, S, Fitz, KA y Culbertson, JY. Acute effects of static and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on muscle strength and power output. *J Athl Train* 40:94-103, 2005.
66. Marshall, JL, Johanson, N, Wickiewicz, TL, Tishler, HM, Koslin, BL, Zeno, S y Myers, A. Joint looseness: A function of the person and the joint. *Med Sci Sports Exerc* 12:189-194, 1980.
67. Massis, M. Flexibility: The missing link in the Power Jigsaw. *Prof Strength Cond* 14:16-19, 2009.
68. McArdle, WD, Katch, FI y Katch, VL. *Exercise Physiology: Energy, Nutrition and Human Performance*. 6.ª ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 574-575, 2007.
69. McAtee, RE y Charland, J. *Facilitated Stretching*. 3.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 13-20, 2007.
70. McFarland, B. Developing maximum running speed. *NSCA J* 6:24 28, 1984.

71. McNeal, JR y Sands, WA. Stretching for performance enhancement. *Curr Sports Med Rep* 5:141-146, 2006.
72. Moore, MA y Hutton, RS. Electromyographic investigation of muscle stretching techniques. *Med Sci Sports Exerc* 12:322-329, 1980.
73. Nelson, AG, Kokkonen, J y Arnall, DA. Acute muscle stretching inhibits muscle strength endurance performance. *J Strength Cond Res* 19:338-343, 2005.
74. Nelson, RT y Bandy, WD. Eccentric training and static stretching improve hamstring flexibility of high school males. *J Athl Train* 39:254-258, 2004.
75. Pope, RP, Herbert, RD, Kirwan, JD y Graham, BJ. A randomised trial of pre-exercise stretching for prevention of lower limb injury. *Med Sci Sports Exerc* 32:271-277, 2000.
76. Power, K, Behm, D, Cahill, F, Carroll, M y Young, W. An acute bout of static stretching: Effects on force and jumping performance. *Med Sci Sports Exerc* 36:1389-1396, 2004.
77. Prentice, WE. A comparison of static stretching and PNF stretching for improving hip joint flexibility. *Athl Train* 18(1):56-59, 1983.
78. Riewald, S. Stretching the limits of knowledge on stretching. *Strength Cond J* 26:58-59, 2004.
79. Roberts, JM y Wilson, K. Effect of stretching duration on active and passive range of motion in the lower extremity. *Br J Sports Med* 33:259-263, 1999.
80. Sady, SP, Wortman, M y Blanket, D. Flexibility training: Ballistic, static or proprioceptive neuromuscular facilitation? *Arch Phys Med Rehabil* 63:261-263, 1992.
81. Safran, MR, Garrett, WE, Seaber, AV, Glisson, RR y Ribbeck, BM. The role of warm-up in muscular injury prevention. *Am J Sports Med* 16:123-129, 1988.
82. Sands, WA. Flexibility. En: *Strength and Conditioning: Biological Principles and Practical Applications*. Cardinale, M, Newton, R y Nosaka, K, eds. Hoboken, NJ: Wiley, 389-398, 2011.
83. Shrier, I. Does stretching improve performance? A systematic and critical review of the literature [review]. *Clin J Sport Med* 14:267 -273, 2004.
84. Shrier, I. Meta-analysis on pre-exercise stretching. *Med Sci Sports Exerc* 36:1832, 2004.
85. Shrier, I. Stretching before exercise: An evidence based approach. *Br J Sports Med* 34:324-325, 2000.
86. Shrier, I. Stretching before exercise does not reduce the risk of local muscle injury: A critical review of the clinical and basic science literature. *Clin J Sport Med* 9:221-227, 1999.
87. Simic, L, Sarabon, N y Markovic, G. Does pre-exercise static stretching inhibit maximal muscular performance? A meta-analytical review. *Scand J Med Sci Sports* 23:131-148, 2013.
88. Tanigawa, MC. Comparison of the hold relax procedure and passive mobilization on increasing muscle length. *Phys Ther* 52:725-735, 1972.
89. Thacker, SB, Gilchrist, J, Stroup, DF y Kimsey, CD, Jr. The impact of stretching on sports injury risk: A systematic review of the literature. *Med Sci Sports Exerc* 36:371-378, 2004.
90. Todd, T. Historical perspective: The myth of the muscle-bound lifter. *NSCA J* 6:37-41, 1985.
91. Voss, DE, Ionta, MK y Myers, BJ. *Proprioceptive Neuromuscular Facilitation: Patterns and Techniques*. 3.ª ed. Philadelphia: Harper & Row, 1-370, 1985.
92. Wallmann, HW, Mercer, JA y McWhorter, JW. Surface electromyographic assessment of the effect of static stretching of the gastrocnemius on vertical jump performance. *J Strength Cond Res* 19:684-688, 2005.
93. Walter, SD, Figoni, SF, Andres, FF y Brown, E. Training intensity and duration in flexibility. *Clin Kinesthesiol* 50:40-45, 1996.
94. Weiss, LW, Cureton, KJ y Thompson, FN. Comparison of serum testosterone and androstenedione responses to weight lifting in men and women. *Eur J Appl Physiol* 50:413-419, 1983.
95. Wilmore, JH, Parr, RB, Girandola, RN, Ward, P, Vodak, PA, Barstow, TJ, Pipes, TV, Romero, GT y Leslie, P. Physiological alterations consequent to circuit weight training. *Med Sci Sport* 10:79-84, 1978.

96. Winters, MV, Blake, CG, Trost, JS, Marcello-Brinker, TB, Lowe, LM, Garber, MB y Wainner, RS. Passive versus active stretch ing of hip flexor muscles in subjects with limited hip extension: A randomized clinical trial. *Phys Ther* 84:800-807, 2004.
97. Witvrouw, E, Mahieu, N, Danneels, L y McNair, P. Stretching and injury prevention: An obscure relationship. *Sports Med* 34:443-449, 2004.
98. Yamaguchi, T e Ishii, K. Effects of static stretching for 30 seconds and dynamic stretching on leg extension power. *J Strength Cond Res* 19:677-683, 2005.
99. Young, WB y Behm, DG. Effects of running, static stretching and practice jumps on explosive force production and jumping performance. *J Sports Med Phys Fitness* 43:21-27, 2003.
100. Young, WB y Behm, DG. Should static stretching be used during a warm up for strength and power activities? *Strength Cond J* 24:33-37, 2002.

CAPÍTULO 15 Técnica de los ejercicios de entrenamiento con pesas libres y con máquinas de pesas

1. Bartelink, DL. The role of abdominal pressure in relieving the pres sure on the lumbar intervertebral discs. *J Bone Joint Surg* 39B:718-725, 1957.
2. Bauer, JA, Fry, A y Carter, C. The use of lumbar-supporting weight belts while performing squats: Erector spinae electromyographic activity. *J Strength Cond Res* 13:384-388, 1999.
3. Hackett, DA y Chow, C. The Valsalva maneuver: Its effect on intra-abdominal pressure and safety issues during resistance exercise. *J Strength Cond Res* 27:2338-2345, 2013.
4. Harman, EA, Rosenstein, RM, Frykman, PN y Nigro, GA. Effects of a belt on intra-abdominal pressure during weight lifting. *Med Sci Sports Exerc* 21:186-190, 1989.
5. Herbert, L y Miller, G. Newer heavy load lifting methods help firms reduce back injuries. *Occup Health Saf* (February):57-60, 1987.
6. Ikeda, ER, Borg, A, Brown, D, Malouf, J, Showers, KM y Li, SL. The Valsalva maneuver revisited: The influence of voluntary breathing on isometric muscle strength. *J Strength Cond Res* 23:127 -132, 2009.
7. Lander, JE, Hundley, JR y Simonton, RL. The effectiveness of weight belts during multiple repetitions of the squat exercise. *Med Sci Sports Exerc* 24:603-609, 1992.
8. Morris, JM, Lucas, BD y Bresler, B. Role of the trunk in stability of the spine. *J Bone Joint Surg* 43A:327-351, 1961.
9. Sogabe, A, Iwasaki, S, Gallager, PM, Edinger, S y Fry, A. Influence of stance width on power production during the barbell squat. *J Strength Cond Res* 24(Suppl):1, 2010.
10. Tillaar, RVD y Saeterbakken, A. The sticking region in three chest-press exercises with increasing degrees of freedom. *J Strength Cond Res* 26:2962-2969, 2012.

CAPÍTULO 16 Técnica de los modos alternativos de ejercicio y del entrenamiento con implementos no tradicionales

1. Anderson, CE, Sforzo, GA y Sigg, JA. The effects of combining elastic and free weight resistance on strength and power in athletes. *J Strength Cond Res* 22:567-574, 2008.
2. Anderson, K y Behm, DG. Trunk muscle activity increases with unstable squat movements. *Can J Appl Physiol* 30:33-45, 2005.
3. Ariel, G. Variable resistance versus standard resistance training. *Scholastic Coach* 46:68-69, 74,

1976.
4. Baker, D. Using strength platforms for explosive performance. En: *High Performance Training for Sports*. Joyce, D y Lewindon, D, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 127-144, 2014.
5. Baker, D y Newton, RU. Methods to increase the effectiveness of maximal power training for the upper body. *Strength Cond J* 27:24-32, 2005.
6. Baker, DG y Newton, RU. Effect of kinetically altering a repetition via the use of chain resistance on velocity during the bench press. *J Strength Cond Res* 23:1941-1946, 2009.
7. Beardsley, C y Contreras, B. The role of kettlebells in strength and conditioning: A review of the literature. *Strength Cond J* 36:64-70, 2014.
8. Behm, DG, Anderson, K y Curnew, RS. Muscle force and activation under stable and unstable conditions. *J Strength Cond Res* 16:416-422, 2002.
9. Behm, DG, Drinkwater, EJ, Willardson, JM y Cowley, PM. Canadian Society for Exercise Physiology position stand: The use of instability to train the core in athletic and nonathletic conditioning. *Appl Physiol Nutr Metab* 35:109-112, 2010.
10. Behm, DG, Drinkwater, EJ, Willardson, JM y Cowley, PM. The use of instability to train the core musculature. *Appl Physiol Nutr Metab* 35:91-108, 2010.
11. Bennett, S. Using «Strongman» exercises in training. *Strength Cond J* 30:42-43, 2008.
12. Berning, JM, Adams, KJ, Climstein, M y Stamford, BA. Metabolic demands of «junkyard» training: Pushing and pulling a motor vehicle. *J Strength Cond Res* 21:853-856, 2007.
13. Berning, JM, Coker, CA y Adams, KJ. Using chains for strength and conditioning. *Strength Cond J* 26:80-84, 2004.
14. Berning, JM, Coker, CA y Briggs, D. The biomechanical and perceptual influence of chain resistance on the performance of the Olympic clean. *J Strength Cond Res* 22:390-395, 2008.
15. Bobbert, MF y Van Soest, AJ. Effects of muscle strengthening on vertical jump height: A simulation study. *Med Sci Sports Exerc* 26:1012-1020, 1994.
16. Bullock, JB y Aipa, DMM. Coaching considerations for the tire flip. *Strength Cond J* 32:75-78, 2010.
17. Campbell, BI y Otto, WHI. Should kettlebells be used in strength and conditioning? *Strength Cond J* 35:27-29, 2013.
18. Caraffa, A, Cerulli, G, Projetti, M, Aisa, G y Rizzo, A. Prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer. A prospective con trolled study of proprioceptive training. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 4:19-21, 1996.
19. Cosio-Lima, LM, Reynolds, KL, Winter, C, Paolone, V y Jones, MT. Effects of physioball and conventional floor exercises on early phase adaptations in back and abdominal core stability and balance in women. *J Strength Cond Res* 17:721-725, 2003.
20. Cotter, S. *Kettlebell Training*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1-24, 2014.
21. Cressey, EM, West, CA, Tiberio, DP, Kraemer, WJ y Maresh, CM. The effects of ten weeks of lower-body unstable surface training on markers of athletic performance. *J Strength Cond Res* 21:561-567, 2007.
22. DeGarmo, R. University of Nebraska in-season resistance training for horizontal jumpers. *Strength Cond J* 22:23, 2000.
23. Drinkwater, EJ, Prichett, EJ y Behm, DG. Effect of instability and resistance on unintentional squat-lifting kinetics. *Int J Sports Physiol Perform* 2:400-413, 2007.
24. Ebben, WP y Jensen, RL. Electromyographic and kinetic analysis of traditional, chain, and elastic band squats. *J Strength Cond Res* 16:547-550, 2002.
25. Escamilla, RF, Zheng, N, Imamura, R, Macleod, TD, Edwards, WB, Hreljac, A, Fleisig, GS, Wilk, KE, Moorman, CT, 3.[a], y Andrews, JR. Cruciate ligament force during the wall squat and the one-leg squat. *Med Sci Sports Exerc* 41:408-417, 2009.
26. Farrar, RE, Mayhew, JL y Koch, AJ. Oxygen cost of kettlebell swings. *J Strength Cond Res* 24:1034-1036, 2010.

27. Findley, BW. Training with rubber bands. *Strength Cond J* 26:68-69, 2004.
28. Fitzgerald, GK, Axe, MJ y Snyder-Mackler, L. The efficacy of perturbation training in nonoperative anterior cruciate ligament rehabilitation programs for physically active individuals. *Phys Ther* 80:128-140, 2000.
29. Fleck, SJ y Kraemer, WJ. *Designing Resistance Training Programs*. 4.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 15-61, 2014.
30. Frost, DM, Cronin, J y Newton, RU. A biomechanical evaluation of resistance: Fundamental concepts for training and sports perfor mance. *Sports Med* 40:303-326, 2010.
31. Grimm, NL, Shea, KG, Leaver, RW, Aoki, SK y Carey, JL. Efficacy and degree of bias in knee injury prevention studies: A systematic review of RCTs. *Clin Orthop Relat Res* 471:308-316, 2013.
32. Hackett, DA y Chow, CM. The Valsalva maneuver: Its effect on intra-abdominal pressure and safety issues during resistance exercise. *J Strength Cond Res* 27:2338-2345, 2013.
33. Haff, GG. Roundtable discussion: Machines versus free weights. *Strength Cond J* 22:18-30, 2000.
34. Hakkinen, K, Pastinen, UM, Karsikas, R y Linnamo, V. Neuromuscular performance in voluntary bilateral and unilateral contraction and during electrical stimulation in men at different ages. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 70:518-527, 1995.
35. Hamlyn, N, Behm, DG y Young, WB. Trunk muscle activation during dynamic weight-training exercises and isometric instability activities. *J Strength Cond Res* 21:1108-1112, 2007.
36. Harman, E. Resistance training modes: A biomechanical perspective. *Strength Cond* 16:59-65, 1994.
37. Harrison, JS. Bodyweight training: A return to basics. *Strength Cond J* 32:52-55, 2010.
38. Harrison, JS, Schoenfeld, B y Schoenfeld, ML. Applications of kettlebells in exercise program design. *Strength Cond J* 33:86-89, 2011.
39. Hedrick, A. Implement training. En: *Conditioning for Strength and Human Performance*. Chandler, TJ y Brown, LE, eds. Philadel phia: Lippincott Williams & Wilkins, 537-558, 2013.
40. Hulsey, CR, Soto, DT, Koch, AJ y Mayhew, JL. Comparison of kettlebell swings and treadmill running at equivalent rating of perceived exertion values. *J Strength Cond Res* 26:1203-1207, 2012.
41. Israetel, MA, McBride, JM, Nuzzo, JL, Skinner, JW y Dayne, AM. Kinetic and kinematic differences between squats performed with and without elastic bands. *J Strength Cond Res* 24:190-194, 2010.
42. Jakobi, JM y Chilibeck, PD. Bilateral and unilateral contractions: Possible differences in maximal voluntary force. *Can J Appl Physiol* 26:12-33, 2001.
43. Jay, K, Frisch, D, Hansen, K, Zebis, MK, Andersen, CH, Mortensen, OS y Andersen, LL. Kettlebell training for musculoskeletal and cardiovascular health: A randomized controlled trial. *Scand J Work Environ Health* 37:196-203, 2011.
44. Keogh, JW, Payne, AL, Anderson, BB y Atkins, PJ. A brief description of the biomechanics and physiology of a strongman event: The tire flip. *J Strength Cond Res* 24:1223-1228, 2010.
45. Kobayashi, Y, Kubo, J, Matsuo, A, Matsubayashi, T, Kobayashi, K y Ishii, N. Bilateral asymmetry in joint torque during squat exercise performed by long jumpers. *J Strength Cond Res* 24:2826 -2830, 2010.
46. Kozub, FM y Voorhis, T. Using bands to create technique-specific resistance training for developing explosive power in wrestlers. *Strength Cond J* 34:92-95, 2012.
47. Lederman, E. The myth of core stability. *J Bodyw Mov Ther* 14:84 -98, 2010.
48. Matthews, M y Cohen, D. The modified kettlebell swing. *Strength Cond J* 35:79-81, 2013.
49. McBride, JM, Cormie, P y Deane, R. Isometric squat force output and muscle activity in stable and unstable conditions. *J Strength Cond Res* 20:915-918, 2006.
50. McCurdy, KW, Langford, GA, Doscher, MW, Wiley, LP y Mallard, KG. The effects of short-term unilateral and bilateral lower-body resistance training on measures of strength and power. *J*

Strength Cond Res 19:9-15, 2005.
51. McGill, SM, Cannon, J y Andersen, JT. Analysis of pushing exer cises: Muscle activity and spine load while contrasting techniques on stable surfaces with a labile suspension strap training system. *J Strength Cond Res* 28:105-116, 2014.
52. McGill, SM y Marshall, LW. Kettlebell swing, snatch, and bottoms-up carry: Back and hip muscle activation, motion, and low back loads. *J Strength Cond Res* 26:16-27, 2012.
53. McGill, SM, McDermott, A y Fenwick, CM. Comparison of different strongman events: Trunk muscle activation and lumbar spine motion, load, and stiffness. *J Strength Cond Res* 23:1148-1161, 2009.
54. McMaster, DT, Cronin, J y McGuigan, M. Forms of variable resistance training. *Strength Cond J* 31:50-64, 2009.
55. McMaster, DT, Cronin, J y McGuigan, MR. Quantification of rubber and chain-based resistance modes. *J Strength Cond Res* 24:2056-2064, 2010.
56. Moffroid, MT, Haugh, LD, Haig, AJ, Henry, SM y Pope, MH. Endurance training of trunk extensor muscles. *Phys Ther* 73:10-17, 1993.
57. Morriss, CJ, Tolfrey, K y Coppack, RJ. Effects of short-term isokinetic training on standing long-jump performance in untrained men. *J Strength Cond Res* 15:498-502, 2001.
58. Myer, GD, Ford, KR y Hewett, TE. New method to identify athletes at high risk of ACL injury using clinic-based measurements and freeware computer analysis. *Br J Sports Med* 45:238-244, 2011.
59. Myer, GD, Paterno, MV, Ford, KR y Hewett, TE. Neuromuscular training techniques to target deficits before return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Strength Cond Res* 22:987-1014, 2008.
60. Nuzzo, JL, McCaulley, GO, Cormie, P, Cavill, MJ y McBride, JM. Trunk muscle activity during stability ball and free weight exercises. *J Strength Cond Res* 22:95-102, 2008.
61. Otto, WH, 3rd, Coburn, JW, Brown, LE y Spiering, BA. Effects of weightlifting vs. kettlebell training on vertical jump, strength, and body composition. *J Strength Cond Res* 26:1199-1202, 2012.
62. Patterson, RM, Stegink Jansen, CW, Hogan, HA y Nassif, MD. Material properties of Thera-Band Tubing. *Phys Ther* 81:1437-1445, 2001.
63. Pipes, TV. Variable resistance versus constant resistance strength training in adult males. *Eur J Appl Physiol* 39:27-35, 1978.
64. Ratamess, N. *ACSM's Foundations of Strength and Conditioning*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 229-253, 2012.
65. Reed, CA, Ford, KR, Myer, GD y Hewett, TE. The effects of iso lated and integrated «core stability» training on athletic performance measures: A systematic review. *Sports Med* 42:697-706, 2012.
66. Santana, JC y Fukuda, DH. Unconventional methods, techniques, and equipment for strength and conditioning in combat sports. *Strength Cond J* 33:64-70, 2011.
67. Santana, JC, Vera-Garcia, FJ y McGill, SM. A kinetic and electromyographic comparison of the standing cable press and bench press. *J Strength Cond Res* 21:1271-1277, 2007.
68. Schoenfeld, BJ y Contreras, BM. The long-lever posterior-tilt plank. *Strength Cond J* 35:98-99, 2013.
69. Simmons, LP. Chain reaction: Accomodating leverages. *Powerlifting USA* 19:2-3, 1996.
70. Simmons, LP. Bands and chains. *Powerlifting USA* 22:26-27, 1999.
71. Snarr, R y Esco, MR. Push-up with knee tuck using a suspension device. *Strength Cond J* 35:30-32, 2013.
72. Snarr, RL y Esco, MR. Electromyographic comparison of traditional and suspension push-ups. *J Hum Kinet* 39:75-83, 2013.
73. Stanton, R, Reaburn, PR y Humphries, B. The effect of shortterm Swiss ball training on core

stability and running economy. *J Strength Cond Res* 18:522-528, 2004.
74. Stevenson, MW, Warpeha, JM, Dietz, CC, Giveans, RM y Erdman, AG. Acute effects of elastic bands during the free-weight barbell back squat exercise on velocity, power, and force production. *J Strength Cond Res* 24:2944-2954, 2010.
75. Stone, MH, Plisk, S y Collins, D. Training principles: Evaluation of modes and methods of resistance-training—a coaching perspec tive. *Sports Biomech* 1:79-104, 2002.
76. Thomas, JF, Larson, KL, Hollander, DB y Kraemer, RR. Comparison of two-hand kettlebell exercise and graded treadmill walking: Effectiveness as a stimulus for cardiorespiratory fitness. *J Strength Cond Res* 28:998-1006, 2014.
77. Tobin, DP. Advanced strength and power training for the elite athlete. *Strength Cond J* 36:59-65, 2014.
78. Tvrdy, D. The reverse side plank/bridge: An alternate exercise for core training. *Strength Cond J* 34:86-88, 2012.
79. Wallace, BJ, Winchester, JB y McGuigan, MR. Effects of elastic bands on force and power characteristics during the back squat exercise. *J Strength Cond Res* 20:268-272, 2006.
80. Waller, M, Piper, T y Townsend, R. Strongman events and strength and conditioning programs. *Strength Cond J* 25:44-52, 2003.
81. Willardson, JM. Core stability training: Applications to sports con ditioning programs. *J Strength Cond Res* 21:979-985, 2007.
82. Willson, JD, Dougherty, CP, Ireland, ML y Davis, IM. Core stability and its relationship to lower extremity function and injury. *J Am Acad Orthop Surg* 13:316-325, 2005.
83. Winwood, PW, Cronin, JB, Posthumus, LR, Finlayson, S, Gill, ND y Keogh, JW. Strongman versus traditional resistance training effects on muscular function and performance. *J Strength Cond Res*, 2015.
84. Winwood, PW, Keogh, JW y Harris, NK. The strength and conditioning practices of strongman competitors. *J Strength Cond Res* 25:3118-3128, 2011.
85. Zatsiorsky, VM y Kraemer, WJ. *Science and Practice of Strength Training*. 2.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 109-136, 2006.
86. Zemke, B y Wright, G. The use of strongman type implements and training to increase sport performance in collegiate athletes. *Strength Cond J* 33:1-7, 2011.

CAPÍTULO 17 Diseño de programas para el entrenamiento con resistencia

1. Anderson, T y Kearney, JT. Muscular strength and absolute and relative endurance. *Res Q Exerc Sport* 53:1-7, 1982.
2. Baechle, TR y Earle, RW. Learning how to manipulate training variables to maximize results. En: *Weight Training: Steps to Success*. 4.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 177-188, 2011.
3. Baker, D y Newton, RU. Acute effect of power output of alternating an agonist and antagonist muscle exercise during complex training. *J Strength CondRes* 19(1):202-205, 2005.
4. Baker, D, Wilson, G y Carlyon, R. Periodization: The effect on strength of manipulating volume and intensity. *J Strength Cond Res* 8:235-242, 1994.
5. Berger, RA. Comparative effects of three weight training programs. *Res Q* 34:396-398, 1963.
6. Berger, RA. Effect of varied weight training programs on strength. *Res Q* 33:168-181, 1962.
7. Berger, RA. Optimum repetitions for the development of strength. *Res Q* 33:334-338, 1962.
8. Bompa, TA y Haff, GG. *Periodization: Theory and Methodology of Training*. 5.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 31-122, 259-286, 2009.
9. Chapman, PP, Whitehead, JR y Binkert, RH. The 225-lb reps-to-fatigue test as a submaximal

estimate of 1RM bench press perfor mance in college football players. *J Strength Cond Res* 12(4):258-261, 1998.
10. Cormie, P, McBride, JM y McCaulley, GO. The influence of body mass on calculation of power during lower-body resistance exercises. *J Strength Cond Res* 21(4):1042-1049, 2007.
11. Cormie, P, McCaulley, GO, Triplett, NT y McBride, JM. Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercises. *Med Sci Sports Exerc* 39(2):340-349, 2007.
12. Cormie, P, McBride, JM y McCaulley, GO. Power-time, forcetime, and velocity-time curve analysis during the jump squat: Impact of load. *J Appl Biomech* 24(2):112-120, 2008.
13. Craig, BW, Lucas, J, Pohlman, R y Schilling, H. The effect of running, weightlifting and a combination of both on growth hormone release. *J Appl Sport Sci Res* 5(4):198-203, 1991.
14. DeLorme, TL. Restoration of muscle power by heavy-resistance exercises. *J Bone Joint Surg* 27:645, 1945.
15. DeLorme, TL y Watkins, AL. Technics of progressive resistance exercise. *Arch Phys Med Rehabil* 29:263-273, 1948.
16. DeRenne, C, Hetzler, RK, Buxton, BP y Ho, KW. Effects of training frequency on strength maintenance in pubescent baseball players. *J Strength Cond Res* 10:8-14, 1996.
17. Dudley, GA, Tesch, PA, Miller, BJ y Buchanan, P. Importance of eccentric actions in performance adaptations to resistance training. *Aviat Space Environ Med* 62:543-550, 1991.
18. Earle, RW. Weight training exercise prescription. En: *Essentials of Personal Training Symposium Workbook*. Lincoln, NE: NSCA Certification Commission, 3-39, 2006.
19. Edgerton, VR. Neuromuscular adaptation to power and endurance work. *Can J Appl Sport Sci* 1:49-58, 1976.
20. Fleck, SJ y Kraemer, WJ. *Designing Resistance Training Programs*. 4.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 1-62, 179-296, 2014.
21. Garhammer, J. A review of power output studies of Olympic and powerlifting: Methodology, performance prediction and evaluation tests. *J Strength Cond Res* 7(2):76-89, 1993.
22. Garhammer, J y McLaughlin, T. Power output as a function of load variation in Olympic and power lifting [abstract]. *J Biomech* 13(2):198, 1980.
23. Gettman, LR y Pollock, ML. Circuit weight training: A critical review of its physiological benefits. *Phys Sportsmed* 9:44-60, 1981.
24. Graves, JE, Pollock, ML, Leggett, SH, Braith, RW, Carpenter, DM y Bishop, LE. Effect of reduced training frequency on muscular strength. *Int J Sports Med* 9:316-319, 1988.
25. Häkkinen, K. Factors affecting trainability of muscular strength during short-term and prolonged training. *NSCA J* 7(2):32-37, 1985.
26. Häkkinen, K. Neuromuscular responses in male and female athletes to two successive strength training sessions in one day. *J Sports Med Phys Fitness* 32:234-242, 1992.
27. Häkkinen, K, Pakarinen, A, Alen, M, Kauhanen, H y Komi, PV. Daily hormonal and neuromuscular responses to intensive strength training in 1 week. *Int J Sports Med* 9:422-428, 1988.
28. Häkkinen, K, Pakarinen, A, Alen, M, Kauhanen, H y Komi, PV. Neuromuscular and hormonal responses in elite athletes to two successive strength training sessions in one day. *Eur J Appl Physiol* 57:133-139, 1988.
29. Harman, E y Frykman, P CSCS coaches' school: Order of exercise: The multiple mini-circuit weight-training program. *NSCA J* 14(1):57-61, 1992.
30. Harman, E, Johnson, M y Frykman, P. CSCS coaches' school: Program design: A movement-oriented approach to exercise prescription. *NSCA J* 14(1):47-54, 1992.
31. Hather, BM, Tesch, PA, Buchanan, P y Dudley, GA. Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta Physiol Scand* 143:177-185, 1992.
32. Hedrick, A. Training for hypertrophy. *Strength Cond* 17(3):22-29, 1995.
33. Herrick, AR y Stone, MH. The effects of periodization versus progressive resistance exercise on

upper and lower body strength in women. *J Strength Cond Res* 10(2):72-76, 1996.
34. Hickson, R, Rosenkoetter, MA y Brown, MM. Strength training effects on aerobic power and short-term endurance. *Med Sci Sports Exerc* 12:336-339, 1980.
35. Hoeger, W, Barette, SL, Hale, DF y Hopkins, DR. Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum. *J Appl Sport Sci Res* 1(1):11-13, 1987.
36. Hoeger, W, Hopkins, DR, Barette, SL y Hale, DF. Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum: A comparison between untrained and trained males and females. *J Appl Sport Sci Res* 4:47-54, 1990.
37. Hoffman, JR, Kraemer, WJ, Fry, AC, Deschenes, M y Kemp, M. The effects of self-selection for frequency of training in a winter conditioning program for football. *J Appl Sport Sci Res* 4:76-82, 1990.
38. Hoffman, JR, Maresh, CM, Armstrong, LE y Kraemer, WJ. Effects of off-season and in-season resistance training programs on a collegiate male basketball team. *J Hum Muscle Perform* 1:48-55, 1991.
39. Hunter, GR. Changes in body composition, body build and perfor mance associated with different weight training frequencies in males and females. *NSCA J* 7(1):26-28, 1985.
40. Ikai, M y Fukunaga, T. Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic mea surement. *Int Z Angew Physiol* 26:26-32, 1968.
41. Komi, PV. Neuromuscular performance: Factors influencing force and speed production. *Scand J Sports Sci* 1:2-15, 1979.
42. Kraemer, WJ. Endocrine responses and adaptations to strength and power training. En: *The Encyclopaedia of Sports Medicine: Strength and Power in Sport*. 2.ª ed. Komi, PV, ed. Malden, MA: Blackwell Scientific, 361-386, 2003.
43. Kraemer, WJ. Exercise prescription in weight training: A needs analysis. *NSCA J* 5(1):64-65, 1983.
44. Kraemer, WJ. A series of studies: The physiological basis for strength training in American football: Fact over philosophy. *J Strength Cond Res* 11(3):131-142, 1997.
45. Kraemer, WJ y Koziris, LP. Muscle strength training: Techniques and considerations. *Phys Ther Pract* 2:54-68, 1992.
46. Kraemer, WJ, Newton, RU, Bush, J, Volek, J, Triplett, NT y Koziris, LP. Varied multiple set resistance training program produces greater gain than single set program. *Med Sci Sports Exerc* 27:S195, 1995.
47. Kraemer, WJ, Noble, BJ, Clark, MJ y Culver, BW. Physiologic responses to heavy resistance exercise with very short rest periods. *Int J Sports Med* 8:247-252, 1987.
48. Kramer, JB, Stone, MH, O'Bryant, HS, Conley, MS, Johnson, RL, Nieman, DC, Honeycutt, DR y Hoke, TP. Effects of single vs. multiple sets of weight training: Impact of volume, intensity, and variation. *J Strength Cond Res* 11(3):143-147, 1997.
49. Lander, J. Maximum based on reps. *NSCA J* 6(6):60-61, 1984.
50. Larson, GD, Jr. y Potteiger, JA. A comparison of three different rest intervals between multiple squat bouts. *J Strength Cond Res* 11(2):115-118, 1997.
51. LeSuer, DA, McCormick, JH, Mayhew, JL, Wasserstein, RL y Arnold, MD. The accuracy of predicting equations for estimating 1RM performance in the bench press, squat, and deadlift. *J Strength Cond Res* 11(4):211-213, 1997.
52. Luthi, JM, Howald, H, Claassen, H, Rosler, K, Vock, P y Hoppler, H. Structural changes in skeletal muscle tissue with heavy-resistance exercise. *Int J Sports Med* 7:123-127, 1986.
53. Marcinik, EJ, Potts, J, Schlabach, G, Will, S, Dawson, P y Hurley, BF. Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Med Sci Sports Exerc* 23:739-743, 1991.
54. Mayhew, JL, Ball, TE, Arnold, ME y Bowen, JC. Relative muscular endurance performance as a predictor of bench press strength in college men and women. *J Appl Sport Sci Res* 6(4):200-206, 1992.

55. Mayhew, JL, Ware, JS, Bemben, MG, Wilt, B, Ward, TE, Farris, B, Juraszek, J y Slovak, JP. The NFL-225 test as a measure of bench press strength in college football players. *J Strength Cond Res* 13(2):130-134, 1999.
56. Mayhew, JL, Ware, JS y Prinster, JL. Using lift repetitions to predict muscular strength in adolescent males. *NSCA J* 15(6):35-38, 1993.
57. McBride, JM, Triplett-McBride, T, Davie, A y Newton, RU. The effect of heavyvs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *J Strength Cond Res* 16(1):75-82, 2002.
58. McBride, JM, McCaulley, GO, Cormie, P, Nuzzo, JL, Cavill, MJ y Triplett, NT. Comparison of methods to quantify volume during resistance exercise. *J Strength Cond Res* 23(1):106-110, 2009.
59. McBride, JM, Kirby, TJ, Haines, TL y Skinner, J. Relationship between relative net vertical impulse and jump height in jump squats performed to various squat depths and with various loads. *Int J Sports Physiol Perform* 5(4):484-496, 2010.
60. McBride, JM, Skinner, JW, Schafer, PC, Haines, TL y Kirby, TJ. Comparison of kinetic variables and muscle activity during a squat vs. a box squat. *J Strength Cond Res* 24(12):3195-3199, 2010.
61. McBride, JM, Haines, TL y Kirby, TJ. Effect of loading on peak power of the bar, body, and system during power cleans, squats, and jump squats. *J Sports Sci* 29(11):1215-1221, 2011.
62. McBride, JM y Snyder, JG. Mechanical efficiency force-time curve variation during repetitive jumping in trained and untrained jumpers. *Eur J Appl Physiol* 112(10):3469-3477, 2012.
63. McDonagh, MJN y Davies, CTM. Adaptive response of mamma lian skeletal muscle to exercise with high loads. *Eur J Appl Physiol* 52:139-155, 1984.
64. McGee, D, Jessee, TC, Stone, MH y Blessing, D. Leg and hip endurance adaptations to three weight-training programs. *J Appl Sport Sci Res* 6:92-95, 1992.
65. Morales, J y Sobonya, S. Use of submaximal repetition tests for predicting 1-RM strength in class athletes. *J Strength Cond Res* 10(3):186-189, 1996.
66. Newton, RU y Kraemer, WJ. Developing explosive muscular power: Implications for a mixed methods training strategy. *NSCA J* 16(5):20-31, 1994.
67. Newton, RU, Kraemer, WJ, Hakkinen, K, Humphries, BJ y Murphy, AJ. Kinematics, kinetics, and muscle activation during explosive upper body movements: Implications for power development. *J Appl Biomech* 12:31-43, 1996.
68. Nuzzo, JL y McBride, JM. The effect of loading and unloading on muscle activity during the jump squat. *J Strength Cond Res* 27(7):1758-1764, 2013.
69. O'Bryant, HS, Byrd, R y Stone, MH. Cycle ergometer performance and maximum leg and hip strength adaptations to two different methods of weight training. *J Appl Sport Sci Res* 2:27-30, 1988.
70. O'Shea, P. Effects of selected weight training programs on the development of strength and muscle hypertrophy. *Res Q* 37:95-102, 1966.
71. Ostrowski, KJ, Wilson, GJ, Weatherby, R, Murphy, PW y Lyttle, AD. The effect of weight training volume on hormonal output and muscular size and function. *J Strength Cond Res* 11(3):148-154, 1997.
72. Pauletto, B. Choice and order of exercise. *NSCA J* 8(2):71-73, 1986.
73. Pauletto, B. Intensity. *NSCA J* 8(1):33-37, 1986.
74. Pauletto, B. Rest and recuperation. *NSCA J* 8(3):52-53, 1986.
75. Pauletto, B. Sets and repetitions. *NSCA J* 7(6):67-69, 1985.
76. Richardson, T. Program design: Circuit training with exercise machines. *NSCA J* 15(5):18-19, 1993.
77. Robinson, JM, Stone, MH, Johnson, RL, Penland, CM, Warren, BJ y Lewis, RD. Effects of different weight training exercise/ rest intervals on strength, power, and high intensity exercise endurance. *J Strength Cond Res* 9(4):216-221, 1995.
78. Roundtable: Circuit training. *NSCA J* 12(2):16-27, 1990.

79. Roundtable: Circuit training—part II. *NSCA J* 12(3):10-21, 1990.
80. Sale, DG, MacDougall, JD, Jacobs, I y Garner, S. Interaction between concurrent strength and endurance training. *J Appl Physiol* 68:260-270, 1990.
81. Santa Maria, DL, Grzybinski, P y Hatfield, B. Power as a function of load for a supine bench press exercise. *NSCA J* 6(6):58, 1984.
82. Sewall, LP y Lander, JE. The effects of rest on maximal efforts in the squat and bench press. *J Appl Sport Sci Res* 5:96-99, 1991.
83. Sforzo, GA y Touey, PR. Manipulating exercise order affects muscular performance during a resistance exercise training session. *J Strength Cond Res* 10(1):20-24, 1996.
84. Sobonya, S y Morales, J. The use of maximal repetition test for prediction of 1 repetition maximum loads [abstract]. *Sports Med Train Rehabil* 4:154, 1993.
85. Staron, RS, Malicky, ES, Leonardi, MJ, Falkel, JE, Hagerman, FC y Dudley, GA. Muscle hypertrophy and fast fiber type conver sions in heavy resistance-trained women. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 60:71-79, 1989.
86. Stone, MH y O'Bryant, HS. *Weight Training: A Scientific Approach*. Minneapolis: Burgess, 104-190, 1987.
87. Stone, MH, O'Bryant, HS, Garhammer, J, McMillan, J y Rozenek, R. A theoretical model of strength training. *NSCA J* 4(4):36-40, 1982.
88. Stone, MH y Wilson, D. Resistive training and selected effects. *Med Clin N Am* 69:109-122, 1985.
89. Stowers, T, McMillan, J, Scala, D, Davis, V, Wilson, D y Stone, MH. The short-term effects of three different strength-power training methods. *NSCA J* 5(3):24-27, 1983.
90. Tan, B. Manipulating resistance training program variables to opti mize maximum strength in men. *J Strength Cond Res* 13(3):289-304, 1999.
91. Tesch, PA. Training for bodybuilding. En: *The Encyclopaedia of Sports Medicine: Strength and Power in Sport*. 1.ª ed. Komi, PV, ed. Malden, MA: Blackwell Scientific, 370-380, 1992.
92. Tesch, PA y Larson, L. Muscle hypertrophy in body builders. *Eur J Appl Physiol* 49:301-306, 1982.
93. Wagner, LL, Evans, SA, Weir, JP, Housh, TJ y Johnson, GO. The effect of grip width on bench press performance. *Int J Sport Biomech* 8:1-10, 1992.
94. Ware, JS, Clemens, CT, Mayhew, JL y Johnston, TJ. Muscular endurance repetitions to predict bench press and squat strength in college football players. *J Strength Cond Res* 9(2):99-103, 1995.
95. Weir, JP, Wagner, LL y Housh, TJ. The effect of rest interval length on repeated maximal bench presses. *J Strength Cond Res* 8(1):58-60, 1994.
96. Weiss, L. The obtuse nature of muscular strength: The contribution of rest to its development and expression. *J Appl Sport Sci Res* 5(4):219-227, 1991.
97. Wilk, KE, Escamilla, RF, Fleisig, GS, Barrentine, SW, Andrews, JR y Boyd, ML. A comparison of tibiofemoral joint forces and electromyographic activity during open and closed chain exercises. *Am J Sports Med* 24(4):518-527, 1996.
98. Wilk, KE, Yenchak, AJ, Arrigo, CA y Andrews, JR. The advanced throwers ten exercise program: A new exercise series for enhanced dynamic shoulder control in the overhead throwing athlete. *Phys Sportsmed* 39:90-97, 2011.
99. Willoughby, DS. The effects of mesocycle-length weight training programs involving periodization and partially equated volumes on upper and lower body strength. *J Strength Cond Res* 7:2-8, 1993.
100. Wilson, G, Elliott, B y Kerr, G. Bar path and force profile characteristics for maximal and submaximal loads in the bench press. *Int J Sport Biomech* 5:390-402, 1989.

CAPÍTULO 18 Diseño de programas y técnica para el

entrenamiento pliométrico

1. Albert, M. *Eccentric Muscle Training in Sports and Orthopaedics*. New York: Churchill Livingstone, 1995.
2. Allerheilegen, B y Rogers, R. Plyometrics program design. *Strength Cond* 17:26-31, 1995.
3. Asmussen, E y Bonde-Peterson, F. Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiol Scand* 91:385-392, 1974.
4. Aura, O y Viitasalo, JT. Biomechanical characteristics ofjumping. *Int J Sports Biomech* 5:89-97, 1989.
5. Bobbert, MF. Drop jumping as a training method for jumping ability. *Sports Med* 9:7-22, 1990.
6. Bobbert, MF, Gerritsen, KGM, Litjens, MCA y Van Soest, AJ. Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Med Sci Sports Exerc* 28:1402-1412, 1996.
7. Borkowski, J. Prevention of pre-season muscle soreness: Plyometric exercise [abstract]. *Athl Train* 25:122, 1990.
8. Bosco, C, Ito, A, Komi, PV, Luhtanen, P, Rahkila, P, Rusko, H y Viitasalo, JT. Neuromuscular function and mechanical efficiency of human leg extensor muscles during jumping exercises. *Acta Physiol Scand* 114:543-550, 1982.
9. Bosco, C y Komi, PV. Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through prestretching. *Acta Physiol Scand* 106:467-472, 1979.
10. Bosco, C, Komi, PV e Ito, A. Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. *Acta Physiol Scand* 111:135-140, 1981.
11. Bosco, C, Viitasalo, JT, Komi, PV y Luhtanen, P. Combined effect of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch shortening cycle exercise. *Acta Physiol Scand* 114:557-565, 1982.
12. Cavagna, GA. Storage and utilization of elastic energy in skeletal muscle. En: *Exercise and Sport Science Reviews*, vol. 5. Hutton, RS, ed. Santa Barbara, CA: Journal Affiliates, 80-129, 1977.
13. Cavagna, GA, Dusman, B y Margaria, R. Positive work done by a previously stretched muscle. *J Appl Physiol* 24:21-32, 1968.
14. Cavagna, GA, Saibere, FP y Margaria, R. Effect of negative work on the amount of positive work performed by an isolated muscle. *J Appl Physiol* 20:157-158, 1965.
15. Chambers, C, Noakes, TD, Lambert, EV y Lambert, MI. Time course of recovery of vertical jump height and heart rate versus running speed after a 90-km foot race. *J Sports Sci* 16:645-651, 1998.
16. Chu, D. *Jumping Into Plyometrics*. 2.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 1998
17. Chu, D, Faigenbaum, A y Falkel, J. *Progressive Plyometrics for Kids*. Monterey, CA: Healthy Learning, 2006.
18. Chu, D y Plummer, L. Jumping into plyometrics: The language of plyometrics. *NSCA J* 6:30-31, 1984.
19. Dillman, CJ, Fleisig, GS y Andrews, JR. Biomechanics of pitching with emphasis upon shoulder kinematics. *J Orthop Sports Phys Ther* 18:402-408, 1993.
20. Dursenev, L y Raeysky, L. Strength training for jumpers. *Soviet Sports Rev* 14:53-55, 1979.
21. Enoka, RM. *Neuromechanical Basis of Kinesiology*. 2.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 1994.
22. Escamilla, RF, Fleisig, GS, Barrentine, SW y Andrews, JR. Kinematic comparisons of throwing different types of baseball pitches. *J Appl Biomech* 14:1-23, 1998.
23. Feltner, M y Dapena, J. Dynamics of the shoulder and elbow joints of the throwing arm during a baseball pitch. *Int J Sports Biomech* 2:235, 1986.
24. Fowler, NE, Lees, A y Reilly, T. Changes in stature follow ing plyometric drop-jump and pendulum exercises. *Ergonomics* 40:1279-1286, 1997.
25. Fowler, NE, Lees, A y Reilly, T. Spinal shrinkage in unloaded and loaded drop-jumping. *Ergonomics* 37:133-139, 1994.

26. Gambetta, V. Plyometric training. *Track Field Q Rev* 80:56-57, 1978.
27. Guyton, AC y Hall, JE. *Textbook ofMedicalPhysiology*. 10.ª ed. Philadelphia: Saunders, 2000.
28. Halling, AH, Howard, ME y Cawley, PW. Rehabilitation of anterior cruciate ligament injuries. *Clin Sports Med* 12:329-348, 1993.
29. Harman, EA, Rosenstein, MT, Frykman, PN y Rosenstein, RM. The effects of arms and countermovement on vertical jumping. *Med Sci Sports Exerc* 22:825-833, 1990.
30. Hewett, TE, Stroupe, AL, Nance, TA y Noyes, FR. Plyometric training in female athletes. *Am J Sports Med* 24:765-773, 1996.
31. Hill, AV. *First and Last Experiments in Muscle Mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1970.
32. Holcomb, WR, Kleiner, DM y Chu, DA. Plyometrics: Consider ations for safe and effective training. *Strength Cond* 20:36-39, 1998.
33. Kaeding, CC y Whitehead, R. Musculoskeletal injuries in adolescents. *Prim Care* 25:211-223, 1998.
34. Karst, GM y Willett, GM. Onset timing of electromyographic activity in the vastus medialis oblique and vastus lateralis muscles in subjects with and without patellofemoral pain syndrome. *Phys Ther* 75:813-823, 1995.
35. Kilani, HA, Palmer, SS, Adrian, MJ y Gapsis, JJ. Block of the stretch reflex of vastus lateralis during vertical jump. *Hum Mov Sci* 8:247-269, 1989.
36. Knowlton, GC y Britt, LP. Relation of height and age to reflex time [abstract]. *Am J Physiol* 159:576, 1949.
37. Korchemny, R. Evaluation of sprinters. *NSCA J* 7:38-42, 1985.
38. Kroll, W. Patellar reflex time and reflex latency under Jendrassik and crossed extensor facilitation. *Am J Phys Med* 47:292-301, 1968.
39. LaChance, P Plyometric exercise. *Strength Cond* 17:16-23, 1995.
40. Lipp, EJ. Athletic physeal injury in children and adolescents. *Orthop Nurs* 17:17-22, 1998.
41. Luhtanen, P y Komi, P Mechanical factors influencing running speed. En: *Biomechanics VI-B*. Asmussen, E, ed. Baltimore: Univer sity Park Press, 23-29, 1978.
42. Matthews, PBC. The knee jerk: Still an enigma? *Can J Physiol Pharm* 68:347-354, 1990.
43. Myer, GD, Paterno, MV, Ford, KR y Hewett, TE. Neuromuscular training techniques to target deficits before return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Strength Cond Res* 22:987-1014, 2008.
44. National Strength and Conditioning Association. Position statement: Explosive/plyometric exercises. *NSCA J* 15:16, 1993.
45. Newton, RU, Murphy, AJ, Humphries, BJ, Wilson, GJ, Kraemer, WJ y Hakkinen, K. Influence of load and stretch shortening cycle on the kinematics, kinetics and muscle activation that occurs during explosive upper-body movements. *Eur J Appl Physiol* 75:333-342, 1997.
46. Pappas, AM, Zawacki, RM y Sullivan, TJ. Biomechanics of baseball pitching: A preliminary report. *Am J Sports Med* 13:216-222, 1985.
47. Potach, DH, Katsavelis, D, Karst, GM, Latin, RW y Stergiou, N. The effects of a plyometric training program on the latency time of the quadriceps femoris and gastrocnemius short-latency responses. *J Sports Med Phys Fitness* 49:35-43, 2009.
48. Radcliffe, JC y Osternig, LR. Effects on performance of variable eccentric loads during depth jumps. *J Sport Rehabil* 4:31-41, 1995.
49. Stone, MH y O'Bryant, HS. *Weight Training: A Scientific Approach*. Minneapolis: Burgess International, 1987.
50. Svantesson, U, Grimby, G y Thomee, R. Potentiation of concentric plantar flexion torque following eccentric and isometric muscle actions. *Acta Physiol Scand* 152:287-293, 1994.
51. Voight, ML, Draovitch, P y Tippett, S. Plyometrics. En: *Eccentric Muscle Training in Sports and Orthopaedics*. Albert, M, ed. New York: Churchill Livingstone, 61-88, 1995.

52. Wathen, D. Literature review: Plyometric exercise. *NSCA J* 15:17-19, 1993.
53. Wilk, KE, Voight, ML, Keirns, MA, Gambetta, V, Andrews, JR y Dillman, CJ. Stretch-shortening drills for the upper extremities: Theory and clinical applications. *J Orthop Sports Phys Ther* 17:225 -239, 1993.
54. Wilson, GJ, Murphy, AJ y Giorgi, A. Weight and plyometric training: Effects on eccentric and concentric force production. *Can J Appl Physiol* 21:301-315, 1996.
55. Wilson, GJ, Newton, RU, Murphy, AJ y Humphries, BJ. The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med Sci Sports Exerc* 25:1279-1286, 1993.
56. Wilt, F. Plyometrics: What it is and how it works. *Athl J* 55:76, 89-90, 1975.

CAPÍTULO 19 Diseño de programas y técnica para el entrenamiento de la velocidad y la agilidad

1. Aagaard, P, Simonsen, EB, Andersen, JL, Magnusson, P y Dyhre-Poulsen, P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol* 93:1318-1326, 2002.
2. Alcaraz, PE, Palao, JM y Elvira, JLL. Determining the optimal load for resisted sprint training with sled towing. *J Strength Cond Res* 23:480-485, 2009.
3. Alexander, RM. Mechanics of skeleton and tendons. En: *Handbook of Physiology, Section 1: The Nervous System*. Brookhardt, JM, Mountcastle, VB, Brooks, VB y Greiger, SR, eds. Bethesda, MD: American Physiological Society, 17-42, 1981.
4. Alexander, RM. *Principles of Animal Locomotion*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2003.
5. Angelozzi, M, Madama, M, Corsica, C, Calvisi, V, Properzi, G, McCaw, ST y Cacchio, A. Rate of force development as an adjunctive outcome measure for return-to-sport decisions after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 42:772-780, 2012.
6. Arabatzi, F y Kellis, E. Olympic weightlifting training causes different knee muscle-coactivation adaptations compared with tra ditional weight training. *J Strength Cond Res* 26:2192-2201, 2012.
7. Astrand, PO, Rodahl, K, Dahl, HA y Stromme, SB. *Textbook of Work Physiology*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2003.
8. Barnes, JL, Schilling, BK, Falvo, MJ, Weiss, LW, Creasy, AK y Fry, AC. Relationship ofjumping and agility performance in female volleyball athletes. *J Strength Cond Res* 21:1192-1196, 2007.
9. Biewener, AA. *Animal Locomotion*. Oxford: Oxford University Press, 230-262, 2003.
10. Blickhan, R. The spring-mass model for running and hopping. *J Biomech* 22:1217-1227, 1989.
11. Bloomfield, J, Polman, R, O'Donoghue, P y McNaughton, L. Effective speed and agility conditioning methodology for random intermittent dynamic type sports. *J Strength Cond Res* 21:1093-1100, 2007.
12. Bosquet, L, Berryman, N y Dupuy, O. A comparison of 2 optical timing systems designed to measure flight time and contact time during jumping and hopping. *J Strength Cond Res* 23:2660-2665, 2009.
13. Bundle, MW, Hoyt, RW y Weyand, PG. High-speed running performance: A new approach to assessment and prediction. *J Appl Physiol* 95:1955-1962, 2003.
14. Burke, RE. Motor units: Anatomy, physiology, and functional organization. En: *Handbook of Physiology, Section 1: The Nervous System*. Brookhart, JM, Mountcastle, VB, Brooks, VB y Greiger, SR, eds. Bethesda, MD: American Physiological Society, 345-422, 1981.
15. Castillo-Rodriguez, A, Fernandez-Garcia, JC, Chinchilla-Minguet, JL y Carnero, EA. Relationship between muscular strength and sprints with changes of direction. *J Strength Cond Res* 26:725-732, 2012.
16. Chaouachi, A, Brughelli, M, Chamari, K, Levin, GT, Abdelkrim, NB, Laurencelle, L y Castagna,

C. Lower limb maximal dynamic strength and agility determinants in elite basketball players. *J Strength Cond Res* 23:1570-1577, 2009.
17. Clark, KP y Weyand, PG. Are running speeds maximized with simple-spring stance mechanics? *J Appl Physiol* 117:604-615, 2014.
18. Comfort, P, Udall, R y Jones, PA. The effect of loading on kinematic and kinetic variables during the midthigh clean pull. *J Strength Cond Res* 26:1208-1214, 2012.
19. Cormie, P, McGuigan, MR y Newton, RU. Influence of strength on magnitude and mechanisms of adaptation to power training. *Med Sci Sports Exerc* 42:1566-1581, 2010.
20. Cottle, CA, Carlson, LA y Lawrence, MA. Effects of sled towing on sprint starts. *J Strength Cond Res* 28:1241-1245, 2014.
21. Dalleau, G, Belli, A, Bourdin, M y Lacour, JR. The spring-mass model and the energy cost of treadmill running. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 77:257-263, 1998.
22. DeWeese, BH, Grey, HS, Sams, ML, Scruggs, SK y Serrano, AJ. Revising the definition of periodization: Merging historical principles with modern concern. *Olympic Coach* 24:5-19, Winter 2013.
23. DeWeese, BH, Sams, ML y Serrano, AJ. Sliding toward Sochi— part 1: A review of programming tactics used during the 2010-2014 Quadrennial. *NSCA Coach* 1:30-43, 2014.
24. DeWeese, BH, Serrano, AJ, Scruggs, SK y Burton, JK. The midthigh pull: Proper application and progressions of a weightlifting movement derivative. *Strength Cond J* 35:54-58, 2013.
25. Dietz, V. Neuronal control of functional movement. En: *The Ency clopedia of Sports Medicine: Strength and Power in Sport*. Komi, PV, ed. Oxford: Blackwell Science, 11-26, 2003.
26. Dillman, CJ. Kinematic analyses of running. *Exerc Sport Sci Rev* 3:193-218, 1975.
27. Dutto, DJ y Smith, GA. Changes in spring-mass characteristics during treadmill running to exhaustion. *Med Sci Sports Exerc* 34:1324-1331, 2002.
28. Enoka, RM. Eccentric contractions require unique activation strat egies by the nervous system. *J Appl Physiol* 81:2339-2346, 1996.
29. Farley, CT y Gonzalez, O. Leg stiffness and stride frequency in human running. J *Biomech* 29:181-186, 1996.
30. Fry, AC, Schilling, BK, Staron, RS, Hagerman, FC, Hikida, RS y Thrush, JT. Muscle fiber characteristics and performance correlates of male Olympic-style weightlifters. *J Strength Cond Res* 17:746 -754, 2003.
31. Gabbett, TJ, Kelly, JN y Sheppard, JM. Speed, change of direction speed, and reactive agility of rugby league players. *J Strength Cond Res* 22:174-181, 2008.
32. Haff, GG y Nimphius, S. Training principles for power. *Strength Cond J* 34:2-12, 2012.
33. Hakkinen, K. Neuromuscular adaptation during strength training, age, detraining, and immobilization. *Crit Rev Phys Rehabil Med* 6:161-198, 1994.
34. Hakkinen, K y Komi, PV. Changes in electrical and mechanical behavior of leg extensor muscle during heavy resistance strength training. *Scand J Sport Sci* 7:55-64, 1985.
35. Hartmann, J y Tunneemann, H. *Fitness and Strength Training*. Berlin: Sportverlag, 50-69, 1989.
36. Hawley, JA, ed. *Running*. Oxford: Blackwell Science, 28-43, 2000.
37. Hodgson, M, Docherty, D y Robbins, D. Post-activation potentiation: Underlying physiology and implications for motor performance. *Sports Med* 35:585-595, 2005.
38. Houck, J. Muscle activation patterns of selected lower extremity muscles during stepping and cutting tasks. *J Electromyogr Kinesiol* 13:545-554, 2003.
39. Houk, JC y Rymer, WZ. Neural control of muscle length and tension. En: *Handbook of Physiology, Section 1: The Nervous System*. Brookhart, JM, Mountcastle, VB, Brooks, VB y Greiger, SR, eds. Bethesda, MD: American Physiological Society, 257-323, 1981.
40. Jakalski, K. The pros and cons of using resisted and assisted training methods with high school sprinters parachutes, tubing, and towing. *Track Coach*, 4585-4589, 1998.
41. Jones, P, Bampouras, T y Marrin, K. An investigation into the physical determinants of change of

direction speed. *J Sports Med Phys Fitness* 49:97-104, 2009.
42. Kawamori, N, Newton, RU, Hori, N y Nosaka, K. Effects of weighted sled towing with heavy versus light load on sprint accel eration ability. *J Strength Cond Res* 28:2738-2745, 2014.
43. Komi, PV. Neuromuscular performance: Factors inflencing force and speed production. *Scand J Sport Sci* 1:2-15, 1979.
44. Komi, PV. Training of muscle strength and power: Interaction of neuromotoric, hypertrophic, and mechanical factors. *Int J Sports Med* 7 suppl 1:10-15, 1986.
45. Komi, PV. Stretch-shortening cycle. En: *The Encyclopedia of Sports Medicine: Strength and Power in Sport*. Komi, PV, ed. Oxford: Blackwell Science, 184-202, 2003.
46. Komi, PV y Nicol, C. Stretch-shortening cycle of muscle function. En: *Biomechanics in Sport*. Zatsiorsky, VM, ed. Oxford: Blackwell Science, 87-102, 2000.
47. Kraemer, WJ y Looney, D. Underlying mechanisms and physiology of muscular power. *Strength Cond J* 34:13-19, 2012.
48. Kyrolainen, H, Komi, PV y Belli, A. Changes in muscle activity patterns and kinetics with increasing running speed. *J Strength Cond Res* 13:400-406, 1999.
49. Letzelter, M, Sauerwein, G y Burger, R. Resistance runs in speed development. *Modern Coach and Athlete* 33:7-12, 1995.
50. Lloyd, RS, Read, P, Oliver, JL, Meyers, RW, Nimphius, S y Jeffreys, I. Considerations for the development of agility during childhood and adolescence. *Strength Cond J* 35:2-11, 2013.
51. Lockie, RG, Murphy, AJ y Spinks, CD. Effects of resisted sled towing on sprint kinematics in field sport athletes. *J Strength Cond Res* 17:760-767, 2003.
52. Mann, RV. *The Mechanics of Sprinting and Hurdling*. Lexington, KY: CreateSpace, 89-125, 2011.
53. Mann, RV y Herman, J. Kinematic analysis of Olympic sprint performance: Men's 200 meters. *Int J Sports Biomech* 1:151-162, 1985.
54. Marshall, BM, Franklyn-Miller, AD, King, EA, Moran, KA, Strike, SC y Falvey, EC. Biomechanical factors associated with time to complete a change of direction cutting maneuver. *J Strength Cond Res* 28:2845-2851, 2014.
55. Mero, A y Komi, PV. Electromyographic activity in sprinting at speeds ranging from sub-maximal to supra-maximal. *Med Sci Sports Exerc* 19:266-274, 1987.
56. Moolyk, AN, Carey, JP y Chiu, LZ. Characteristics of lower extremity work during the impact phase of jumping and weightlifting. J *Strength Cond Res* 27:3225-3232, 2013.
57. Naczk, M, Naczk, A, Brzenczek-Owczarzak, W, Arlet, J y Adach, Z. Relationship between maximal rate of force development and maximal voluntary contractions. *Studies in Physical Culture and Tourism* 17:301-306, 2010.
58. Nimphius, S. Increasing agility. En: *High-Performance Training for Sports*. Joyce, D y Lewindon, D, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 185-198, 2014.
59. Nimphius, S, Geib, G, Spiteri, T y Carlisle, D. «Change of direction deficit» measurement in Division I American football players. *Journal of Australian Strength and Conditioning* 21:115-117, 2013.
60. Nimphius, S, McGuigan, MR y Newton, RU. Changes in muscle architecture and performance during a competitive season in female softball players. *J Strength Cond Res* 26:2655-2666, 2012.
61. Nimphius, S, Spiteri, T, Seitz, L, Haff, E y Haff, G. Is there a pacing strategy during a 505 change of direction test in adolescents? *J Strength Cond Res* 27:S104-S105, 2013.
62. Paddon-Jones, D, Leveritt, M, Lonergan, A y Abernethy, P. Adaptation to chronic eccentric exercise in humans: The influence of contraction velocity. *Eur J Appl Physiol* 85:466-471, 2001.
63. Pauole, K, Madole, K, Garhammer, J, Lacourse, M y Rozenek, R. Reliability and validity of the T-test as a measure of agility, leg power, and leg speed in college-aged men and women. *J Strength Cond Res* 14:443-450, 2000.
64. Porter, JM, Nolan, RP, Ostrowski, EJ y Wulf, G. Directing attention externally enhances agility

performance: A qualitative and quantitative analysis of the efficacy of using verbal instructions to focus attention. *Front Psychol* 1:216, 2010.
65. Putnam, CA y Kozey, JW. Substantive issues in running. En: *Bio mechanics of Sport.* Vaughn, CL, ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 1-33, 1989.
66. Robbins, DW. Postactivation potentiation and its practical applica bility: A brief review. *J Strength Cond Res* 19:453-458, 2005.
67. Ross, A y Leveritt, M. Long-term metabolic and skeletal muscle adaptations to short-sprint training: Implications for sprint training and tapering. *Sports Med* 31:1063-1082, 2001.
68. Ross, A, Leveritt, M y Riek, S. Neural influences on sprint running: Training adaptations and acute responses. *Sports Med* 31:409-425, 2001.
69. Sale, DG. Postactivation potentiation: Role in human performance. *Exerc Sport Sci Rev* 30:138-143, 2002.
70. Sasaki, S, Nagano, Y, Kaneko, S, Sakurai, T y Fukubayashi, T. The relationship between performance and trunk movement during change of direction. *J Sports Sci Med* 10:112, 2011.
71. Schmidtbleicher, D. Strength training (part 1): Structural analysis of motor strength qualities and its application to training. *Sci Per Res Tech Sport: Phys Training/Strength* W-4:1-12, 1985.
72. Schmidtbleicher, D. Strength training (part 2): Structural analysis of motor strength qualities and its applications to training. *Sci Per Res Tech Sport: Phys Training/Strength* W-4:1-10, 1985.
73. Schmidtbleicher, D. Training for power events. En: *The Encyclopaedia of Sports Medicine: Strength and Power in Sport*. Komi, PV, ed. Oxford, UK: Blackwell, 169-179, 1992.
74. Schmolinsky, G. *Track and Field: The East German Textbook of Athletics*. Toronto: Sports Book, 1993.
75. Serpell, BG, Young, WB y Ford, M. Are the perceptual and decision-making components of agility trainable? A preliminary investigation. *J Strength Cond Res* 25:1240-1248, 2011.
76. Sheppard, J, Dawes, J, Jeffreys, I, Spiteri, T y Nimphius, S. Broadening the view of agility: A scientific review of the literature. *Journal of Australian Strength and Conditioning* 22:6-25, 2014.
77. Sheppard, JM y Young, W. Agility literature review: Classifications, training and testing. *J Sports Sci* 24:919-932, 2006.
78. Shimokochi, Y, Ide, D, Kokubu, M y Nakaoji, T. Relationships among performance of lateral cutting maneuver from lateral sliding and hip extension and abduction motions, ground reaction force, and body center of mass height. *J Strength Cond Res* 27:1851-1860, 2013.
79. Sierer, SP, Battaglini, CL, Mihalik, JP, Shields, EW y Tomasini, NT. The National Football League combine: Performance differences between drafted and nondrafted players entering the 2004 and 2005 drafts. *J Strength Cond Res* 22:6-12, 2008.
80. Siff, MC. *Supertraining*. Denver: Supertraining Institute, 267-284, 2003.
81. Spiteri, T, Cochrane, JL, Hart, NH, Haff, GG y Nimphius, S. Effect of strength on plant foot kinetics and kinematics during a change of direction task. *Eur J Sport Sci* 13:646-652, 2013.
82. Spiteri, T, Cochrane, JL y Nimphius, S. The evaluation of a new lower-body reaction time test. *J Strength Cond Res* 27:174-180, 2013.
83. Spiteri, T, Hart, NH y Nimphius, S. Offensive and defensive agility: A sex comparison of lower body kinematics and ground reaction forces. *J Appl Biomech* 30:514-520, 2014.
84. Spiteri, T y Nimphius, S. Relationship between timing variables and plant foot kinetics during change of direction movements. *Journal of Australian Strength and Conditioning* 21:73-77, 2013.
85. Spiteri, T, Nimphius, S y Cochrane, JL. Comparison of running times during reactive offensive and defensive agility protocols. *Journal of Australian Strength and Conditioning* 20:73-78, 2012.
86. Spiteri, T, Nimphius, S, Hart, NH, Specos, C, Sheppard, JM y Newton, RU. The contribution of strength characteristics to change of direction and agility performance in female basketball athletes. *J Strength Cond Res* 28:2415-2423, 2014.
87. Stone, M, Stone, M y Sands, WA. *Principles and Practice of Resistance Training*. Champaign, IL: Human Kinetics, 45-62, 2007.

88. Stone, MH, O'Bryant, HS, McCoy, L, Coglianese, R, Lehmkuhl, M y Schilling, B. Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps. *J Strength Cond Res* 17:140-147, 2003.
89. Stone, MH, Sanborn, K, O'Bryant, HS, Hartman, M, Stone, ME, Proulx, C, Ward, B y Hruby, J. Maximum strength-power-performance relationships in collegiate throwers. *J Strength Cond Res* 17:739-745, 2003.
90. Vescovi, JD y McGuigan, MR. Relationships between sprinting, agility, and jump ability in female athletes. *J Sports Sci* 26:97-107, 2008.
91. Vescovi, JD, Rupf, R, Brown, TD y Marques, MC. Physical per formance characteristics of high-level female soccer players 12-21 years of age. *Scand J Med Sci Sports* 21:670-678, 2011.
92. Weyand, PG, Bundle, MW, McGowan, CP, Grabowski, A, Brown, MB, Kram, R y Herr, H. The fastest runner on artificial legs: Different limbs, similar function? *J Appl Physiol* 107:903-911, 2009.
93. Weyand, PG, Sandell, RF, Prime, DN y Bundle, MW. The biological limits to running speed are imposed from the ground up. *J Appl Physiol* 108:950-961, 2010.
94. Weyand, PG, Sternlight, DB, Bellizzi, MJ y Wright, S. Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *J Appl Physiol* 89:1991-1999, 2000.
95. Wood, GA. Biomechanical limitations to sprint running. En: *Medicine and Sport Science*. Hebbelink, M, Shephard, RJ, Van Gheluwe, B y Atha, J, eds. Basel: Karger, 58-71, 1987.
96. Young, WB. Transfer of strength and power training to sports per formance. *Int J Sports Physiol Perform* 1:74-83, 2006.
97. Young, W y Farrow, D. The importance of a sport-specific stimulus for training agility. *Strength Cond J* 35:39-43, 2013.
98. Young, W, Farrow, D, Pyne, D, McGregor, W y Handke, T. Validity and reliability of agility tests in junior Australian football players. *J Strength Cond Res* 25:3399-3403, 2011.
99. Zatsiorsky, VM y Kraemer, WJ. *Science and Practice of Strength Training*. Champaign, IL: Human Kinetics, 47-66, 2006.

CAPÍTULO 20 Diseño de programas y técnica para el entrenamiento de la resistencia aeróbica

1. Astrand, PO, Rodahl, K, Dahl, HA y Stromme, SB. *Textbook of Work Physiology*. 4.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 242-243, 2003.
2. Banister, EW. Modeling elite athletic performance. En: *Physiological Testing of the High-Performance Athlete*. 2.ª ed. MacDougall, JD, Wenger, HA y Green, HJ, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 403-424, 1991.
3. Beck, TW. Cardiovascular training methods. En: *NSCA's Essentials of Personal Training*. 2.ª ed. Coburn, JW y Malek, MH, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 329-346, 2012.
4. Beneke, R. Anaerobic threshold, individual anaerobic threshold, and maximal lactate steady state in rowing. *Med Sci Sports Exerc* 27:863-867, 1995.
5. Boulay, MR, Simoneau, JA, Lortie, G y Bouchard, C. Monitoring high-intensity endurance exercise with heart rate and thresholds. *Med Sci Sports Exerc* 29:125-132, 1997.
6. Boutcher, SH, Seip, RL, Hetzler, RK, Pierce, EF, Snead, D y Weltman, A. The effects of specificity of training on rating of per ceived exertion at the lactate threshold. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 59:365-369, 1989.
7. Brooks, GA y Mercier, J. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: The «crossover» concept. *J Appl Physiol* 76:2253-2261, 1994.
8. Buchheit, M y Laursen, PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle.

Part I: Cardiopulmonary emphasis. *Sports Med* 43:313-338, 2013.
9. Buchheit, M y Laursen, PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part II: Anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. *Sports Med* 43:927 -954, 2013.
10. Burke, EJ. Physiological effects of similar training programs in males and females. *Res Q* 48:510-517, 1977.
11. Burke, ER, Cerny, F, Costill, D y Fink, W. Characteristics of skeletal muscle in competitive cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 9:109 -112, 1977.
12. Cavanagh, PR, Pollock, ML y Landa, J. Biomechanical comparison of elite and good distance runners. *Ann NY Acad Sci* 301: 328-345, 1977.
13. Ceci, R y Hassmen, P. Self-monitored exercise at three different RPE intensities in treadmill vs. field running. *Med Sci Sports Exerc* 23:732-738, 1991.
14. Conley, DL y Krahenbuhl, GS. Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc* 12:357-360, 1980.
15. Costill, DL. *Inside Running: Basics of Sports Physiology*. Indianapolis: Benchmark Press, 101-103, 117-118, 1986.
16. Costill, DL, Fink, WJ y Pollock, ML. Muscle fiber composition and enzyme activities of elite distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 8:96-100, 1976.
17. Costill, DL, King, R, Thomas, DC y Hargreaves, M. Effects of reduced training on muscular power in swimmers. *Phys Sportsmed* 13:94-101, 1985.
18. Costill, DL, Thomas, R, Robergs, RA, Pascoe, D, Lambert, C, Barr, S y Fink, WJ. Adaptations to swimming training: Influence of training volume. *Med Sci Sports Exerc* 23:371-377, 1991.
19. Costill, DL, Thomason, H y Roberts, E. Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Med Sci Sports Exerc* 5:248-252, 1973.
20. Coyle, EF, Coggan, AR, Hemmert, MK e Ivy, JL. Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J Appl Physiol* 61:165-172, 1986.
21. Coyle, EF, Coggan, AR, Hopper, MK y Walters, TJ. Determinants of endurance in well-trained cyclists. *J Appl Physiol* 64:2622-2630, 1988.
22. Coyle, EF, Feltner, ME, Kautz, SA, Hamilton, MT, Montain, SJ, Baylor, AM, Abraham, LD y Petrek, GW. Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Med Sci Sports Exerc* 23:93-107, 1991.
23. Coyle, EF, Hagberg, JM, Hurley, BF, Martin, WH, Ehsani, AA y Holloszy, JO. Carbohydrate feeding during prolonged strenuous exercise can delay fatigue. *J Appl Physiol* 55:230-235, 1983.
24. Daniels, J. Training distance runners—primer. *Gatorade Sports Science Exchange* 1:1-5, 1989.
25. Davidson, CJ, Pardyjak, ER y Martin, JC. Training with power measurement: A new era in cycling training. *Strength Cond J* 25:28 -29, 2003.
26. Dishman, RK, Patton, RW, Smith, J, Weinberg, R y Jackson, A. Using perceived exertion to prescribe and monitor exercise training heart rate. *Int J Sports Med* 8:208-213, 1987.
27. Drinkwater, BL y Horvath, SM. Detraining effects on young women. *Med Sci Sports* 4:91-95, 1972.
28. Dudley, GA, Abraham, WM y Terjung, RL. Influence of exer cise intensity and duration on biochemical adaptations in skeletal muscle. *J Appl Physiol* 53:844-850, 1982.
29. Ehsani, AA, Hagberg, JM y Hickson, RC. Rapid changes in left ventricular dimensions and mass in response to physical conditioning and deconditioning. *Am J Cardiol* 42:52-56, 1978.
30. Epthorp, JA. Altitude training and its effects on performance: Sys tematic review. *J Aust Strength Cond* 22:78-88, 2014.
31. Farrell, PA, Wilmore, JH, Coyle, EF, Billing, JE y Costill, DL. Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med Sci Sports Exerc* 11:338-344, 1979.
32. Foster, C, Daniels, JT y Yarbrough, RA. Physiological and training correlates of marathon running performance. *Aust J Sports Med* 9:58-61, 1977.

33. Foster, C, Hector, LL, Welsh, R, Schrager, M, Green, MA y Snyder, AC. Effects of specific versus cross-training on running performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 70:367-372, 1995.
34. Foxdal, P, Sjodin, B, Sjodin, A y Ostman, B. The validity and accuracy of blood lactate measurements for prediction of maximal endurance running capacity. Dependency of analyzed blood media in combination with different designs of the exercise test. *Int J Sports Med* 15:89-95, 1994.
35. Garber, CE, Blissmer, B, Deschenes, MR, Franklin, BA, Lamonte, MJ, Lee, IM, Nieman, DC y Swain, DP. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc* 43:1334-1359, 2011.
36. Gardner, AS, Stephens, S, Martin, DT, Lawton, E, Lee, H y Jenkins, D. Accuracy of SRM and power tap power monitoring systems for bicycling. *Med Sci Sports Exerc* 36:1252-1258, 2004.
37. Gergley, TJ, McArdle, WD, DeJesus, P, Toner, MM, Jacobowitz, S y Spina, RJ. Specificity of arm training on aerobic power during swimming and running. *Med Sci Sports Exerc* 16:349-354, 1984.
38. Gettman, LR, Pollock, ML, Durstine, JL, Ward, A, Ayres, J y Linnerud, AC. Physiological responses of men to 1, 3, and 5 day per week training programs. *Res Q* 47:638-646, 1976.
39. Glass, SC, Knowlton, RG y Becque, MD. Accuracy of RPE from graded exercise to establish exercise training intensity. *Med Sci Sports Exerc* 24:1303-1307, 1992.
40. Gollnick, PD. Metabolism of substrates: Energy substrate metabo lism during exercise and as modified by training. *Fed Proc* 44:353 -357, 1985.
41. Haddad, M, Padulo, J y Chamari, K. The usefulness of session rating of perceived exertion for monitoring training load despite several influences on perceived exertion. *Int J Sport Physiol Perform* 9:882-883, 2014.
42. Hagerman, PS. Aerobic endurance training program design. En: *NSCA's Essentials of Personal Training*. 2.ª ed. Coburn, JW y Malek, MH, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 389-410, 2012.
43. Hansen, AK, Fischer, CP, Plomgaard, P, Andersen, JL, Saltin, B y Pedersen, BK. Skeletal muscle adaptation: Training twice every second day vs. training once daily. *J Appl Physiol* 98:93-99, 2005.
44. Hermansen, L, Hultman, E y Saltin, B. Muscle glycogen during prolonged severe exercise. *Acta Physiol Scand* 71:129-139, 1967.
45. Hickson, RC, Dvorak, BA, Gorostiaga, EM, Kurowski, TT y Foster, C. Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *J Appl Physiol* 65:2285-2290, 1988.
46. Hickson, RC y Rosenkoetter, MA. Reduced training frequencies and maintenance of increased aerobic power. *Med Sci Sports Exerc* 13:13-16, 1981.
47. Holloszy, JO y Booth, FW. Biochemical adaptations to endurance exercise in muscle. *Annu Rev Physiol* 38:273-291, 1976.
48. Holloszy, JO y Coyle, EF. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J Appl Physiol* 56:831-838, 1984.
49. Hootman, JM, Macera, CA, Ainsworth, BE, Martin, M, Addy, CL y Blair, SN. Association among physical activity level, cardiore spiratory fitness, and risk of musculoskeletal injury. *Am J Epidemiol* 154:251-258, 2001.
50. Hoppeler, H. Exercise-induced ultrastructural changes in skeletal muscle. *Int J Sports Med* 7:187-204, 1986.
51. Humberstone-Gough, CE, Saunders, PU, Bonetti, DL, Stephens, S, Bullock, N, Anson, JM y Gore, CJ. Comparison of live high: train low altitude and intermittent hypoxic exposure. *J Sports Sci Med* 12:394-401, 2013.
52. Klausen, K, Andersen, LB y Pelle, I. Adaptive changes in work capacity, skeletal muscle

capillarization and enzyme levels during training and detraining. *Acta Physiol Scand* 113:9-16, 1981.
53. Kohrt, WM, Morgan, DW, Bates, B y Skinner, JS. Physiological responses of triathletes to maximal swimming, cycling, and running. *Med Sci Sports Exerc* 19:51-55, 1987.
54. Lamb, DR. Basic principles for improving sport performance. *Gatorade Sports Science Exchange* 8:1-5, 1995.
55. Laursen, PB y Jenkins, DG. The scientific basis for high-intensity interval training: Optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Med* 32:53 -73, 2002.
56. Magel, JR, Foglia, GF, McArdle, WD, Gutin, B, Pechar, GS y Katch, FI. Specificity of swim training on maximum oxygen uptake. *J Appl Physiol* 38:151-155, 1975.
57. Martin, JC, Milliken, DL, Cobb, JE, McFadden, KL y Coggan, AR. Validation of a mathematical model for road cycling power. *J Appl Biomech* 14:276-291, 1998.
58. Matoba, H y Gollnick, PD. Response of skeletal muscle to training. *Sports Med* 1:240-251, 1984.
59. Maughan, RJ. Physiology and biochemistry of middle distance and long distance running. En: *Handbook of Sports Medicine and Science: Running*. Hawley, JA, ed. Oxford, UK: Blackwell Science, 14-27, 2000.
60. Maughan, RJ y Leiper, JB. Aerobic capacity and fractional util isation of aerobic capacity in elite and non-elite male and female marathon runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 52:80-87, 1983.
61. McCole, SD, Claney, K, Conte, JC, Anderson, R y Hagberg, JM. Energy expenditure during bicycling. *J Appl Physiol* 68:748-753, 1990.
62. Mikkola, J, Vesterinen, V, Taipale, R, Capostagno, B, Hakkinen, K y Nummela, A. Effect of resistance training regimens on treadmill running and neuromuscular performance in recreational endurance runners. *J Sports Sci* 29:1359-1371, 2011.
63. Mujika, I, Padilla, S, Pyne, D y Busso, T. Physiological changes associated with the pre-event taper in athletes. *Sports Med* 34:891-927, 2004.
64. Neary, JP, Martin, TP, Reid, DC, Burnham, R y Quinney, HA. The effects of a reduced exercise duration taper programme on performance and muscle enzymes of endurance cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 65:30-36, 1992.
65. O'Toole, ML, Douglas, PS y Hiller, WDB. Use of heart rate monitors by endurance athletes: Lessons from triathletes. *J Sports Med Phys Fitness* 38:181-187, 1998.
66. Peacock, AJ. ABC of oxygen: Oxygen at high altitude. *Br Med J* 317:1063-1066, 1998.
67. Perrault, H. Cardiorespiratory function. En: *Exercise and the Female: A Life Span Approach (Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine series, vol. 9)*. Carmel, IN: Cooper Publishing Group, 147-214, 1996.
68. Pette, D. Historical perspectives: Plasticity of mammalian skeletal muscle. *J Appl Physiol* 90:1119-1124, 2001.
69. Pollock, ML, Gettman, LR, Milesis, CA, Bah, MD, Durstine, L y Johnson, RB. Effects of frequency and duration of training on attrition and incidence of injury. *Med Sci Sports Exerc* 9:31-36, 1977.
70. Potteiger, JA y Evans, BW. Using heart rate and ratings of perceived exertion to monitor intensity in runners. *J Sport Med Phys Fit* 35:181-186, 1995.
71. Potteiger, JA y Weber, SF. Rating of perceived exertion and heart rate as indicators of exercise intensity in different environmental temperatures. *Med Sci Sports Exerc* 26:791-796, 1994.
72. Powers, SK y Howley, ET. *Exercise Physiology: Theory and Application to Fitness and Performance*. 8.ª ed. New York: McGraw-Hill, 283-284, 2011.
73. Saltin, B, Henriksson, J, Nygaard, E, Andersen, P y Jansson, E. Fiber types and metabolic potentials of skeletal muscles in sedentary man and endurance runners. *Ann NY Acad Sci* 301:3-29, 1977.

74. Sharkey, BJ. Intensity and duration of training and the development of cardiorespiratory endurance. *Med Sci Sports Exerc* 2:197-202, 1970.
75. Shepley, B, MacDougall, JD, Cipriano, N, Sutton, JR, Tarnopolsky, MA y Coates, G. Physiological effects of tapering in highly trained athletes. *J Appl Physiol* 72:706-711, 1992.
76. Short, KR, Vittone, JL, Bigelow, ML, Proctor, DN, Coenen-Schimke, JM, Rys, P y Nair, KS. Changes in myosin heavy chain mRNA and protein expression in human skeletal muscle with age and endurance exercise training. *J Appl Physiol* 99:95-102, 2005.
77. Svedenhag, J. Endurance conditioning. En: *Endurance in Sport (Encyclopaedia of Sports Medicine Series)*. 2.ª ed. Shephard, RJ y Astrand, PO, eds. London: Blackwell Science, 402-408, 2008.
78. Swain, DP, Coast, JR, Clifford, PS, Milliken, MC y Stray-Gundersen, J. Influence of body size on oxygen consumption during bicycling. *J Appl Physiol* 62:668-672, 1987.
79. Thomas, L, Mujika, I y Busso, T. A model study of optimal training reduction during pre-event taper in elite swimmers. *J Sports Sci* 26:643-652, 2008.
80. Troup, JP. The physiology and biomechanics of competitive swim ming. *Clin Sports Med* 18:267-285, 1999.
81. Van Handel, PJ, Katz, A, Troup, JP y Bradley, PW. Aerobic economy and competitive swim performance of U.S. elite swimmers. En: *Swimming Science V* Ungerechts, BE, Wilke, K y Reischle, K, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 219-227, 1988.
82. Wells, CL y Pate, RR. Training for performance of prolonged exercise. En: *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine*. Lamb, DL y Murray, R, eds. Indianapolis: Benchmark Press, 357-388, 1995.
83. Wenger, HA y Bell, GJ. The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. *Sports Med* 3:346-356, 1986.
84. Wilber, RL. Application of altitude/hypoxic training by elite athletes. *Med Sci Sports Exerc* 39:1610-1624, 2007.
85. Wilber, RL, Moffatt, RJ, Scott, BE, Lee, DT y Cucuzzo, NA. Influence of water run training on the maintenance of aerobic performance. *Med Sci Sports Exerc* 28:1056-1062, 1996.
86. Wyatt, FB. Physiological responses to attitude: A brief review. *J Exerc Physiol Online* 17:90-96, 2014.
87. Zupan, MF y Petosa, PS. Aerobic and resistance cross-training for peak triathlon performance. *Strength Cond J* 17:7-12, 1995.

CAPÍTULO 21 Periodización

1. Baker, D, Wilson, G y Carlyon, R. Periodization: The effect on strength of manipulating volume and intensity. *J Strength Cond Res* 8:235-242, 1994.
2. Bompa, TO. Antrenamentul in perooda, pregatitoare. *Caiet Pentre Sporturi Nautice* 3:22-24, 1956.
3. Bompa, TO y Haff, GG. *Periodization: Theory and Methodology of Training*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1-424, 2009.
4. Bondarchuk, AP. Track and field training. *Legkaya Atletika* 12:8-9, 1986.
5. Bondarchuk, AP. Constructing a training system. *Track Tech* 102:254 -269, 1988.
6. Bondarchuk, AP. The role and sequence of using different training-load intensities. *Fit Sports Rev Inter* 29:202-204, 1994.
7. Bosquet, L, Montpetit, J, Arvisais, D y Mujika, I. Effects of tapering on performance: A meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 39:1358-1365, 2007.
8. Bradley-Popovich, GE y Haff, GG. Nonlinear versus linear periodization models. *Strength Cond J* 23:42-44, 2001.
9. Bruin, G, Kuipers, H, Keizer, HA y Vander Vusse, GJ. Adaptation and overtraining in horses

subjected to increasing training loads. *J Appl Physiol* 76:1908-1913, 1994.
10. Buford, TW, Rossi, SJ, Smith, DB y Warren, AJ. A comparison of periodization models during nine weeks with equated volume and intensity for strength. *J Strength Cond Res* 21:1245-1250, 2007.
11. Charniga, A, Gambetta, V, Kraemer, W, Newton, H, O'Bryant, HS, Palmieri, G, Pedemonte, J, Pfaff, D y Stone, MH. Periodization: Part 1. *NSCA J* 8:12-22, 1986.
12. Charniga, A, Gambetta, V, Kraemer, W, Newton, H, O'Bryant, HS, Palmieri, G, Pedemonte, J, Pfaff, D y Stone, MH. Periodization: Part 2. *NSCA J* 8:17-24, 1986.
13. Charniga, A, Gambetta, V, Kraemer, W, Newton, H, O'Bryant, HS, Palmieri, G, Pedemonte, J, Pfaff, D y Stone, MH. Periodization: Part 3. *NSCA J* 9:16-26, 1987.
14. Chiu, LZF y Barnes, JL. The fitness-fatigue model revistited: Implications for planning shortand long-term training. *NSCA J* 25:42-51, 2003.
15. Counsilman, JE y Counsilman, BE. *The New Science of Swimming*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 229-244, 1994.
16. de Lima, C, Boullosa, DA, Frollini, AB, Donatto, FF, Leite, RD, Gonelli, PR, Montebello, MI, Prestes, J y Cesar, MC. Linear and daily undulating resistance training periodizations have differential beneficial effects in young sedentary women. *Int J Sports Med* 33:723-727, 2012.
17. Edington, DW y Edgerton, VR. *The Biology of Physical Activity*. Boston: Houghton Mifflin, 1-120, 1976.
18. Fleck, S y Kraemer, WJ. *Designing Resistance Training Programs*. 4.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 1-375, 2004.
19. Foster, C. Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Med Sci Sports Exerc* 30:1164-1168, 1998.
20. Fry, AC. The role of training intensity in resistance exercise over training and overreaching. En: *Overtraining in Sport*. Kreider, RB, Fry, AC y O'Toole, ML, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 107-127, 1998.
21. Garhammer, J. Periodization of strength training for athletes. *Track Tech* 73:2398-2399, 1979.
22. Haff, GG. Periodization of training. En: *Conditioning for Strength and Human Performance*. 2.ª ed. Brown, LE y Chandler, J, eds. Philadelphia: Wolters-Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins, 326-345, 2012.
23. Haff, GG. Peaking for competition in individual sports. En: *High-Per formance Training for Sports*. Joyce, D y Lewindon, D, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 524-540, 2014.
24. Haff, GG. Periodization strategies for youth development. En: *Strength and Conditioning for Young Athletes: Science and Application*. Lloyd, RS y Oliver, JL, eds. London: Routledge, Taylor & Francis, 149-168, 2014.
25. Haff, GG. The essentials of periodization. En: *Strength and Condition ing for Sports Performance*. Jeffreys, I y Moody, J, eds. London: Routledge, Taylor & Francis (en prensa).
26. Haff, GG y Burgess, SJ. Resistance training for endurance sports. En: *Developing Endurance*. Reuter, BH, ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 135-180, 2012.
27. Haff, GG y Haff, EE. Resistance training program design. En: *Essentials of Periodization*. Malek, MH y Coburn, JW, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 359-401, 2012.
28. Haff, GG y Haff, EE. Training integration and periodization. En: *Strength and Conditioning Program Design*. Hoffman, J, ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 209-254, 2012.
29. Haff, GG, Kraemer, WJ, O'Bryant, HS, Pendlay, G, Plisk, S y Stone, MH. Roundtable discussion: Periodization of training— part 1. *NSCA J* 26 (Pt 1):50-69, 2004.
30. Haff, GG, Kraemer, WJ, O'Bryant, HS, Pendlay, G, Plisk, S y Stone, MH. Roundtable discussion: Periodization of training— part 2. *NSCA J* 26 (Pt 2):56-70, 2004.
31. Haff, GG y Nimphius, S. Training principles for power. *Strength Cond J* 34:2-12, 2012.
32. Harre, D. Principles of athletic training. En: *Principles of Sports Training: Introduction to the Theory and Methods of Training*. Harre, D, ed. Berlin: Sportverlag, 73-94, 1982.

33. Harre, D. *Principles of Sports Training*. Berlin: Sportverlag, 10-94, 1982.
34. Hartmann, H, Bob, A, Wirth, K y Schmidtbleicher, D. Effects of different periodization models on rate of force development and power ability of the upper extremity. *J Strength Cond Res* 23:1921 -1932, 2009.
35. Hoffman, JR, Ratamess, NA, Klatt, M, Faigenbaum, AD, Ross, RE, Tranchina, NM, McCurley, RC, Kang, J y Kraemer, WJ. Com parison between different off-season resistance training programs in Division III American college football players. *J Strength Cond Res* 23:11-19, 2009.
36. Issurin, V. *Block Periodization: Breakthrough in Sports Training*. Muskegon, MI: Ultimate Athlete Concepts, 1-213, 2008.
37. Issurin, VB. New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports Med* 40:189-206, 2010.
38. Kawamori, N, Crum, AJ, Blumert, P, Kulik, J, Childers, J, Wood, J, Stone, MH y Haff, GG. Influence of different relative intensities on power output during the hang power clean: Identification of the optimal load. *J Strength Cond Res* 19:698-708, 2005.
39. Kawamori, N y Haff, GG. The optimal training load for the development of muscular power. *J Strength Cond Res* 18:675-684, 2004.
40. Komi, PV. Training of muscle strength and power: Interaction of neuromotoric, hypertrophic y mechanical factors. *Int J Sports Med* 7:10-15, 1986.
41. Kraemer, WJ. A series of studies: The physiological basis for strength training in American football: Fact over philosophy. *J Strength Cond Res* 11:131-142, 1997.
42. Kraemer, WJ y Fleck, SJ. *Optimizing Strength Training: Designing Nonlinear Periodization Workouts*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1-245, 2007.
43. Matveyev, L. *Periodization of Sports Training*. Moscow: Fizkultura i Sport, 1965.
44. Matveyev, LP. *Fundamentals of Sports Training*. Moscow: Fizkultura i Sport, 86-298, 1977.
45. McNamara, JM y Stearne, DJ. Flexible nonlinear periodization in a beginner college weight training class. *J Strength Cond Res* 24:17-22, 2010.
46. Meeusen, R, Duclos, M, Foster, C, Fry, A, Gleeson, M, Nieman, D, Raglin, J, Rietjens, G, Steinacker, J y Urhausen, A. Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: Joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Med Sci Sports Exerc* 45:186-205, 2013.
47. Miranda, F, Simao, R, Rhea, M, Bunker, D, Prestes, J, Leite, RD, Miranda, H, de Salles, BF y Novaes, J. Effects of linear vs. daily undulatory periodized resistance training on maximal and submaximal strength gains. *J Strength Cond Res* 25:1824-1830, 2011.
48. Nadori, L. *Training and Competition*. Budapest: Sport, 1962. 49. Nadori, L y Granek, I. *Theoretical and Methodological Basis of Training Planning With Special Considerations Within a Microcycle*. Lincoln, NE: NSCA, 1-63,1989.
50. Painter, KB, Half, GG, Ramsey, MW, McBride, J, Triplett, T, Sands, WA, Lamont, HS, Stone, ME y Stone, MH. Strength gains: Block vs daily undulating periodization weight-training among track and field athletes. *Int J Sports Physiol Perform* 7:161-169, 2012.
51. Plisk, SS y Stone, MH. Periodization strategies. *Strength Cond* 25:19-37, 2003.
52. Prestes, J, Frollini, AB, de Lima, C, Donatto, FF, Foschini, D, de Cassia, Marqueti, R, Figueira, A, Jr. y Fleck, SJ. Comparison between linear and daily undulating periodized resistance training to increase strength. *J Strength Cond Res* 23:2437-2442, 2009.
53. Rhea, MR, Ball, SD, Phillips, WT y Burkett, LN. A comparison of linear and daily undulating periodized programs with equated volume and intensity for strength. *J Strength Cond Res* 16:250-255, 2002.
54. Selye, H. *The Stress of Life*. New York: McGraw-Hill, 1-324, 1956.
55. Selye, H. A syndrome produced by diverse nocuous agents. 1936. *J Neuropsych Clin Neurosci* 10:230-231, 1998.
56. Stone, MH y O'Bryant, HO. *Weight Training: A Scientific Approach*. Edina, MN: Burgess, 1-361,

1987.
57. Stone, MH, O'Bryant, H y Garhammer, J. A hypothetical model for strength training. *J Sports Med* 21:342-351, 1981.
58. Stone, MH, O'Bryant, HS y Garhammer, J. A theoretical model of strength training. *NSCA J* 3:36-39, 1982.
59. Stone, MH, Stone, ME y Sands, WA. *Principles and Practice of Resistance Training*. Champaign, IL: Human Kinetics, 241-287, 2007.
60. Stone, MH y Wathen, D. Letter to the editor. *NSCA J* 23:7-9, 2001.
61. Tschiene, P. Finally a theory of training to overcome doping. *Athletics Science Bulletin* 1:30-34, 1989.
62. Tschiene, P. A necessary direction in training: The integration of biological adaptation in the training program. *Coach Sport Sci J* 1:2-14, 1995.
63. Verkhoshansky, YU. Theory and methodology of sport preparation: Block training system for top-level athletes. *Teoria i Practica Physicheskoj Culturi* 4:2-14, 2007.
64. Verkhoshansky, YU y Verkhoshansky, N. *Special Strength Training Manual for Coaches*. Rome: Verkhosansky STM, 27-142, 2011.
65. Zatsiorsky, VM. *Science and Practice of Strength Training*. Champaign, IL: Human Kinetics, 3-18, 108-133, 1995.
66. Zatsiorsky, VM y Kraemer, WJ. *Science and Practice of Strength Training*. 2.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 3-14, 89-108, 2006.

CAPÍTULO 22 Rehabilitación y reacondicionamiento físico

1. Adams, D, Logerstedt, DS, Hunter-Giordano, A, Axe, MJ y Snyder-Mackler, L. Current concepts for anterior cruciate ligament reconstruction: A criterion-based rehabilitation progression. *J Orthop Sports Phys Ther* 42:601-614, 2012.
2. Alentorn-Geli, E, Myer, G, Silvers, H, Samitier, G, Romero, D, Lazaro-Haro, C y Cugat, R. Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 17:705-729, 2009.
3. Behrens, SB, Deren, ME, Matson, A, Fadale, PD y Monchik, KO. Stress fractures of the pelvis and legs in athletes: A review. *Sports Health* 5:165-174, 2013.
4. Burkhart, SS, Johnson, TC, Wirth, MA y Athanasiou, KA. Cyclic loading of transosseous rotator cuff repairs: Tension overload as a possible cause of failure. *Arthroscopy* 13:172-176, 1997.
5. Byl, NN, McKenzie, AL, West, JM, Whitney, JD, Hunt, TK y Scheuenstuhl, HA. Low-dose ultrasound effects on wound healing: A controlled study with yucatan pigs. *Arch Phys Med Rehabil* 73:656 -664, 1992.
6. Byram, IR, Bushnell, BD, Dugger, K, Charron, K, Harrell, FE y Noonan, TJ. Preseason shoulder strength measurements in profes sional baseball pitchers: Identifying players at risk for injury. *Am J Sports Med* 38:1375-1382, 2010.
7. Clarsen, B, Bahr, R, Andersson, SH, Munk, R y Myklebust, G. Reduced glenohumeral rotation, external rotation weakness and scapular dyskinesis are risk factors for shoulder injuries among elite male handball players: A prospective cohort study. *Br J Sports Med* 48:1327-1333, 2014.
8. Courson, R, Goldenberg, M, Adams, KG, Anderson, SA, Colgate, B, Cooper, L, Dewald, L, Floyd, RT, Gregory, DB, Indelicato, PA, Klossner, D, O'Leary, R, Ray, T, Selgo, T, Thompson, C y Turbak, G. Inter-association consensus statement on best practices for sports medicine management for secondary schools and colleges. *J Athl Train* 49:128-137, 2014.
9. De Lorme, TL. Restoration of muscle power by heavy resistance exercise. *J Bone Joint Surg*

27:645-667, 1945.
10. De Lorme, TL y Watkins, AL. Technics of progressive resistance exercise. *Arch Phys Med* 29:263-273, 1948.
11. Dwelly, PM, Tripp, BL, Tripp, PA, Eberman, LE y Gorin, S. Glenohumeral rotational range of motion in collegiate overheadthrow ing athletes during an athletic season. *J Athl Train* 44:611-616, 2009.
12. Fleck, SJ y Kraemer, WJ. *Designing Resistance Training Programs*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2014.
13. Freeman, MAR y Wybe, B. Articular contributions to limb muscle reflexes: The effects of a partial neurectomy of the knee joint on postural reflexes. *Br J Surg* 53:61, 1966.
14. Fukuda, TY, Melo, WP, Zaffalon, BM, Rossetto, FM, Magalhaes, E, Bryk, FF y Martin, RL. Hip posterolateral musculature strength ening in sedentary women with patellofemoral pain syndrome: A randomized controlled clinical trial with 1-year follow-up. *J Orthop Sports Phys Ther* 42:823-830, 2012.
15. Gilchrist, J, Mandelbaum, BR, Melancon, H, Ryan, GW, Silvers, HJ, Griffin, LY, Watanabe, DS, Dick, RW y Dvorak, J. A randomized controlled trial to prevent noncontact anterior cruciate ligament injury in female collegiate soccer players. *Am J Sports Med* 36:1476 -1483, 2008.
16. Grindstaff, TL y Potach, DH. Prevention of common wrestling injuries. *Strength Cond J* 28:20-28, 2006.
17. Grooms, DR, Palmer, T, Onate, J A, Myer, GD y Grindstaff, T. Soccer-specific warm-up and lower extremity injury rates in colle giate male soccer players. *J Athl Train* 48:782-789, 2013.
18. Gross, MT. Chronic tendinitis: Pathomechanics of injury, factors affecting the healing response, and treatment. *J Orthop Sports Phys Ther* 16:248-261, 1992.
19. Hagglund, M, Walden, M y Ekstrand, J. Previous injury as a risk factor for injury in elite football: A prospective study over two consecutive seasons. *Br J Sports Med* 40:767-772, 2006.
20. Herring, SA, Kibler, WB y Putukian, M. Team physician consensus statement: 2013 update. *Med Sci Sports Exerc* 45:1618-1622, 2013.
21. Hewett, TE, Lindenfeld, TN, Riccobene, JV y Noyes, FR. The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes: A prospective study. *Am J Sports Med* 27:699-706, 1999.
22. Hildebrand, KA, Gallant-Behm, CL, Kydd, AS y Hart, DA. The basics of soft tissue healing and general factors that influence such healing. *Sports Med Arthrosc* 13:136-144, 2005.
23. Hillman, S. Principles and techniques of open kinetic chain rehabil itation: The upper extremity. *J Sport Rehabil* 3:319-330, 1994.
24. Houglum, PA. Soft tissue healing and its impact on rehabilitation *J Sport Rehabil* 1:19-39, 1992.
25. Hurd, WJ, Kaplan, KM, Eiattrache, NS, Jobe, FW, Morrey, BF y Kaufman, KR. A profile of glenohumeral internal and external rotation motion in the uninjured high school baseball pitcher, part I: Motion. *JAthl Train* 46:282-288, 2011.
26. Ireland, ML, Willson, JD, Ballantyne, BT y Davis, IM. Hip strength in females with and without patellofemoral pain. *J Orthop Sports Phys Ther* 33:671-676, 2003.
27. Jackson, BA, Schwane, JA y Starcher, BC. Effect of ultrasound therapy on the repair of Achilles tendon injuries in rats. *Med Sci Sports Exerc* 23:171-176, 1991.
28. Knapik, JJ, Mawdsley, RH y Ramos, MU. Angular specificity and test mode specificity of isometric and isokinetic strength training. *J Orthop Sports Phys Ther* 5:58-65, 1983.
29. Knight, KL. Knee rehabilitation by the daily adjustable progressive resistive exercise technique. *Am J Sports Med* 7:336-337, 1979.
30. Knight, KL. Quadriceps strengthening with the dapre technique: Case studies with neurological implications. *Med Sci Sports Exerc* 17:646-650, 1985.
31. Lankhorst, NE, Bierma-Zeinstra, SMA y Middelkoop, MV. Risk factors for patellofemoral pain syndrome: A systematic review. *J Orthop Sports Phys Ther* 42:81-94, 2012.

32. Leadbetter, WB. Cell-matrix response in tendon injury. *Clin Sports Med* 11:533-578, 1992.
33. Lee, M y Carroll, TJ. Cross education: Possible mechanisms for the contralateral effects of unilateral resistance training. *Sports Med* 37:1-14, 2007.
34. Lee, M, Gandevia, SC y Carroll, TJ. Unilateral strength training increases voluntary activation of the opposite untrained limb. *Clin Neurophysiol* 120:802-808, 2009.
35. Leggin, BG, Sheridan, S y Eckenrode, BJ. Rehabilitation after surgical management of the thrower's shoulder. *Sports Med Arthrosc* 20:49-55, 2012.
36. Leighton, JR, Holmes, D, Benson, J, Wooten, B y Schmerer, R. A study of the effectiveness of ten different methods of progressive resistance exercise on the development of strength, flexibility, girth y body weight. *J Assoc Phys Ment Rehabil* 21:78-81, 1967.
37. Logerstedt, D, Lynch, A, Axe, M y Snyder-Mackler, L. Symmetry restoration and functional recovery before and after anterior cruci ate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 21:859-868, 2013.
38. Lorenz, D y Reiman, M. The role and implementation of eccentric training in athletic rehabilitation: Tendinopathy, hamstring strains, and ACL reconstruction. *Int J Sports Phys Ther* 6:27-44, 2011.
39. Mandelbaum, BR, Silvers, HJ, Watanabe, DS, Knarr, JF, Thomas, SD, Griffin, LY, Kirkendall, DT y Garrett, W Jr. Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training program in prevent ing anterior cruciate ligament injuries in female athletes: 2-year follow-up. *Am J Sports Med* 33:1003-1010, 2005.
40. Martimbianco, ALC, Gomes-da Silva, BN, de Carvalho, APV, Silva, V, Torloni, MR y Peccin, MS. Effectiveness and safety of cryo therapy after arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. A systematic review of the literature. *Phys Ther Sport* 15:261-268, 2014.
41. Mascal, CL, Landel, R y Powers, C. Management of patellofemoral pain targeting hip, pelvis, and trunk muscle function: 2 case reports. *J Orthop Sports Phys Ther* 33:647-660, 2003.
42. McMorris, RO y Elkins, EC. A study of production and evaluation of muscular hypertrophy. *Arch Phys Med Rehabil* 35:420-426, 1954.
43. Mellion, MB, Walsh, WM y Shelton, GL. *The Team Physician's Handbook*. Philadelphia: Hanley & Belfus, 1-150, 1997.
44. Mueller, MJ y Maluf, KS. Tissue adaptation to physical stress: A proposed «physical stress theory» to guide physical therapist practice, education, and research. *Phys Ther* 82:383-403, 2002.
45. Myer, GD, Martin, L, Ford, KR, Paterno, MV, Schmitt, LC, Heidt, RS, Colosimo, A y Hewett, TE. No association of time from surgery with functional deficits in athletes after anterior cruciate ligament reconstruction: Evidence for objective return-to-sport criteria. *Am J Sports Med* 40:2256-2263, 2012.
46. Nichols, AW. Does eccentric training of hamstring muscles reduce acute injuries in soccer? *Clin J Sport Med* 23:85-86, 2013.
47. Nilstad, A, Andersen, TE, Bahr, R, Holme, I y Steffen, K. Risk factors for lower extremity injuries in elite female soccer players. *Am J Sports Med* 42:940-948, 2014.
48. Olsen, OE, Myklebust, G, Engebretsen, L, Holme, I y Bahr, R. Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports: Cluster randomised controlled trial. *Br Med J* 330:449, 2005.
49. Paterno, MV, Rauh, MJ, Schmitt, LC, Ford, KR y Hewett, TE. Incidence of second ACL injuries 2 years after primary ACL recon struction and return to sport. *Am J Sports Med*, 42:1567-1573, 2014.
50. Petersen, J, Thorborg, K, Nielsen, MB, Budtz-Jorgensen, E y Holmich, P. Preventive effect of eccentric training on acute hamstring injuries in men's soccer: A cluster-randomized controlled trial. *Am J Sports Med* 39:2296-2303, 2011.
51. Ramirez, A, Schwane, JA, McFarland, C y Starcher, BC. The effect of ultrasound on collagen synthesis and fibroblast proliferation in vitro. *Med Sci Sports Exerc* 29:326-332, 1997.
52. Rees, JD, Maffulli, N y Cook, J. Management of tendinopathy. *Am J Sports Med* 37:1855-1867,

2009.
53. Riemann, BL y Lephart, SM. The sensorimotor system, part II: The role of proprioception in motor control and functional joint stability. *J Athl Train* 37:80-84, 2002.
54. Saragiotto, B, Yamato, T, Hespanhol, L, Jr., Rainbow, M, Davis, I y Lopes, A. What are the main risk factors for running-related injuries? *Sports Med* 44:1153-1163, 2014.
55. Schmitt, LC, Paterno, MV y Hewett, TE. The impact of quadriceps femoris strength asymmetry on functional performance at return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 42:750-759, 2012.
56. Steindler, A. *Kinesiology of the Human Body Under Normal and Pathological Conditions*. Springfield, IL: Charles C Thomas, 82, 1955.
57. Stone, M y O'Bryant, H. *Weight Training: A Scientific Approach*. Minneapolis: Burgess International, 1987.
58. Sugimoto, D, Myer, G, Barber-Foss, K y Hewett, T. Dosage effects of neuromuscular training intervention to reduce anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Metaand subgroup analyses. *Sports Med* 44:551-562, 2014.
59. Tate, A, Turner, GN, Knab, SE, Jorgensen, C, Strittmatter, A y Michener, LA. Risk factors associated with shoulder pain and dis ability across the lifespan of competitive swimmers. *J Athl Train* 47:149-158, 2012.
60. Tippett, SR. *Coaches Guide to Sport Rehabilitation*. Champaign, IL: Leisure Press, 1990.
61. Tordi, N, Belli, A, Mougin, F, Rouillon, JD y Gimenez, M. Specific and transfer effects induced by arm or leg training. *Int J Sports Med* 22:517-524, 2001.
62. Van den Bekerom, MP, Struijs, PA, Blankevoort, L, Welling, L, van Dijk, CN y Kerkhoffs, GM. What is the evidence for rest, ice, compression, and elevation therapy in the treatment of ankle sprains in adults? *J Athl Train* 47:435-443, 2012.
63. Voight, ML y Cook, G. Clinical application of closed kinetic chain exercises. *J Sport Rehabil* 5:25-44, 1996.
64. Voight, ML y Thomson, BC. The role of the scapula in the rehabilitation of shoulder injuries. *J Athl Train* 35:364-372, 2000.
65. Wathen, D. Communication: Athletic trainer/conditioning coach relations—communication is the key. *NSCA J* 6:32-33, 1984.
66. Wilder, RP y Sethi, S. Overuse injuries: Tendinopathies, stress fractures, compartment syndrome, and shin splints. *Clin Sports Med* 23:55-81, 2004.
67. Wilk, KE y Arrigo, CA. An integrated approach to upper extremity exercises. *Orthop Phys Ther Clin N Am* 1:337, 1992.
68. Wilk, KE, Arrigo, CA y Andrews, JR. The rehabilitation program ofthe thrower's elbow. *J Orthop Sports Phys Ther* 17:225-239, 1993.
69. Wilk, KE, Macrina, LC, Cain, EL, Dugas, JR y Andrews, JR. Rehabilitation of the overhead athlete's elbow. *Sports Health* 4:404-414, 2012.
70. Wilk, KE, Macrina, LC, Fleisig, GS, Aune, KT, Porterfield, RA, Harker, P, Evans, TJ y Andrews, JR. Deficits in glenohumeral passive range of motion increase risk of elbow injury in professional baseball pitchers: A prospective study. *Am J Sports Med* 42:2075 -2081, 2014.
71. Wilk, KE, Yenchak, AJ, Arrigo, CA y Andrews, JR. The advanced throwers ten exercise program: A new exercise series for enhanced dynamic shoulder control in the overhead throwing athlete. *Phys Sportsmed* 39:90-97, 2011.
72. Willems, TM, Witvrouw, E, Delbaere, K, Mahieu, N, De Bourdeaudhuij, I y De Clercq, D. Intrinsic risk factors for inversion ankle sprains in male subjects: A prospective study. *Am J Sports Med* 33:415-423, 2005.
73. Zinovieff, AN. Heavy resistance exercise: The Oxford technique. *Br J Phys Med* 14:129, 1951.

CAPÍTULO 23 Diseño, distribución y organización de las instalaciones

1. Abbott, AA. Fitness facility orientation. *ACSMs Health Fit J* 15(3):38-40, 2011.
2. *ACSM's Health/Fitness Facility Standards and Guidelines*. Champaign, IL: Human Kinetics, 49-72, 2012.
3. Armitage-Johnson, S. Providing a safe training environment for participants, part I. *Strength Cond* 16(1):64, 1994.
4. Armitage-Johnson, S. Providing a safe training environment, part II. *Strength Cond* 16(2):34, 1994.
5. Hypes, MG. Planning and designing facilities. *JOPHERD* 77(4):18-22, 2006.
6. Kroll, B. Facility design: Developing the strength training facility. *NSCA J* 11(6):53, 1989.
8. Kroll, W. Structural and functional considerations in designing the facility, part I. *NSCA J* 13(1):51-58, 1991.
9. Kroll, W. Structural and functional considerations in designing the facility, part II. *NSCA J* 13(3):51-57, 1991.

CAPÍTULO 24 Principios, intervenciones y temas legales relacionados con las instalaciones

1. Baley, JA y Matthews, DL. *Law and Liability in Athletics, Physical Education, and Recreation*. Boston: Allyn & Bacon, 1984.
2. Bart, CK. Industrial firms and the power of mission. *Industrial Marketing Management* 26(4):371-383, 1997.
3. Boyle, M. Creating efficient and effective workouts. En: *Designing Strength Training Programs and Facilities*. Reading, MA: Elite Conditioning, 219-227, 2006.
4. Brown, VA. *Boston University Strength and Conditioning Internship Manual*. Boston: Boston University, 4-13, 2014.
5. Bucher, CA y Krotee, ML. *Management of Physical Education & Sport,* 11.ª ed. Boston: McGraw-Hill, 1998.
6. Casa, DJ, Anderson, SA, Baker, L, Bennett, S, Bergeron, MF, Con nolly, D, Courson, R, Drezner, JA, Eichner, R, Epley, B, Fleck, S, Franks, R, Gilchrist, J, Guskiewicz, KM, Harmon, KG, Hoffman, J, Holschen, J, Indelicato, P, Jost, J, Kinniburgh, A, Klossner, D, Lawless, C, Lopez, RM, Martin, G, McDermott, BP, Mihalik, JP, Moreau, B, Myslinski, T, Pagnotta, K, Poddar, S, Robinson, B, Rogers, G, Russell, A, Sales, L, Sandler, D, Stearns, RL, Stiggins, C, Thompson, C y Washington, R. The Inter-Association Task Force for Preventing Sudden Death in Collegiate Conditioning Ses sions: Best practices recommendations. *J Athl Train* 47(4):477-480, 2012.
7. Earle, RW. *Staff and Facility Policies and Procedures Manual*. Omaha, NE: Creighton University, 1993.
8. Epley, BD. *Flight Manual*. Lincoln, NE: University of Nebraska Printing, 1998.
9. Epley, BD. *Make the Play*. Lincoln, NE: University of Nebraska Printing, 1998.
10. Gentil, P y Bottaro, M. Influence of supervision ratio on muscle adaptations to resistance training in nontrained subjects. *J Strength Cond Res* 24(3):639-643, 2010.
11. Halling, D. Legal terminology for the strength and conditioning specialist. *NSCA J* 13(4):59-61, 1991.
12. Herbert, DL. A good reason for keeping records. *Strength Cond* 16(3):64, 1994.
13. Herbert, DL. Legal aspects of strength and conditioning. *NSCA J* 15(4):79, 1993.
14. Kleiner, DM, Holcomb, W y Worley, M. Role of the strength and conditioning professional in

rehabilitating an injured athlete. *Strength Cond* 18(2):49-54, 1996.
15. Kroll, B. Liability considerations for strength training facilities. *Strength Cond* 17(6):16-17, 1995.
16. NCAA. *Proposal Number 2013-18*. Indianapolis: NCAA, 2014.
17. NSCA. *National Strength and Conditioning Association Code of Ethics*. Colorado Springs, CO: NSCA, 2008.
18. NSCA. *NSCA Performance Center Emergency Policies and Procedures*. Colorado Springs, CO: NSCA, 2011.
19. NSCA. *Strength and Conditioning Professional Standards and Guidelines*. Colorado Springs, CO: NSCA, 2001.
20. NSCA. *Strength and Conditioning Professional Standards and Guidelines (Revised)*. Colorado Springs, CO: NSCA, 1-26, 2009.
21. Rabinoff, R. Weight room litigation: What's it all about. *Strength Cond* 16(2):10-12, 1994.
22. Stern, GJ. *The Drucker Foundation Self-Assessment Tool: Process Guide*. San Francisco: Jossey-Bass, 133-140, 1999.
23. Taylor, JH. *Performance Training Program Manual*. Las Cruces, NM: New Mexico State University, 2006.

ÍNDICE ALFABÉTICO

Los números de página que terminan en *f* o en *t* indican la existencia de una figura o una tabla, respectivamente.

β-alanina, 240-241
β-caroteno, 191*t*
β-hidroxil-β-metilbutirato (HMB), 239-240
1RM (1 repetición máxima)
  cálculo de la carga del entrenamiento, 456, 458
  continuo del número de RM, 456, 457*f*
  definición, 451-452, 452*t*
  estimación, 454, 455-456*t*
  porcentaje, 456
    del entrenamiento de potencia, 458-459
  prueba, 453-454
    de múltiples RM, 454
  usos, 452-453

A

AAE (aminoácido esencial), 237-238, 238*f*
Academia de Nutrición y Dietética (AND), 176, 177, 607
Academia Norteamericana de Pediatría, 199
acción muscular, 32
  concéntrica, 32
  excéntrica, 32
  isométrica, 32-33, 411
ACE (Consejo Norteamericano del Ejercicio), 177
aceleración, 35-36, 523
acetilcolina, 9
ácido
  alfa-linolénico (ALA), 189
  docosahexaenoico (DHA), 188-189
  eicosapentaenoico (EPA), 188-189
  graso, 188-189
    omega-3 y omega-6, 188-189
    saturado, 188
  láctico, 48
  pantoténico, 192*t*
acidosis láctica, 49
acomodación, 93
acromegalia, 235
ACTH (hormona adrenocorticotropa), 68, 82

actina, 5-7, 6*f*, 93
activación, 157-161, 159*f*, 160*f*, 164-167, 232
  fisiológica, 158, 160, 161, 164-166
  muscular, 411
activación/inhibición alostérica, 50
acumulación de lactato en la sangre (OBLA), 51, 122
ADA (Ley de ciudadanos discapacitados), 628
adaptación, 66. *Véase también* entrenamiento
  de resistencia aeróbica; entrenamiento
  anaeróbico
  al entrenamiento, 66
  específica a las exigencias impuestas (AEEI), 440, 444, 617
adenilatocinasa, reacción de la, 46
adenosín monofosfato cíclico (AMPc), 68
adenosintrifosfatasa (ATPasa), 8, 44, 95
adiestramiento en inoculación de estrés (AIE), 166
administración de las instalaciones, 653, 654*t*
  composición del equipo, 643*t*
  declaración de objetivos, 642
  entrenador jefe de fuerza y acondicionamiento físico, 644*t*, 644-645
  objetivos del programa, 642-643
  personal, 645*f*, 646, 646*f*, 651-653
  planificación y respuesta en casos de emergencia, 653-655, 655*t*
  temas legales y éticos para el uso de las instalaciones, 647-651
adolescencia. *Véase también* niños y ejercicio crecimiento muscular y óseo, 137-139
  definición, 136
  entrenamiento
    pliométrico, 478-479
    resistido, 140, 141*f*
  ingesta de calcio, 195
  tríada de las deportistas, 146
ADP (difosfato de adenosina), 8, 44, 45*f*, 47*f*, 242
adrenalina, 68, 84. *Véase también*
  catecolaminas
adultez, 136
adulto y ejercicio
  entrenamiento resistido, 151-153
  declive del rendimiento, 148
  diseño de programas, 151-153
  entrenamiento
    pliométrico, 480
    resistido, 150-151
  función neuromotora, 149-150
  salud musculoesquelética, 148-149
  seguridad, 152
  tabla resumida de las adaptaciones, 149*t*
AEEI (principio de las adaptaciones específicas a las exigencias impuestas), 440, 444, 617
aeróbico, definición, 44
afinamiento, 131, 572
Agencia Antidopaje de Estados Unidos (USADA), 227

Agencia de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (FDA), 226-227
Agencia Mundial Antidopaje (AMA), 227
agente físico, 611
agilidad. *Véase también* entrenamiento de la velocidad y la agilidad
  actuaciones, 533
  cambios de dirección, 534-535, 546*t*
  capacidad perceptivo-cognitiva, 535
  definición, 522
  ejercicios, 552-556
  estrategias de desarrollo, 545-546, 546*t*
  factores, 533*f*, 533-534
  medición, 261
  objetivos del entrenamiento, 536
  pautas técnicas e instrucción deportiva, 535-536
  programa de desarrollo, 538-539, 539*t*, 540*t*, 544
  pruebas, 280-282, 311-312*t*
agonista β-adrenérgico, 236
AI (ingesta adecuada), 180
AIE (adiestramiento en inoculación de estrés), 166
Akt/diana mecánica de la rapamicina (TORm), 69, 94, 238
ALA (ácido alfalinolénico), 189
alcance de las competencias, 648
alimentación desordenada. *Véase* trastorno de la conducta alimentaria
almidón, 184
alvéolo, 15
AMA (Agencia Mundial Antidopaje), 227
AMDR (intervalo aceptable de distribución de macronutrientes), 182
amenorrea, 146-147
aminoácido, 181*t*, 182, *Véase también* proteína
  de cadena ramificada (BCAA), 53, 238
  esencial (AAE), 237-238, 238*f*
  no esencial, 237
AMP (monofosfato de adenosina), 44, 45*f*, 94
AMPc (adenosín monofosfato cíclico), 68
anabolismo, 44
anaeróbico (definición), 44
análisis
  antidopaje aleatorio, 235
  DAFO, 624
  de las necesidades
    de un programa deportivo, 625-627
    en la temporada deportiva, 444*t*
    en programas de entrenamiento pliométrico, 475
    para el diseño de programas, 441-443, 444*t*
    para el diseño de un centro deportivo, 624
  de los movimientos, 441
  fisiológico, 441
anchura de la empuñadura, 352, 352*f*
anciano, 136. *Véase también* adulto mayor y ejercicio
  definición, 136

Andro Project, 233
andrógeno, 229, 230, 231, 233
androstenediol/androstenediona, 233
anemia, 193
ángulo de distribución penniforme, 30-31, 96
anorexia nerviosa, 221-222
ansiedad, 158-159, 159*f*, 163, 164-167, 236-237
  cognitiva, 158, 161
  crónica, 158
  somática, 158, 161
  transitoria, 158
antiestrógeno, 228*f*, 232
antioxidante, 192*f*
antropometría, 262-263, 290
aparato de inestabilidad, 412-413
apilamiento, 229, 246
aprendizaje por observación, 171
arginina, 238-239
ARNm (ARN mensajero), 70-71
arteria, 14-15
arteriola, 14-15
articulación, 2, 20, 321
  biaxial, 2
  cartilaginosa, 2, 20
  elipsoidea, 321
  esferoidea, 321
  fibrosa, 2
  ligamentaria, 20
  monoaxial, 2
  multiaxial, 2
  troclear, 321
artropatía degenerativa, 101, 123
asesor, 607
asimetría bilateral, 421
asma, 17, 109, 246, 252
  inducida por el ejercicio, 17
Asociación Nacional Atlética Universitaria (NCAA), 227-228, 625
Asociación Nacional de Fuerza y Acondicionamiento Físico (NSCA), 606-607, 650
Asociación Nacional de Preparadores Físicos, 606
asunción del riesgo, 647
atención, 163
  modalidad, 164, 164*f*
  selectiva, 163
atleta
  joven, 136
  mujer. *Véase* mujer y ejercicio
atletismo de fondo, 10, 475, 617
ATP. *Véase* trifosfato de adenosina
ATPasa (adenosintrifosfatasa), 8, 44, 95
aumentar, activar, movilizar y potenciar (RAMP), 319

aumento de peso, 217
aurícula, 12
auriculoventricular (AV), fascículo/nódulo/
válvulas, 12-13
autoconfianza, 167
autoeficacia, 167
ayuda ergogénica, 226-228, 650-651. *Véase también* sustancias que mejoran el rendimiento

B

banda
  A, 5
  I, 6
batería de pruebas, 255
BCAA (aminoácido de cadena ramificada), 53, 238
bebida
  deportiva, 198
  energética previa al entrenamiento, 245-246
BESS (sistema de puntuación de errores de equilibrio), 262, 284, 313*t*
bicarbonato sódico, 241
bíceps (músculo), 367-368
bicicleta
  elíptica, 579
  estática, 576
biodisponibilidad, 182
bioenergética, 43-63
biomecánica, 19-42
  definición, 20
  fuente de resistencia, 33-37
  fuerza, potencia. *Véase* fuerza y potencia musculatura esquelética, 20-24, 21-24*f*
  plano anatómico, 24, 25*f*
  riesgo de lesiones en el entrenamiento resistido, 37-40
  tamaño corporal, 33
biotina, 192*t*
bloqueador β, 236-237
bomba de músculo esquelético, 15
bote, 496-501, 516
bradicardia, 14, 120-121
brazo de momento, 21
bronquio, 15
bulimia nerviosa, 222

C

cadena
  de transporte de electrones (CTE), 50, 52, 53, 124
  pesada de miosina (MHC), 9, 95
cafeína, 244-245

calcio, 6-7, 8, 195-196
  ATPasa, 44
calentamiento
  específico, 318-319
  estiramiento, 318-320, 478, 478*t*
calor y prueba de resistencia aeróbica, 256
cambio
  de porcentaje, 291
  mínimo relevante, 293
capacidad
  aeróbica, 261, 277-279
    máxima (nVO_2 máx), 560-561
  de tamponamiento muscular (CTM), 59, 60, 96, 240
  funcional, 563
  para cambiar de dirección, 522, 534-535, 538, 546
capilar, 5
carga, 451
  de hidratos de carbono, 203, 204-206, 207*t*
  fórmula clásica, 33
  glucémica, 186-187, 187*t*
  mecánica del hueso, 97
  y repeticiones en el entrenamiento
    aplicación de las pautas, 460-462
    establecimiento de objetivos, 454, 456
    opciones para la prueba con 1RM y múltiples RM. *Véase* 1RM (1 repetición máxima)
    progresión de la carga del entrenamiento, 459-462, 460*t*
    relación, 451-452, 452*t*
    terminología, 451
    variación de la carga del entrenamiento, 459
cargada
  de fuerza, 267, 295-297*t*, 298-299*t*
  press de hombros con tronco, 430-431
carnosina, 240-241
carrera
  de 12 minutos, 277, 309*t*
  de 2,4 km, 277, 305-307*t*
cartílago, 101-102
  articular, 102, 411
  de crecimiento, 138
  fibroso, 102
  hialino, 2, 102
catabolismo, 44
catecolamina, 83, 130
causalidad, 647
CEA (ciclo de estiramiento-acortamiento), 472, 473*t*, 473-475, 474*f*, 525
célula
  de Leydig, 229, 234
  del tejido de destino, 68
centro de atención, 163-164

CES (componente elástico en serie), 472
ciclo
  de estiramiento-acortamiento (CEA), 472, 473*t*, 473-475, 474*f*, 525
  menstrual, 79-80
cicloergómetro, 36, 58, 260, 261
cifótica (postura de la columna), 38
cinta para correr, 575
cinturón de halterofilia, 38-39, 354
CISSN (credenciales de nutricionista deportivo), 177
citocromo, 52
citrato sódico, 241-242
citrus aurantium, 246-247
CK (creatincinasa), 46, 130
clembuterol, 236
cobalamina, 192*t*
cocontracción, 150
codificación del índice, 30, 536
código ético
  NSCA, 650
  profesionalidad, 650-651
COI (Comité Olímpico Internacional), 177, 227, 246
colchón de seguridad, 629
Colegio Americano de Medicina del Deporte, 129
Colegio Europeo de Medicina del Deporte, 129
colesterol, 189*t*, 189
  total, 189*t*
columna vertebral, 2-3, 38
comienzo de la acumulación de lactato en la sangre (OBLA), 51, 122
Comité Asesor de las Pautas Alimentarias, 189
Comité Olímpico Internacional (COI), 177, 227, 246
competición en plena temporada, 570-571
complejo
  QRS, 14
  receptor de hormonas (H-RC), 70
componente elástico en serie (CES), 472
composición corporal
  aumento o pérdida de peso, 217, 218-221
  dato descriptivo, 305-307
  dieta baja en hidratos de carbono, 218
  diferencia sexual, 145
  IMC, 218-220, 219*t*, 220*t*
  medición, 262
  necesidad calórica diaria estimada, 217*t*
  protocolo de las pruebas y datos de puntuación, 288-289
  requisito energético, 216-217
condrocito, 102
conocimiento
  de la actuación, 172
  de los resultados, 171
Consejo Norteamericano del Ejercicio (ACE), 177

consentimiento informado, 647
consumo
  de oxígeno, 51, 117. *Véase también* consumo máximo de oxígeno
  excesivo de oxígeno posejercicio (EPOC), 57-58
  máximo de oxígeno, 117, 124, 305-307*t*
contracción agonista, 325, 327
contracondicionamiento, 166
contramovimiento, 91, 171, 472, 474, 475, 525, 538
control
  antidopaje, 227, 231, 244. *Véase también* sustancias que mejoran el rendimiento
  neuromuscular, 613
contusión, 608
corazón. *Véase también* sistema cardiovascular
  factores de riesgo, 189, 218, 219, 233
  frecuencia y entrenamiento aeróbico, 116-117, 563*t*, 563, 564
  sistema y estructura, 12-14, 13*f*, 14*f*
Cori (ciclo), 48, 48*f*, 120
corteza suprarrenal, 68
cortisol, 68-69, 82-84, 130
course navette de 274
  metros, 273, 302*t*
creatincinasa (CK), 46, 130
crecimiento, 136
credenciales de nutricionista deportivo (CISSN), 177
CSCS (especialista titulado en entrenamiento de la fuerza y acondicionamiento), 607, 625
CSSD (especialista titulado en dietética deportiva), 176, 177
CTE (cadena de transporte de electrones), 50, 52, 53, 124
cuadrante del centro de atención, 164, 164*f*
cuerpo vetebral, borde ventral, 38
Cunningham (ecuación), 217
curación tisular, 610*t*, 610-611

D

daño muscular inducido por el ejercicio (DMIE), 94
daños y perjuicios, 647
datos de puntuación. *Véase* protocolo de las pruebas y datos de puntuación
De Lorme (sistema), 616, 617
deber, 647
debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades (DAFO), 624
declaración de objetivos, 641
déficit
  bilateral, 93, 421
  de oxígeno, 57
dehidroepiandrosterona (DHEA), 233
densidad
  corporal, 288, 314-315*t*
  de nutrientes, 195
  mineral ósea (DMO), 98, 142, 145, 146, 148, 150, 151, 195

depleción, 55
desarrollo de niños en edad de crecer, 136
descanso
  activo, 571, 591-592, 593, 594
  interseries, 465
descubrimiento, 171
  guiado, 171
desensibilización sistemática (DS), 165-166
desentrenamiento, 110-111, 131-132, 140, 571-572
deshidratación, 196, 197*t*, 197
  voluntaria, 220
desplazamiento angular, 29
despolarización, 14
desviación estándar, 291
deuda de oxígeno, 57
DEXA (absorciometría por rayos X de doble energía), 262
dextrosa, 184
DHA (ácido docosahexaenoico), 188-189
DHEA (dehidroepiandrosterona), 233
diáfisis, 138
diafragma, 16, 17, 38, 39
diástole, 12, 117
dieta. *Véase* nutrición
dietista
  deportivo, 176
  titulado (RD), 607
diferencia
arteriovenosa de oxígeno, 117
  de tanteo, 291
difosfato de adenosina (ADP), 8, 44, 45*f*, 47*f*, 242
difusión, 17, 119
digestibilidad de las proteínas, 182
dióxido de carbono, 15, 17, 118, 119, 120
Diploma en Nutrición Deportiva del COI, 177
director de fuerza y acondicionamiento físico, 644*t*, 644-645
disacárido, 184
dismorfia muscular, 230
distal, 3, 20
distensión, 608
distrés, 158
distribución del equipamiento en un centro deportivo, 628-630, 631*t*, 634-636*f*
diurético, 196, 220, 221, 232
DMIE (daños musculares inducidos por el ejercicio), 94
DMO (densidad mineral ósea), 98, 142, 145, 146, 148, 150, 151, 195
doble producto, 117
dopaje, 128-129, 227. *Véase también*
sustancias que mejoran el rendimiento dopamina, 84, 130. *Véase también*
catecolaminas
dorsal, 38
DRI (ingestas de referencia en la dieta), 178-180

DS (desensibilización sistemática), 165-166
DSHEA (Ley de salud y educación sobre los suplementos dietéticos), 227
duración del ejercicio, 566

E

ECG (electrocardiograma), 14*f*, 14
economía del ejercicio, 561
ectomórfico, somatotipo, 139
ecuación
  de Fick, 117
  de Harris-Benedict, 216-217
edad
  biológica, 136-137
  cronológica, 136-137
  de entrenamiento, 137
  esquelética, 137
edad y ejercicio
adaptación al entrenamiento aeróbico, 129
  adulto mayor. *Véase* adulto mayor y ejercicio
  entrenamiento pliométrico, 478-480
  flexibilidad, 321
  niños. *Véase* niños y ejercicio
edema, 610
EDT (Entrenador deportivo titulado), 606
EF (extralimitación funcional), 107, 129
efecto
  cronotrópico, 14
  cruzado, 93
  de acción de masas, 46
  ergolítico, 237
efedrina/efedra, 246
eficacia
  fisiológica, 156
  psicológica, 158
ejercicio
  abdominal, 359-361
  auxiliar, 444
  con bandas elásticas, 415-416, 416*t*, 417*f*, 432
  con cadenas como implemento, 413-415, 414*t*, 415*f*
  con cajón, 502-506
  con el antebrazo, 377-378
  con implementos no tradicionales
    con bandas elásticas, 432
      entrenamiento
        con pesas rusas, 419-420, 433
        Strongman, 417-419, 428-431
      pautas generales, 410
    con pesas libres con pies, 411, 412

de entrenamiento resistido
abdomen, 359-361
antebrazo, 377-378
bíceps, 367-368
cadera y muslo, 379-393
ejercicio de potencia, 400-407
espalda, 362-366
hombro, 394-397
pantorrilla, 369-370
pecho, 371-376
selección, 444-447, 445*t*
tríceps, 398-399
de movilidad, 324
de músculos aislados, 411
de recuperación, 445
de resistencia progresiva ajustable diariamente (ERPAD), 616-617, 617*t*
en cadena cinética
abierta, 615*f*, 615-616
cerrada, 615, 615*f*
en decúbito supino, 353
estructural, 98, 353, 444
fuera de la jaula, 354
isocinético
definición, 33
en un programa de rehabilitación, 612, 616
entrenamiento de resistencia variable, 413
equilibrio y entrenamiento pliométrico, 445
HGH, 235
prueba de fuerza, 25
isométrico
en un programa de rehabilitación, 612, 616, 618*t*
facilitación neuromuscular propioceptiva, 324-327
prueba de fuerza, 25, 28, 260
monoarticular, 444
para cadera y muslo, 379-393
para el hombro, 394-397
para el pecho con entrenamiento resistido, 371-376
para el tronco, pliométrico, 475-476, 519
pliométrico para el hemicuerpo inferior
botes, 496-501
diseño de programas, 475, 476*t*
ejercicio con cajón, 502-506
salto de pie, 489-490
salto desde un altura, 507-513
salto múltiple, 491-495
salto sin desplazamiento, 484-488
pliométrico para el hemicuerpo superior, 475, 514-517
poliarticular, 444
resistido con grandes cargas y hormonas, 72, 73, 76, 79, 83, 84
troncal, 444

elasticidad, 37, 321
elastina, 100
electrocardiograma (ECG), 14*f*, 14
electrolito, 193, 197-198
electromiografía (EMG), 92-93
EM (error típico de medida), 252
emesis. *Véase* trastorno de la conducta alimentaria
emoción, 157
empuñadura
  alterna, 352, 352*f*
  cerrada, 352
  de arrancada, 352
  de cargada, 352
  en pronación, 352, 352*f*
  en supinación, 352, 352*f*
  falsa, 352
  neutra, 352
  para los ejercicios de entrenamiento resistido, 352, 352*f*
  por arriba, 352, 352*f*
Encuesta Nacional de Examen de la Salud y la Nutrición (NHANES), 194
endomisio, 5
endomórfico (somatotipo), 139
energía, 44
entrenador
  deportivo titulado (EDT), 606
  jefe de fuerza y acondicionamiento físico, 644*t*, 644-645
entrenamiento
  aeróbico, 570. *Véase también* programa de entrenamiento de la resistencia aeróbica alternativo, 571
  anaeróbico, 87-113. *Véase también* programa de entrenamiento anaeróbico
    adaptación
      del tejido conjuntivo, 97-101, 100*f*
      fisiológica, 90*t*
      muscular, 93-97, 95*f*
      neuronal, 88-93, 90*f*, 91*f*
    compatibilidad con el entrenamiento aeróbico, 105-107
    desentrenamiento, 110-111
    diseño de programas. *Véase* programa de entrenamiento anaeróbico
    entrenamiento
      pliométrico. *Véase* entrenamiento pliométrico
      resistido. *Véase* entrenamiento resistido
    mejora del rendimiento, 106
    principales exigencias metabólicas del deporte, 89*t*
    rehabilitación y reacondicionamiento físico, 617-618
    respuesta
      cardiovascular, 103-105
      respiratoria, 105
      adaptación endocrina, 97-101, 100*f*
    revisión de las adaptaciones, 88
    sobreentrenamiento. *Véase* sobreentrenamiento

autógeno, 165
complejo, 480, 525
con el peso del cuerpo, 410-411, 423-424
con pesas rusas, 419-420, 433
con resistencia, 439-469
  adaptación fisiológica, 90*t*
  adulto mayor. *Véase* adulto mayor y ejercicio
  definiciones, 136
  diferencias por el sexo. *Véase* sexo y ejercicio
  diseño de programas. *Véase* ejercicio de entrenamiento resistido; técnica de entrenamiento resistido
  entrenamiento pliométrico, 480*t*, 480
  flexibilidad, 322
  fuente de resistencia, 35-37
  hormona anabólica, 72
  intercambio de gases respiratorios, 17
  método para desarrollar la velocidad, 536-538, 537*t*
  niños. *Véase* niños y ejercicio
  problema con las lesiones, 37-40
  programa de entrenamiento de resistencia aeróbica, 572
  rehabilitación y reacondicionamiento físico, 616-617, 618
  sistema endocrino, 66, 73-74, 85
  técnica de ejercicio. *Véase* técnicas de entrenamiento resistido
  testosterona, 75-76
de combinación, 61
de la agilidad y la velocidad, 521-557
  base neurofisiológica, 525-527, 526*f*, 527*f*
  capacidad para los cambios de dirección, 533*f*, 533-536, 534*f*
  capacidad para moverse con agilidad y cambiar de dirección, 533*f*, 533-536, 534*f*
  cualidad básica del rendimiento físico, 522
  diseño de programas, 539-540
  ejercicio de agilidad, 552-556
  ejercicio de velocidad, 549-551
  física, 523
  implicación práctica, 524-525
  impulso, 523, 524, 524*f*
  prueba de velocidad, 312-313*t*
  tasa de desarrollo de la fuerza, 522, 523*f*, 523
  velocidad en carrera. *Véase* esprín
de resistencia variable, 413-416, 414-417*f*
de ritmo/tempo, 568
del equilibrio y estabilidad de la zona media, 411-413, 425-427
en circuito, 449
en control cognitivo-afectivo del estrés (SMT), 166
en el umbral de lactato, 568
interválico aeróbico-anaeróbico, 568
lento y de distancia larga (LDL), 567*t*, 568
pliométrico, 471-520. *Véase también* programa de entrenamiento pliométrico
  ciclo de estiramiento-acortamiento, 473*t*, 473-475, 474*f*
  consideraciones sobre la edad, 478-479

definición, 472
diseño de programas. *Véase* programa de entrenamiento pliométrico
ejercicio aeróbico, 480
entrenamiento resistido, 480*t*, 480
evaluación previa al entrenamiento, 481*t*, 481-482
modelo mecánico, 472*f*, 472
modelo neurofisiológico, 472-473, 473*f*
seguridad del equipamiento y las instalaciones, 482
por intervalos, 59-60, 124, 567*t*, 568
de alta intensidad (EIAI), 60-61, 561, 567*t*, 568-569
progresivo de las partes, 170
puro de las partes, 170
repetitivo de las partes, 170
resistido. *Véase* ejercicio de entrenamiento resistido; entrenamiento de la velocidad y la agilidad; técnica de entrenamiento resistido para la velocidad y la agilidad secuencial, 539
Strongman, 417-419, 428-429, 430-431
unilateral, 421
enzima
glucolítica, 48, 50, 122
proteolítica, 82-83
EPA (ácido eicosapentaenoico), 188-189
epimisio, 3
EPO (eritropoyetina), 128-129, 235-236
EPOC (consumo excesivo de oxígeno posejercicio), 57-58
equilibrio, 262, 284, 481, 481*t*
muscular, 445
equipo de medicina del deporte, 606-607
equivalente ventilatorio, 105, 118
eritrocito, 15
eritropoyetina (EPO), 128-129, 235-236
error típico de medida (EM), 152
escalador, 578
esguince, 608
espacio muerto
anatómico, 118, 119*f*
fisiológico, 118
espalda, 38-39, 333-334, 362-366
espasmo, 9, 9*f*
especialista
en nutrición para el acondicionamiento físico, 177
titulado en dietética deportiva (CSSD), 176, 177
titulado en entrenamiento de la fuerza y acondicionamiento (CSCS), 607, 625
especificidad
de la carga, 98
del entrenamiento, 44, 59-61, 60*t*, 560
esprín
base neurofisiológica de la velocidad, 525-527, 526*f*, 527*f*
control de la capacidad para esprintar, 543
control del desarrollo de la velocidad, 543*t*
de 37 metros, 252, 292

diseño de programas, 539-540, 541-543
error técnico e instrucción deportiva, 529, 531-532*t*
física, 522
meta del entrenamiento, 529, 532-533
método para el desarrollo de la velocidad, 536-538, 537*t*
pauta técnica, 528-529, 529-531*f*
periodización del entrenamiento, 539-540
programa para el desarrollo de la agilidad, 544
velocidad del esprín, 527-528, 528*f*
esqueleto, 2-3, 3*f*
apendicular, 2
axial, 2, 410
estabilidad, 262, 285
establecimiento de metas, 168-169
estadística
de la magnitud, 292-293
descriptiva, 291-292
interferencial, 292
estado
de entrenamiento o experiencia, 442
ideal de rendimiento, 156-157
esteroide anabólico, 229*t*, 229-232, 231*f*
esterol, 188
estimulante, 244-247
estímulo osteogénico, 98
estiramiento
activo, 323
balístico, 323-324
cuándo debería estirar un atleta, 322-323
de cuello, 330
de hombros, 331
de brazos, 232
dinámico, 324, 341-349
estático, 323, 330-339
FNP, 323, 324-328, 325-327*f*
frecuencia, duración e intensidad de los, 322
para cadera y muslo, 335, 337, 338
pasivo, 323
tolerancia, 321-322
estrés, 158
estrógeno, 68
estudio de viabilidad, 624
ético (código), 650-651
eustrés, 158
evaluación, 250. *Véase también* selección y administración de pruebas
estadística de los datos, 291-293
formativa, 250
experiencia
con la técnica de los ejercicios, 442
previa con el entrenamiento, 442

extralimitación, 107, 129
funcional (EF), 107, 129
no funcional (ENF), 107, 129

F

facilitación
  bilateral, 93, 421
  neuromuscular propioceptiva (FNP), 324-328, 325-328*f*
factor
  ambiental
    en el diseño de instalaciones, 627-628
    en la sección de pruebas de esfuerzo, 253-254
  de crecimiento insulinoide tipo I (IGF-I), 68, 69, 80-82, 82*f*, 102, 183
  estresante, 158
  mecánico de crecimiento, 102
$FADH_2$ (flavín adenín dinucleótido), 52, 53
fagocitosis, 610
fármacos y drogas prohibidos, 226, 227, 228
Fartlek, entrenamiento de, 567*t*, 569
fascia, 3, 97, 99-101, 100*f*
fascículo, 5
  de His, 13
fase
  concéntrica del ejercicio pliométrico, 473-474, 474*f*
  de amortización del ejercicio pliométrico, 473-474, 474*f*
  de apoyo al esprintar, 526-527, 527*f*
  de contracción de los músculos, 8
  de diseño de unas instalaciones deportivas, 625
  de fuerza básica en la periodización, 589-590, 590*t*
  de fuerza resistencia de la periodización, 589
  de fuerza/potencia de la periodización, 590
  de hipertrofia/fuerza resistencia de la periodización, 589
  de maduración-remodelación de la curación, 611, 613-615*f*, 613-616
  de prediseño de unas instalaciones, 624-625
  de preoperación de unas instalaciones, 625
  de preparación general de la periodización, 589
  de recarga de los músculos, 8
  de relajación de los músculos, 8
  de remodelación de la curación, 611, 613-615*f*, 613-616
  de reparación
    fibroblástica, 610, 612-613
    para lesiones, 610
  de reposo de los músculos, 7
  de respuesta inflamatoria de la curación, 610, 611-612
  de suspensión, 529
  estática del esprín, 527*f*
  excéntrica del ejercicio pliométrico, 472, 473, 474*f*
  preparatoria específica de la periodización, 589

FCMEE (frecuencia cardíaca máxima estimada para la edad), 563
FCR (frecuencia cardíaca de reserva), 563
FDA (Agencia de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos), 226-227
fiabilidad
  de una prueba, 252-253
  entre evaluadores, 252
  test-retest, 252
fibra, 184, 188
  colágena, 99
  dietética, 184
  extrafusal, 11
  intrafusal, 11
  muscular, 3-5, 5*f*, 9, 10*t*, 95*f*, 95-96
    de contracción lenta, 9. *Véase también* fibra muscular tipo I y tipo II
    de contracción rápida, 9. *Véase también* fibra muscular tipo I y tipo II
    tipo I y tipo II, 1, 9
      adaptación muscular al entrenamiento aeróbico, 122-123
      principio del tamaño, 95
      tasa de producción de lactato, 48
      transición, 95-96
fibrosis, 321
fisiólogo del ejercicio, 607
fisioterapeuta, 606
flavín adenín dinucleótido ($FADH_2$), 52, 53
flexibilidad, 262, 286-287, 320-322. *Véase también* estiramientos
  dinámica, 320
  estática, 320
flexión
  corta de abdominales, 274, 303*t*
  de brazos, 275, 303-304*t*, 518
FNP (facilitación neuromuscular propioceptiva), 324-328, 325-328*f*
folato, 192*t*
fosfato, 8
  de calcio, 57
  inorgánico, 44
fosfocreatina (CP), 46, 55, 96-97, 24-244, 243*f*
fosfofructocinasa (PFK), 50
fosfolípido, 188
fosforilación, 49-50
  al nivel del sustrato, 50
  oxidativa, 49-50, 51
fracción de eyección, 116
fraccionamiento, 170
fractura
  clasificación, 608
  lámina epifisaria, 138, 142
  osteoporosis, 142, 151
  por sobrecarga, 99, 146, 610
  relacionada con la edad, 148, 149
frecuencia

cardíaca
de reserva (FCR), 563
ideal, 563, 564
máxima (FCM), 117, 563
máxima estimada para la edad (FCMEE), 563
de activación, 10, 11
del entrenamiento, 447-449, 448*t*, 562
definición, 562
fricción, 36
fructosa, 184
fuera de temporada, 570
fuerza, 523
de inercia, 35
de reacción contra el suelo, 415, 533, 538
de resistencia, 21
muscular, 21, 265-266
a alta velocidad, 260-261
máxima, 260, 265-266
neural, 525
y masa (relación), 33
y potencia
aceleración, 25, 28
ángulo articular, 31
área transversal del músculo, 30
configuración de las fibras musculares, 30-31, 31*f*
control neuronal, 30
factor de conversión, 28
frente a potencia, 29-30
definición, 25
longitud muscular, 31
potencia (definición), 28
relación entre fuerza y masa, 33
trabajo y potencia angulares, 29
trabajo y potencia negativos y positivos, 28-29
unidades utilizadas en los cálculos, 28
velocidad, 28
agilidad, 522
angular de las articulaciones, 32-33
de contracción de los músculos, 31-32
fulcro, 20

G

galactosa, 184
gastrocnemio (músculo), 96, 441, 474, 476
gestión de riesgos, 647
glándula
endocrina, 66, 67*t*. *Véase también* sistema endocrino
paratiroidea, 66*f*

globulina transportadora de hormonas sexuales (SHBG), 68
glucocorticoide, 82
glucogénesis, 184
glucógeno, 56, 184
glucogenólisis, 50
glucólisis, 46-51, 47*f*
  acumulación de lactato en sangre, 50-51
  aeróbica, 47
  ciclo de Krebs, 49
  consumo de oxígeno, 57*t*, 57-58, 58*f*, 59*f*
  control de, 50
  depleción y repleción de substratos, 55-56
  especificidad metabólica, 44, 59-61, 60*t*
  factor limitador en la práctica de ejercicio, 56-57
  formación de lactato, 47-49
  lenta, 47
  producción de energía, 49-50
  rápida, 46
  revisión, 44-45
  sistema del fosfágeno, 46
  sistema oxidativo, 51-53, 52*f*
  terminología, 44, 45*f*
  umbral de lactato, 50-51
gluconeogénesis, 48, 53, 184
glucosa, 51-52, 52*f*, 184
golpe de potencia, 8
gonadotropina coriónica (HCG) 233-234
grado de movilidad (ROM), 320-321, 353
grasa, 53, 130, 188-190, 189*t*
  monoinsaturada, 188
  poliinsaturada, 188
gravedad
  entrenamiento resistido, 33-35, 35*f*
  específica de la orina (USG), 197
guanosín trifosfato (GTP), 51

H

HCG (gonadotropina coriónica), 233-234
HDL (lipoproteínas de alta densidad), 189, 189*t*, 233
hematocrito, 128, 236
hemoglobina, 15, 120, 128, 194, 195, 236
hendidura glótica, 16, 38, 39, 353, 410
hexocinasa, 50, 52
HGH (hormona del crecimiento), 77-80, 234-235
hidratación, 196, 206
hidrato de carbono, 183, 186*t*, 168-188, 187*t*, 190
hidrólisis, 44
hidroxiapatita, 97

hierro, 194-195
hígado, 66*f*
HIPAA (Ley de transferencia y responsabilidad de seguro médico), 177
hiperemia reactiva, 104
hiperplasia, 94-95
hipertrofia, 93-95, 96
definición, 93
interaccion hormonal, 73, 75
nutrición, 216
período de descanso necesario, 465-466
principio del tamaño, 91-92
volumen requerido para, 465
hiperventilación, 126
hipófisis, 66*f*, 68
hipohidratación, 196
hiponatremia, 198
hipotálamo, 66*f*
hipoxia, 79, 126, 127, 127*t*, 242
historia del ejercicio, 442
HMB (ß-hidroxil-ß-metilbutirato), 239-240
hoja/tarjeta de entrenamiento, 652-653
hormona, 66. *Véase también* sistema endocrino
adrenocorticotropa (ACTH), 68, 82
anabólica
crecimiento, 77-80
definición, 69
ejercicio resistido, 72
entrenamiento anaeróbico, 102
factor de crecimiento insulinoide, 80-82
testosterona, 74-77, 228
catabólica, 69
como ayuda ergogénica
agonista adrenérgico ß, 236
bloqueador ß, 236-237
eritropoyetina, 235-236
esteroide anabólico, 229-232
HGH, 77-80, 234-235
insulina, 234
precursor de la testosterona, 232-233
sustancias usadas habitualmente, 228
del crecimiento (HGH), 77-80, 234-235
esteroide, 68, 70-71, 71*f*
péptida, 68, 72
polipeptídica, interacción,71*f*, 71-72
suprarrenal, 82-84, 130
tiroidea, 68
H-RC (complejo receptor de hormonas), 70
hueso
cortical, 97-98
esponjoso, 97

trabecular, 97-98
huso muscular, 11*f*, 11-12, 323, 472

I

IAACDP (índice de aminoácidos corregido por la digestibilidad de las proteínas), 182
IDF (índice de desarrollo de la fuerza), 522, 523*f*, 523
IEP (índice de esfuerzo percibido), 563, 564*t* IG (índice glucémico), 186, 186*t*, 187*t* IGF-I (factor de crecimiento insulinoide tipo
I), 68, 69, 80-82, 82*f*, 102, 183
IMB (índice metabólico basal), 216
IMC (índice de masa corporal), 218-220, 219*t*, 220*t*
impulso, 524, 524*f*
de frenado, 525
IMR (índice metabólico en reposo), 216
incumplimiento de las obligaciones, 647
índice
de aminoácidos corregido por la digestibilidad de las proteínas (IAACDP), 182
de desarrollo de la fuerza (IDF), 522, 523, 523*f*
de esfuerzo percibido (IEP), 563, 564*t*
de fuerza reactiva, 271
de masa corporal (IMC), 218-220, 219*t*, 220*t*
glucémico (IG), 186, 186*t*, 187*t*
metabólico basal (IMB), 216
metabólico en reposo (IMR), 216
inercia, 35-36, 524
infancia, definición, 136
inflamación, 610
ingesta
adecuada (AI), 180
calórica. *Véase* nutrición
de referencia en la dieta (DRI), 178-180
inhibición
autógena, 323, 325
recíproca, 323
inmunología neuroendocrina, 69
inserción
apofisaria, 138
carnosa, 20
de un músculo, 20
fibrosa, 20
proximal, 3
instalaciones (deportivas) administración. *Véase* administración de las instalaciones
consideraciones sobre el diseño, 627-628
diseño de nuevas instalaciones, 624-625
distribución del equipamiento, 628-630, 631*t*, 634-635*f*
evaluación de las necesidades del programa deportivo, 625-627
lista de verificación de puntos de seguridad, 637-639*t*

mantenimiento y limpieza del equipamiento, 630-631, 632*t*, 636
modificación de unas instalaciones ya existentes, 625, 626*t*
problemas legales
administración de riesgos, 647
criterios de elegibilidad, 648, 649*f*
disciplina, 650
mantenimiento de registros, 648
programa sanitario de detección, 647-648
responsabilidad del fabricante, 648-650
seguro contra terceros, 648
terminología legal, 647
Instituto de Medicina (IOM), 183
instrucción deportiva
entrenador jefe de fuerza y acondicionamiento físico, 644*t*, 644-645
método de entrenamiento conductual, 164, 169
pauta técnica, 529, 531-532*t*, 535-536
refuerzo positivo y negativo, 162-163
instrucción explícita, 171
insulina, 69, 234
intensidad, 451, 562-566, 563-566*t*
del entrenamiento, 562-566, 563-566*t*
Inter-Association Task Force for Preventing Sudden Death in Collegiate Conditioning Sessions, 650
intercambio de gases respiratorios, 16, 17
interconversión de piruvato en lactato, 46
intervalo
aceptable de distribución de macronutrientes (AMDR), 182
de crucero, 568
IOM (Instituto de Medicina), 183
isocalórico, 208

J

JAK/STAT (vía), 72
joven, 136

K

Karvonen (método), 563
kit de primeros auxilios, 653
Knight (sistema), 616-617, 617*t* Krebs (ciclo), 44, 49, 51, 53, 124

L

lactato, 47-49, 130
deshidrogenasa (LDH), 47-48, 49*f*
lactosa, 184
lámina epifisaria, 138, 142

lanzamiento pliométrico, 514-517
laxante, 196, 221
LCA (ligamento cruzado anterior), 147-148, 413, 620
L-carnitina, 242
LDH (lactato deshidrogenasa), 47-48, 49*f*
LDL
  (entrenamiento lento y de distancia larga), 567*t*, 568
  (lipoproteínas de baja densidad), 189*t*, 189
lesión. *Véase también* rehabilitación y reacondicionamiento físico análisis, 441
  codo y muñecas, 40
  en un adulto mayor, 150-151, 480
  en mujer atleta, 147-148
  fase de reparación, 610
  grados, 608-609
  hombro en el entrenamiento resistido, 38-39
  por uso excesivo, 137, 609, 610
  problema en el entrenamiento resistido, 37-40
  reducción del riesgo en los niños, 143
leucina, 238
levantamiento de troncos, 419
ley
  de acción de masas, 46
  de ciudadanos discapacitados (ADA), 628
  de control de esteroides anabólicos, 233
  de Hooke, 415-416
  de limitaciones, 648
  de salud y educación sobre los suplementos dietéticos (DSHEA), 227
  de transferencia y responsabilidad de seguro médico (HIPAA), 177
ligamento, 3, 99-101, 100*f*
  cruzado anterior (LCA), 147-148, 413, 620
línea Z, 5, 6
lípido, 130, 188. *Véase también* grasa lipólisis, 236
lipoproteína
  de alta densidad (HDL), 189*t*, 189, 233
  de baja densidad (LDL), 189, 189*t*
  de muy baja densidad (VLDL), 189
líquido
  electrolitos, 196-199, 197*t*
  sinovial, 2
litigio, 642
lordótica (columna), 38
luxación, 608

M

ma huang, 246
macrociclo, periodización, 587
macronutriente. *Véase* hidrato de carbono; grasa; proteína
macrotraumatismo, 608

maduración, 136
MAE (motivación para alcanzar el éxito), 162
magnitud del efecto, 293
Maillard, reacción de, 182
maltosa, 184
mantenimiento de registros, 648
Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales, 222
MAPK (proteína cinasa activada por mitógenos), 94
máquina
  de musculación frente a pesas libres, 34-35, 37, 411-412
  de placas, 34-35
  de remo, 577
Margaria-Kalamen (prueba), 272, 302*t*
margen, 291
  de percentil, 292
masa
  corporal magra (MCM), 217
  ósea, 98, 99, 101, 123, 142, 146, 195, 219
máster. *Véase* adulto y ejercicio
matriz ósea, 97
Matveyev (modelo), 584, 588*f*
mecanismo
  aeróbico, 44
  de excitación-contracción de los músculos, 7-8
  de Frank-Starling, 116
mecanorreceptor, 323
media, 291
mediana, 291
medición
  de los perímetros, 290
  de los pliegues cutáneos, 262, 288-289, 314-315*t*
médico del equipo, 606
médula
  ósea, 97
  suprarrenal, 68
MEF (motivación para evitar el fracaso), 162
mejora de la destreza deportiva, 166
menarquía, 136
mensajero secundario, 69, 71, 72
merecismo, 223
meta
  a corto plazo, 168-169
  a largo plazo, 169
  de proceso, 168
  de resultado, 168
metabolismo
  glucolítico, 79
  oxidativo, 51, 56, 61
método interválico intensivo corto a extensivo largo de entrenamiento del esprín, 541
miocardio, 14

miocinasa, reacción de la, 46, 55
miofibrilla, 5
miofilamento, 5-7, 6*f*
miogénesis, 94
mioglobina, 123, 194, 195
miosina, 5-7, 6*f*, 93
  ATPasa, 44
mitocondria, 44, 123
modalidad terapéutica, 606, 612
modelo
  de periodización
    lineal, 593
    no lineal, 593
    ondulante diario, 593
  resorte masa (MRM), 525-526, 538-539, 539*t*, 540*t*
  tradicional de periodización, 593
modo, 291, 562
  alternativo de ejercicio, 409-438
    adaptación al entrenamiento aeróbico, 125-127, 127*t*
    ejercicios, 432-437
    entrenamiento del equilibrio y la estabilidad de la zona media, 411-413, 425-427
    método de entrenamiento
      con el peso del cuerpo, 410-411, 423-424
      con resistencia variable, 413-417
    pautas generales, 410
    programa de entrenamiento de la resistencia aeróbica, 572-573
    pruebas de fondo, 254
monofosfato de adenosina (AMP), 44, 45*f*, 94
monosacárido, 184
monóxido de carbono, 128
motivación, 161-163
  extrínseca, 162
  intrínseca, 161-162
  para alcanzar el éxito (MAE), 162
  para evitar el fracaso (MEF), 162
motoneurona, 5
movilidad y velocidad, 538
MRM. *Véase* modelo resorte masa mujer y ejercicio
  beneficios del entrenamiento con resistencia, 144-146
  cálculo de las necesidades calóricas diarias, 217*t*
  carga de hidratos de carbono, 205
  desarrollo de la fuerza del hemicuerpo superior, 147
  diseño de programas con resistencia, 147-148
  lesión del LCA, 147-148
  respuesta de la hormona del crecimiento, 79-80
  respuesta de la testosterona, 76-77
  tríada de las deportistas, 146-147
mujer y entrenamiento resistido, 147-148
musculatura esquelética. *Véase* sistema musculoesquelético
músculo. *Véase también* sistema neuromuscular

adaptación al entrenamiento anaeróbico, 93-97, 95*f*
agonista, 20, 93,150, 322, 325, 327, 412, 421, 445
antagonista, 20, 93, 150, 322, 445
crecimiento óseo de los niños, 137-138, 138*f*
fibra muscular, 3-5, 5*f*, 9, 10*t*, 95*f*, 95-96
hormonas y crecimiento óseo, 69
motoneurona, 5
origen, 20
penniforme, 30
unidad motora, 5, 10, 11*t*, 89-92, 91*f*
MyPlate, 178, 179*t*, 180*t*, 180

N

NADH (nicotinamida adenina dinucleótido), 47*f*, 49, 52, 53
naranja amarga, 246-247
nebulina, 93
negligencia, 647
neuroendocrinología, 68
Newton (segunda ley), 25
NHANES (Encuesta Nacional de Examen de la Salud y la Nutrición), 194
niacina, 192*t*
nicotinamida adenina dinucleótido (NADH), 47*f*, 49, 52, 53
niños y ejercicio
cambios en el desarrollo físico y fuerza muscular, 138-139
categorías del IMC, 220*t*
consideraciones sobre el diseño de programas, 139-140, 141*f*, 143-144
desarrollo óseo y del músculo esquelético, 137-138, 138*f*
edad cronológica frente a biológica, 136-137
ejercicio resistido, 139-140, 141*f*, 143-144
entrenamiento pliométrico, 478-479
entrenamiento resistido, 139-140, 141*f*
hormona del crecimiento, 78
ingesta de calcio, 195
ingesta recomendada de líquido, 199
pautas del entrenamiento, 144
pautas para la ingesta de líquidos, 206
problemas de seguridad, 139
reducción del riesgo de lesiones por uso excesivo, 143
riesgo de deshidratación, 196
terminología, 136
nivel
de asistencia, 647
de atención, 163
máximo de ingesta tolerable (UL), 180
nódulo sinusal (SA), 13
noradrenalina, 84. *Véase también* catecolaminas
NSCA (Asociación Nacional de Fuerza y Acondicionamiento Físico), 606-607, 650
nutrición, 175-200, 201-224

aliviar los problemas gastrointestinales, 203
calcio, 195-196
composición corporal. *Véase también* composición corporal
densidad de nutrientes, 195
durante la competición, 206, 208-210
fuentes de conocimiento, 181
hierro, 194-195
líquido y electrolitos, 196-199
macronutriente. *Véase* hidrato de carbono; grasa; proteína
minerales, 193-194*t*, 193-196
para hipertrofia, 216
para la actividad de resistencia aeróbica y la recuperación, 208, 215
para la fuerza, 215
para la resistencia muscular, 216
pautas normativas, 178-181, 179*t*, 180*t*
poscompetición, 210-213, 213-214*t*
precompetición, 202-206, 204*t*, 207*t*
profesional de la nutrición en el deporte, 176-178
tampón muscular de origen nutricional, 240-242
trastorno de la conducta alimentaria, 221-223
vitaminas, 190-193, 191-192*t*
nutricionista, 607

O

obesidad, 218-220, 219*t*, 220*t*
objetividad, 252
OBLA (comienzo de la acumulación de lactato en la sangre), 51, 122
onda
P, 14
Q, 14
R, 14
S, 14
T, 14
operante, 162, 163
orden de los ejercicios, 448-451
órgano tendinoso de Golgi (OTG), 12, 323
osteoblasto, 97
osteogénesis, 98
osteopenia, 148
osteoporosis, 98, 142, 148
OTG (órganos tendinosos de Golgi), 12, 323
ovario, 66*f*, 75
Oxford (sistema), 616, 617
oxidación
β, 53
de glucógeno, 51-53
de proteínas, 53
óxido nítrico, 238

oxígeno, 120

P

palanca
de primer orden, 20
de segundo orden, 21, 22*f*
de tercer orden, 21, 22*f*
del sistema musculoesquelético, 20-21, 21-22*f*
páncreas, 66*f*, 186, 234
pantorrilla, 340, 369-370
paradigma de la condición física y la fatiga, 586*f*, 586-587
paseo del granjero, 419
PCr (fosfocreatina), 46, 56
PEP (*prevent injury and enhance performance*), 620
péptido F, 82
pérdida de peso (grasa), 218-221
rápida, 220-221
perfil
atlético, 293, 441-443, 481-482
de los estados de ánimo (POMS), 110
perimisio, 5
periodización del entrenamiento, 584-604
aplicaciones de las fases de la temporada deportiva, 592*t*, 592-593
diseño de programas para esprines, 539-540
ejemplo de plan anual de entrenamiento, 593-595, 596-603*t*
jerarquía, 587*t*, 587-588
modelo básico, 588*f*, 588-589
modelo ondulante frente a modelo lineal, 593
paradigma de la condición física y la fatiga, 586*f*, 586-587
período competitivo, 591
período de primera transición, 590-591
período de segunda transición, 591-592
período preparatorio, 589-590, 590*t*
secuenciación de los programas, 588
síndrome general de adaptación, 584-585, 585*f*
teoría del estímulo-fatiga y la recuperación-adaptación, 585-586, 586*f*
período
de competición, 591
de descanso, 465-466, 468
de primera transición, 590-591
de segunda transición, 591-592
preparatorio, 589-590, 590*t*
periostio, 3, 97
personal para unas instalaciones. *Véase* administración de las instalaciones
pesa libre
distribución del equipamiento deportivo, 629
máquinas, 34-35, 37, 411-412
momento mecánico, 22

vigilancia de los atletas, 354-357, 652
pesada hidrostática, 262
peso, 28
pica, 223
pico, 591
de masa ósea, 99
de velocidad de crecimiento (PVC), 137
piridoxina, 192
piruvato, 46
plan
anual de entrenamiento, 587, 593-595, 596-603*t*
de acción en caso de incendio, 655
de acción en caso de emergencias, 653, 655*t*
maestro, 624
planificación y respuesta en casos de emergencia, 653-655, 655*t*
plano
anatómico, 24, 25-27*f*
frontal, 24
sagital, 24
transverso, 24
plasticidad, 321
pleura, 16
polipéptido, 182
polisacárido, 183
POMS (perfil de los estados de ánimo), 110
porcentaje
de grasa corporal, 315*t*, 316*t*
de la frecuencia cardíaca máxima (FCM), 563
posición del cuerpo con cinco puntos de apoyo, 353
postemporada, 571
postest, 250
postura anatómica, 25
potencia
aeróbica, 124
anaeróbica, 260
ejercicio pliométrico, 472
ejercicios, 400-407, 444
fuerza. *Véase* fuerza y potencia
medición, 564, 566
muscular, 260-262, 267-272
anaeróbica máxima, 260-261
máxima, 267-272
trabajo de rotación, 29
trabajo negativo, 29
velocidad, 524-525
potenciación, 320, 472
del reflejo neuromuscular, 92
posactivación, 525
potencial
de acción, 7, 9

genético y adaptaciones al entrenamiento aeróbico, 129
práctica
aleatoria, 170-171
autocontrolada, 162
del todo, 170
partida, 447, 448*t*
por observación, 171
variable, 171
preactivación, 150
preadolescencia, 138, 139, 146. *Véase también* niños y ejercicio
precarga, 473
prensión en garfio, 353, 352*f*
preparación del contacto con el suelo, 529
presión
alveolar, 16-17
intraabdominal y cinturones de halterofilia, 38-39
pleural, 16
press de banca, 265, 276, 295-297*t*, 298-299*t*
en decúbito prono, 265-266, 298-299*t*
pretemporada, 570
pretest, 250
prevent injury and enhance performance (PEP), 620
principio
de la especificidad, 440, 444
de la reversibilidad, 110
de todo o nada del músculo, 9
del tamaño, 91, 91*f*, 95
proceso anaeróbico, 44
procolágeno, 100
producto del índice de presión, 104, 117
profesional de la fuerza y el acondicionamiento físico, 606-607, 644*f*, 646, 655
progesterona, 69
programa
de detección sanitario previo a la participación, 647-648
de entrenamiento anaeróbico
análisis de las necesidades, 441-443, 442*t*
carga del entrenamiento y repeticiones.
Véase carga del entrenamiento y repeticiones
orden de los ejercicios, 448-451
período de descanso, 465-466, 468*t*
principios de la prescripción de ejercicios, 440-441
selección de ejercicios, 443-447
volumen, 462-465
de entrenamiento pliométrico
adolescente, 478-479
adulto mayor, 480
análisis de las necesidades, 475
calentamiento, 478, 478*t*
duración del programa, 477
ejercicio para el hemicuerpo inferior. *Véase* ejercicio pliométrico para el hemicuerpo inferior

ejercicio para el hemicuerpo superior. *Véase* ejercicio pliométrico para el hemicuerpo superior
frecuencia, 477
intensidad, 476-477
modo, 475-476, 476*t*
pasos para la implementación, 478
postura de aterrizaje, 479*f*
progresión, 478
recuperación 477
volumen, 477, 477*t*
de mantenimiento, 591
metas y objetivo 642-643
progresión, 440, 566-567
prohormona, 232-233
propiocepción, 11*f*, 11-12, 12*f*, 613
propioceptor, 323
proteína cinasa activada por mitógenos (MAPK), 94
proteína, 181-184, 182*t*, 185*t*, 190, 213-214*t*
contráctil, 69, 93, 94
transportadora, 68
protocolo de las pruebas y puntuación de los datos
agilidad, 280-282
antropometría, 290
capacidad aeróbica, 277-279
capacidad anaeróbica, 273
composición corporal, 288-289
datos descriptivos, 298-316*t*
desarrollo del perfil atlético, 293
equilibrio, 284
estabilidad, 285
evaluación estadística de los datos, 291-293
flexibilidad, 286-287
fuerza muscular máxima, 265-266
percentiles para pruebas de fuerza seleccionadas, 295-299*t*
potencia muscular máxima, 267-272
resistencia muscular localizada, 274-276
velocidad, 283
proximal (definición), 3
prueba, 250, 505, 534
de agilidad 505, 535
de 10 × 5 metros, 282
de campo, 250
de equilibrio en desplazamiento en estrella (SEBT), 262, 285
de esprín en línea recta, 283
de múltiples intentos, 255
de potencia de Margaria-Kalamen, 302*t*
de *press* de banca de la YMCA, 276, 305*t*
de sentarse y alcanzar, 286, 305-307*t*
del hexágono, 281
yo-yo de recuperación intermitente, 278, 310*t*
psicología del deporte, 155-174

activación, 157-158, 159*f*, 164-166
ansiedad, 158, 159*f*, 164-166
atención y centro de atención, 163-164
definición, 156
emociones y deportes, 157
estado de rendimiento ideal, 156-157
estrés, 158
motivación, 161-163
papel, 156
técnica para mejorar el rendimiento, 169-172
teoría de la catástrofe, 161
teoría de la inversión, 161
teoría de la U invertida, 160*f*, 160-161
teoría del impulso, 159-160
zona individual de la teoría del funcionamiento opcional, 161
psicólogo, 607
psiquiatra, 607
pubertad, 136. *Véase también* niños y ejercicio
puente
M, 5
cruzado, 5
pulmón. *Véase* sistema respiratorio
punto
de retención, 353, 410
de unión alostérica, 69
Purkinje (fibras), 13
PVC (pico de velocidad de crecimiento), 137

R

RA (receptor andrógeno), 103
ración de dieta recomendada (RDA), 178
rama derecha del fascículo de His, 13
Rand Institute, 246
RCP (reanimación cardiopulmonar), 646
RD (dietista titulado), 607
RDA (raciones de dieta recomendadas), 178
reacción
catalizada por PFK, 50
en cuasi-equilibrio, 46
endergónica, 44
ergogénica, 44
reactividad cruzada, 69
reanimación cardiopulmonar (RCP), 646
recambio celular, 182
receptor
de andrógenos (RA), 103
sistema endocrino, 69-70, 70*f*
reclutamiento

selectivo, 91
unidades motoras, 30
recuperación, 529, 562, 584
reflejo
de estiramiento, 323, 472
miotático, 92
refuerzo
positivo, 162-163
negativo, 163
regla de 2
por 2, 459
regulación
de la retroalimentación, 50
decreciente, 70
del producto final, 50
rehabilitación y reacondicionamiento físico, 605-621
comunicación del equipo, 607-608, 608*f*, 609*f*
curación del tejido, 610*t*, 610-611
diseño de programas, 616-618
ejemplo de aplicación de los principios del diseño, 618
meta del tratamiento y estrategias para el ejercicio, 611-616, 614-615*f*
miembro del equipo de medicina del deporte, 606-607
principios, 607
reducción del riesgo de lesiones, 618-620, 619*f*
tipo de lesión, 608-610
relación
entre el número de miembros del personal y el número de atletas, 626, 652
entre trabajo y descanso, 59
relajación muscular progresiva (RMP), 165
rendimiento atlético, 260-263
repetición, 451
asignada, 454
forzada, 354
máxima (RM). *Véase* 1RM
volumen, 451
repleción, 55
repolarización, 14
requerimiento promedio estimado (RPE), 180-181
resistencia
a la contracción muscular, 33-37
acomodante, 413
aeróbica (entrenamiento), 115-133, 559-581
adaptación del tejido óseo y conjuntivo, 123
adaptación fisiológica, 121, 124, 125*t*
adaptación muscular, 122-123
adaptación neuronal, 122
adaptación del sistema endocrino, 123-124
compatibilidad de los modos de entrenamiento anaeróbico, 105-107
consumo de oxígeno, 57-58, 117
control de la circulación local, 118

desentrenamiento, 131
diseño de programas. *Véase* programa de entrenamiento de la resistencia aeróbica
edad, sexo, 129
efecto del tabaquismo, 128
efecto de la altitud, 125-127
efecto del dopaje sanguíneo, 128-129
mejora del rendimiento con, 126, 260
potencial genético, 129
programas de entrenamiento
afinamiento, 572
altitud, 572-573
capacidad aeróbica máxima, 560-561
centrado en el atleta individual, 561-562
desentrenamiento, 571-572
duración del ejercicio, 566
economía del ejercicio, 561
EIAI, 567*t*, 568-569
ejercicios, 575-580
entrenamiento alternativo, 571
entrenamiento de Fartlek, 567*t*, 568
entrenamiento interválico, 567*t*, 568
entrenamiento de largas distancias a ritmo lento, 567*t*, 568
entrenamiento de ritmo/tempo, 567*t*, 568
entrenamiento pliométrico, 480
entrenamiento resistido, 572
especificidad del entrenamiento, 560
fases de entrenamiento de la temporada, 570-571, 571*t*
frecuencia del entrenamiento, 562
intensidad del entrenamiento, 562-566, 563-566*t*
modo de ejercicio, 562
nutrición durante la competición, 206, 208-210
nutrición poscompetición, 210-213
nutrición precompetición, 202-206
programas de muestra, 569-570
progresión del ejercicio, 566-567
umbral de lactato, 561
rehabilitación y reacondicionamiento físico, 617-618
respiración hiperóxica, 127-128
respuesta cardiovascular, 116-117, 120-122
respuesta de los gases, 119-120
respuesta respiratoria, 118-119, 122
sobreentrenamiento, 129-131
tensión arterial, 117-118
transporte de gases en la sangre, 120
elástica, 37
muscular localizada, 261, 274-276
por la forma, 37
por la superficie, 37
respiración
diafragmática, 164-165, 166

durante el entrenamiento resistido, 353-354, 410
hiperóxica, 127-128
responsabilidad
definición, 647
del fabricante, 648-650
respuesta de los gases al entrenamiento aeróbico, 119*f*, 119-120
restablecimiento, 591-592
reticulación, 100
retículo sarcoplasmático, 5*f*, 6-7
retorno venoso, 116
retroalimentación, 171-172
intrínseca, 171
positiva específica, 163
suplementaria, 171
riboflavina, 191*t*
riñón, 66*f*
ritmo máximo en condiciones de lactato estable, 561
RM (repetición máxima). *Véase* 1RM rodilla, 2, 20, 27*f*, 321
ejercicio de cambio de dirección, 535
ejercicio pliométricos, 479, 481
lesión en adulto mayor, 150-151, 480
lesión en mujer atleta, 147-148
lesión por el entrenamiento resistido, 39-40
técnica de estiramiento, 323-324
uso de aparatos de inestabilidad para el entrenamiento, 412-413
ROM (grado de movilidad), 320-321, 353
RPE (requerimiento promedio estimado), 180-181
rutina, 163

S

sacar o levantar la haltera de los soportes, 356
salto
de longitud, 267, 300-301*t*, 473-474, 511
de longitud sin carrera, 267, 300*t*
de pie, 489-490
desde una altura, 507-513
estático, 300-301*t*
múltiple, 491-495
sin desplazamiento, 484-488
vertical, 268-269, 300-310*t*
sangre, 14-15, 15*f*
efectos del dopaje, 128-129
lípidos y SSE, 130
sarcolema, 5
sarcómero, 5
sarcopenia, 148
sarcoplasma, 5*f*
SEBT (prueba de equilibrio en desplazamiento en estrella), 262, 285

secreción autocrina de hormonas, 68
SED (síndrome de alimentación selectiva), 222-223
segmentación, 170
  técnica, 36
seguro
  contra terceros, 648
  de responsabilidad civil, 648
selección y administración de pruebas batería de pruebas, 255
  fiabilidad de una prueba, 252-253
  formato de las pruebas, 255
  formulario de muestra, 255
  medición del rendimiento, 260-263
  preparación de los atletas, 257
  razones para hacer las pruebas, 250
  salud y la seguridad, 254, 255*f*, 256
  secuencia de las pruebas, 255-257
  selección y preparación de los evaluadores, 254
  selección, consideraciones, 253-254
  terminología, 250
  validez de una prueba, 250-252
sentadilla, 295-297*t*, 298-299*t*
  con brazos por encima de la cabeza, 287
  trasnuca, 266
serie, 462
  compuesta, 451
sexo y ejercicio, 145-146. *Véase también* mujer y ejercicio
SI (Sistema Internacional de Unidades), 28
simplificación, 170
SIND (Sociedad Internacional de Nutrición en el Deporte), 177
síndrome
  de alimentación selectiva (SED), 222-223
  de lucha o huida, 84, 123, 165, 166
  de sobreentrenamiento parasimpático, 107-108
  de sobreentrenamiento simpático, 107-108, 109
  por sobreentrenamiento (SSE), 107-108, 129, 130
sinefrina, 247
sinérgico, 20
síntesis
  de glucógeno, 210
  de proteínas musculares, 183
sistema
  anaeróbico aláctico, 88
  arterial, 14
  cardiovascular, 12-15, 15*f*
    adaptación en reposo, 104
    respuesta al entrenamiento aeróbico, 116-117, 120-122
    síndrome de sobreentrenamiento, 129-130
  circulatorio, 15, 103, 117
  de energía
    capacidad y producción de energía, 53-55, 54*t*

glucólisis, 46-51, 47*f*
revisión, 44-45
sistema del fosfágeno, 46
sistema oxidativo, 51-53, 52*f*
de puntuación de errores de equilibrio (BESS), 262, 284, 313*t*
del fosfágeno, 44, 46, 55
endocrino, 65-86
adaptación al entrenamiento aeróbico, 123-124
adaptación al entrenamiento anaeróbico, 102-103
cambio hormonal en la sangre periférica, 73
consideraciones sobre hormonas, 84-85
ejercicio con grandes resistencias, 72
entrenamiento resistido, 66, 73-74, 85
factor de crecimiento tipo insulinoide, 80-82, 82*f*
función de los receptores hormonales, 69-70, 70*f*
hormona del crecimiento, 77-80
hormona suprarrenal, 82-84
interacción de las hormonas amínicas, 72
interacción de las hormonas esteroideas, 70-71, 71*f*
interacción de las hormonas polipeptídicas, 71*f*, 71-72
mecanismo de las interacciones hormonales, 72-73
músculo e interacción hormonal, 69
respuesta al sobreentrenamiento, 110, 130
síntesis, almacenamiento y secreción de hormonas, 66*f*, 66, 67*t*, 68
testosterona. *Véase* testosterona
glucolítico, 44
musculoesquelético
cambio en el desarrollo físico, 138-139
esqueleto, 2-3, 3*f*
factor de crecimiento esquelético, 2
inserción muscular, 20
movimiento corporal, 25, 26-27*f*
teoría de los filamentos deslizantes, 7*f*, 7-8
variación en la inserción de los tendones, 23*f*, 23-25
nervioso. *Véase también* sistema
neuromuscular
adaptación neuronal al entrenamiento anaeróbico, 88-93, 90*f*, 91*f*
base neurofisiológica de la velocidad, 525
base neurofisiológica de los cambios de dirección y la agilidad, 526-527
cambio en el desarrollo físico relacionados con la fuerza muscular, 139
nervioso central. *Véase* sistema nervioso
nervioso parasimpático, 14
nervioso simpático, 14
neuromuscular
activación de los músculos, 8-9
órgano tendinoso de Golgi, 12, 12*f*
patrón de reclutamiento de unidades motoras, 10, 11*t*
propiocepción, 11*f*, 11-12, 12*f*, 613
tipo de fibras musculares, 9, 10*t*, 11t
oxidativo (aeróbico), 44, 51-53, 52*f*, 54*f*

respiratorio, 15-17, 16*f*
adaptación al entrenamiento aeróbico, 118-119, 119*f*, 122
respuesta al entrenamiento anaeróbico, 105
venoso, 14
sístole, 12, 117
skipping alto, 549
SMT (entrenamiento en control cognitivoafectivo del estrés), 166
sobrecarga, 440, 563
progresiva, 99
sobreentrenamiento, 107-110
adaptación al entrenamiento aeróbico, 129-131
estrategia para la prevención, 130
marcador, 131
terminología, 129
tipos, 107-108
sobrepeso y obesidad, 218-220, 219*t*, 220*t*
Sociedad Internacional de Nutrición en el Deporte (SIND), 177
sodio-potasio ATPasa, 44
somatomedina, 80. *Véase también* factor de crecimiento insulinoide tipo I Sportsmetric, 620
SSE. *Véase* síndrome de sobreentrenamiento *Strength and Conditioning Professionals Standards and Guidelines*, 643, 646, 647, 652
subluxación, 608
sucrosa, 184
sumación de espasmos, 9, 9*f*
supercompensación, 585
superserie, 450-451
suplementación con creatina, 243, 244, 247
suplemento dietético. *Véase también* nutrición
aminoácido esencial, 237-238, 238*f*
arginina, 238-239
ß-hidroxil-ß-metilbutirato, 239-240
creatina, 242-244
definición, 226, 227
estimulante, 244-247
fármaco, 226
fuente de información, 181
L-carnitina, 242
recomendaciones, 650-651
tampón muscular de origen nutricional, 240-242
valor en el mercado, 237
sustancias que mejoran el rendimiento, 225-248
esteroide anabólico. *Véase* esteroide anabólico
estimulante, 244-247
fármacos y drogas prohibidos, 226, 227, 228
hormona. *Véase* hormona como ayuda ergogénica
regulación del dopaje, 227
signos y síntomas de consumo abusivo, 232*t*
suplemento dietético. *Véase* suplemento dietético
tipos, 226-228
sustrato de energía, 48

T

T3 (triyodotironina), 85
tabaquismo y entrenamiento aeróbico, 128
Tanner (clasificación), 137
taquicardia, 4
tasa de sudoración, 197
técnica
  de contracción-relajación, 325, 326*f*
  de entrenamiento resistido
    cinturón de halterofilia, 354
    colocación del cuerpo y las extremidades, 352-353
    implementos no tradicionales. *Véase* ejercicio para implemento no tradicional
    mango, 352, 352*f*
    modo alternativo. *Véase* modo alternativo de ejercicio
    respiración, 353-354
    ROM y velocidad, 353
    vigilancia de los levantadores de pesas, 421
  de estiramiento
    del torso, 336
    dinámico, 341-349
    estático para la porción superior de la espalda, 333
    estático para los brazos, 332
    para cadera y muslo, 337
    para la ingle, 339
  de relajación, 164-166
  de sustentación-relajación, 325, 325-327*f*, 327
  psicológica para mejorar el rendimiento
    autoeficacia, 167
    control de la activación, 166
    establecimiento de metas, 168-169
    relajación, 164-166
    visualización, 1661-67
    voz interior, 167
tejido
  muscular fresco, 48
  óseo y tejido conjuntivo. *Véase también* sistema musculoesquelético
    adaptación al entrenamiento aeróbico, 123
    adaptación del tejido conjuntivo, 101
    cartílago, 101-102
    crecimiento óseo y entrenamiento anaeróbico, 98
    DMO, 98, 142, 145, 146, 148, 150, 151, 195
    fisiología ósea, 97*f*, 97-98
    flexibilidad, 321
    formación ósea, 99
    masa ósea, 142, 146, 195, 219
    principio del entrenamiento de la fuerza, 98-99
    respuesta a la carga mecánica, 97
    tendones, ligamentos y fascias, 99-101, 100*f*

TEM (tensión esencial mínima), 98
temporada deportiva
  análisis de las necesidades, 444*t*
  frecuencia del entrenamiento, 447, 448*t*
  periodización del entrenamiento, 592*t*, 592-593
  programa de entrenamiento de la resistencia aeróbica, 570-571, 571*t*
  tipos, 570-571
tendencia central, 291
tendinitis, 610
tendón, 3, 20, 23*f*, 23-25, 99-101, 100*f*
tensión arterial, 117-118
  diastólica, 117
  media, 118
  sistólica, 117
teoría
  de la catástrofe, 161
  de la inversión, 161
  de la llave y la cerradura, 69
  de la U invertida, 160*f*, 160-161
  de las zonas individuales de funcionamiento óptimo, 161
  de los filamentos deslizantes, 7*f*, 7-8
  del estímulo-fatiga y la recuperaciónadaptación, 585-586, 586*f*
  del impulso, 159-160
terapeuta físico, 606
termogénesis, 236
  inducida por la dieta, 216
test
  de agilidad de Illinois, 534
  de T, 280
  en carrera de L, 534
testosterona, 69, 228
  adaptación al entrenamiento, 77
  concentración en el músculo, 74
  efecto sobre el tejido muscular, 74-75
  ejercicio resistido, 75-76
  esteroide anabólico, 229-232
  libre, 76
  precursor, 232-233
  proteína transportadora, 68, 75
  respuesta al sobreentrenamiento, 130
  respuestas en la mujer, 76-77
  variación diurna, 75
tétanos, 9, 9*f*
tiamina, 191*t*
tiempo de reacción
  capacidad perceptivo-cognitiva y 535
  centro de atención, 163
  del evaluador, 168, 261
  en adulto mayor, 150
  metas de resultado, 168

tiroides, 66*f*
titina, 93
titulación, 176, 177, 606, 607, 625
título
  de especialista en nutrición deportiva, 177
  profesional, 644*f*, 646, 655
TORm (diana mecánica/Akt de la rapamicina), 69, 94, 238
torque, 93
trabajo, 28
  mecánico, 451
  positivo y potencia, 28-29
tráquea, 15
trastorno
  de la conducta alimentaria, 221-223
  por atracón, 220, 222
tratamiento
  contraindicado, 607
  indicado, 607
trifosfato de adenosina (ATP), 8, 44, 45*f*
  entrenamiento aeróbico, 123, 124
  entrenamiento anaeróbico, 88, 96-97, 260
  glucólisis, 46-47, 47*f*, 50
  sistema del fosfágeno, 46
triglicérido. *Véase* grasa
triyodotironina (T3), 85
tropomiosina, 7-8
troponina, 6*f*, 7
túbulo T, 6

U

UL (umbral de lactato), 50-51, 561
unidad motora, 5, 10, 11*t*, 89-92, 91*f*
unión neuromuscular (UNM), 5, 5*f*, 9, 92
UNM (unión neuromuscular), 5, 5*f*, 9, 92

V

VAEA (vive arriba y entrena abajo), 572-573
validez
  aparente, 251
  concurrente, 251
  convergente, 251
  de contenido, 251
  de una prueba, 250-252
  discriminante, 252
  predictiva, 251
  referida al criterio, 251-252

Valsalva (maniobra), 38-39, 103, 152, 353, 410
válvula
  aórtica, 12
  bicúspide, 12
  mitral, 12
  pulmonar, 12
  semilunar, 12
  tricúspide, 12
variabilidad, 291-292
  entre evaluadores, 252
variante GH 22 kDa, 77-78. *Véase también* hormona del crecimiento
vasoconstricción, 118
vasodilatación, 118
vegetariano, 182
velocidad, 523
  aeróbica máxima (VAM) (prueba), 279
  angular, 29
  de la articulación, 32-33
  de contracción muscular, 31-32
  diseño de programas. *Véase* entrenamiento de la agilidad y la velocidad en carrera. *Véase* esprín
  física del esprín, 522. *Véase también* esprín
  medición, 261-262
  protocolo de las pruebas y puntuación de los datos, 283
vena, 15
ventaja mecánica, 20-21, 22
ventilación minuto, 118
ventrículo, 12
vénula, 15
vértebra, 2-3
vía glucolítica, 50
vigilancia de los ejercicios con pesas libres
  ayuda para sacar la haltera, 356
  comunicación, 355-356
  con las pesas por delante del rostro, 355
  con los brazos por encima de la cabeza, 354-355
  ejercicios de potencia, 355
  grado y sincronización de los ayudantes, 356-357
  número de ayudantes, 355
  pautas, 356, 622
  tipos de ejercicios, 354
vigilante, 354
viscosidad, 36-37
visualización, 166-167
vitamina, 190-193, 191-192*t*
vive arriba y entrena abajo (VAEA), 572-573
$\dot{V}O_2$ máx
  (capacidad aeróbica máxima), 560-561
  (consumo máximo de oxígeno), 279, 305-308*t*
volteo de neumáticos, 417-419, 428-429
volumen

corriente, 118, 119*f*
de ejercicio, 462-465
sistólico, 104, 116
telediastólico, 116
volumen-carga, 451
voz interior, 167

Z

zona
H, 5, 6
media anatómica, 411

EDITORES



G. Gregory Haff, PhD, CSCS, *D, FNSCA Es coordinador del Curso para el título de Posgrado en Fuerza y Acondicionamiento Físico en la Universidad de Edith Cowan, en Joondalup, Australia. Es el presidente de la Asociación Nacional de Fuerza y Acondicionamiento Físico (NSCA) y redactor jefe adjunto del *Journal of Strength and Conditioning Research*. Fue Entrenador del Año 2014 en Investigación y Educación por la Asociación de Fuerza y Acondicionamiento Físico del Reino Unido (UKSCA). En 2011 ganó el premio William J. Kraemer al Científico del Deporte Destacado. Es especialista titulado en fuerza y acondicionamiento físico, entrenador de Fuerza y Acondicionamiento físico acreditado por la UKSCA, así como entrenador de fuerza y acondicionamiento físico de nivel dos, acreditado por la Asociación Australiana de Fuerza y Acondicionamiento Físico. Así mismo, también es entrenador de halterofilia de nivel nacional en Estados Unidos y Australia. Trabaja de asesor para numerosos organismos deportivos y en diversos equipos de la Australian Football League, la Australian Rugby Union, la Australian Basketball Association y la National Football League de Estados Unidos.



N. Travis Triplett, PhD, CSCS, *D, FNSCA Es catedrática y presidenta del Departamento de Salud y Ciencia del Ejercicio en la Universidad Estatal de los Apalaches, en Boone, Carolina del Norte. Ha ejercido de secretaria-tesorera de la junta de directores de la Asociación Nacional de Fuerza y Acondicionamiento Físico (NSCA) y fue la ganadora del premio William J. Kraemer al Científico del Deporte Destacado del año 2010 por la NSCA. Ha trabajado en dos comités de la NASA, uno dedicado el desarrollo de contramedidas con entrenamiento resistido para entornos de microgravedad de la Estación Espacial Internacional, y ha sido ayudante de investigación de fisiología aplicada al deporte en el U.S. Olympic Training Center de Colorado Springs, Colorado. En la actualidad es redactora jefe adjunta del *Journal of Strength and Conditioning Research* y es Especialista titulada en Fuerza y Acondicionamiento Físico, además de entrenadora de varios clubes de la Federación de Halterofilia de Estados Unidos.

COLABORADORES

Douglas Berninger, Med, CSCS, *D, RSCC
National Strength and Conditioning Association
Victor Brown, III, ATC, CSCS, *D, NSCA-CPT
Ithaca College
Bill Campbell, PhD, CSCS, FISSN
University of South Florida
Scott Caulfield, BS, CSCS, *D, RSCC*D
National Strength and Conditioning Association
Donald Chu, PhD, PT, ATC, CSCS, *D, NSCA-CPT, *D, FNSCA
Athercare Fitness & Rehabilitation and Rocky Mountain University of Health Professions
Joel Cramer, PhD, CSCS, *D, NSCA-CPT, *D, FNSCA
University of Nebraska-Lincoln
Jay Dawes, PhD, CSCS, *D, NSCA-CPT, *D, FNSCA
University of Colorado-Colorado Springs
Brad H. DeWeese, EdD, CSCS, NSCA-CPT, USATF
East Tennessee State University
Andrea DuBois, MS, HSF
University of Southern California
Avery Faigenbaum, EdD, CSCS, *D, CSPS, FACSM, FNSCA
The College of New Jersey
Duncan French, PhD, CSCS
University of Northumbria en Newcastle
Terry Grindstaff, PhD, PT, ATC, SCS, CSCS
Creighton University
G. Gregory Haff, PhD, CSCS, *D, FNSCA
Edith Cowan University
Trend Herda, PhD
University of Kansas
Andrea Hudy, MA, CSCS, RSCC*D
University of Kansas
Ian Jeffreys, PhD, CSCS, *D, NSCA-CPT, *D, RSCC*D, FNSCA
University of South Wales
William J. Kraemer, PhD, CSCS, *D, FACSM, FNSCA
The Ohio State University
Rhodri Lloyd, PhD, CSCS, *D
Cardiff Metropolitan University
Jeffrey McBride, PhD, CSCS, FNSCA
Appalachian State University
Michael McGuigan, PhD, CSCS
Auckland University of Technology, Nueva Zelanda
Sophia Nimphius, PhD, CSCS, *D
Edith Cowan University
David Potach, MS, PT, SCS, CSCS, *D, NSCA-CPT, *D

Specialized Physical Therapy
Benjamin Reuter, PhD, ATC, CSCS, *D
California University of Pennsylvania
Carwyn Sharp, PhD, CSCS, *D
National Strength and Conditioning Association
Jeremmy Sheppard, PhD, CSCS, *D, RSCC*E
Edith Cowan University
Marie Spano, MS, RD, CSCS, CSSD
Spano Sports Nutrition Consulting
Barry Spiering, PhD, CSCS
Nike Sport Research Lab
Traci Statler, PhD, CSCS, CC-AASP
California State University, Fullerton
Ann Swank, PhD, CSCS, FACSM
University of Louisville
JakobVingren, PhD, CSCS, *D, FACSM
University of North Texas

COLABORADORES EN EDICIONES ANTERIORES

William B. Allerheiligen, MS, CSCS, *D, NSCA-CPT, *D, FNSCA
Stephanie Armitage-Kerr, PhD, CSCS
Thomas R. Baechle, EdD, CSCS, *D, jubilado, NS-CA-CPT, *D, jubilado
Richard A. Borden, PhD, PT, CSCS, jubilado, FNSCA
Evan B. Brody, PhD
Donald A. Chu, PhD, PT, ATC, CSCS, *D, NSCA-CPT, *D, FNSCA
Mike Conley, MD, PhD
Brian Conroy, MD, PhD, CSCS
Joel T. Cramer, PhD, CSCS, *D, NSCA-CPT, *D, FNSCA
Gary Dudley, PhD, CSCS, FNSCM
Roger W. Earle, MA, CSCS, *D, NSCA-CPT, *D
Boyd Epley, MEd, CSCS, *D, RSCC*E, FNSCA
Avery D. Faigenbaum, EdD, CSCS, *D, CSPS, FACSM, FNSCA
Karl E, Friedl, PhD
John Garhammer, PhD, CSCS, NSCA-CPT, FNSCA
Lori Greenwood, PhD, ATC, LAT
Michael Greenwood, PhD, CSCS, *D, RSCC*D, FACSM, FNSCA
Terry L. Grindstaff, PhD, PT, ATC, SCS, CSCS
Patrick S. Hagerman, EdD, CSCS, NSCA-CPT, FNSCA
Everett Harman, PhD, CSCS, NSCA-CPT, TSAC-F
Robert T. Harris, PhD
Bradley D. Hatfield, PhD, FACSM
Jay R. Hoffman, PhD, CSCS, *D, RSCC*D, FACSM, FNSCA
William R. Holcomb, PhD, ATC/L, CSCS, *D, FNSCA
Jean Barrett Holloway, MA, CSCS
Gary R. Hunter, PhD, CSCS, FACSM
Ian Jeffreys, PhD, CSCS, *D, NSCA-CPT, *D, RSCC*D, FNSCA
William J Kraemer, PhD, CSCS, *D, FACSM, FNSCA Clay Pandorf, BS
Steven S. Plisk, MS
David H. Potach, MS, PT, SCS, CSCS, *D, NSCA-CPT, *D
Jeffrey a. Potteiger, PhD, CSCS, *D, FNSCA
Nicholas A. Ratamessm, PhD, CSCS, *D, FNSCA
Kristin Reimers, PhD, RD
Benjamin H. Reuter, PhD, CSCS, *D, FNSCA
Fred Roll, BS
Jaime Ruud, MS, RD
Douglas M. Semenick, EdD
Barry A. Spiering, PhD, CSCS
Michael H. Stone, PhD, FNSCA
Jeffrey R. Stout, PhD, CSCS, FACSM, FNSCA
Ann Swank, PhD, CSCS, FACSM, John Taylor, MS, FNSCA

Jakob L. Vingren, PhD, CSCS, *D
Dan Wathen, MS, ATC, CSCS, *D, NSCA-CPT, *D, FNS-CA
Mark A. Williams, PhD, FACSM

PRINCIPIOS DEL ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA Y DEL ACONDICIONAMIENTO FÍSICO

Principios del entrenamiento de la fuerza y del acondicionamiento físico es una obra muy completa, redactada por expertos de la Asociación Nacional de Fuerza y Acondicionamiento Físico (National Strength and Conditioning Association [NSCA]), que presenta en profundidad las técnicas de ejercicio, adaptaciones al entrenamiento y diseño de programas; la estructura y función de los sistemas corporales; la aplicación de pruebas y evaluaciones, y la organización y administración de centros deportivos.

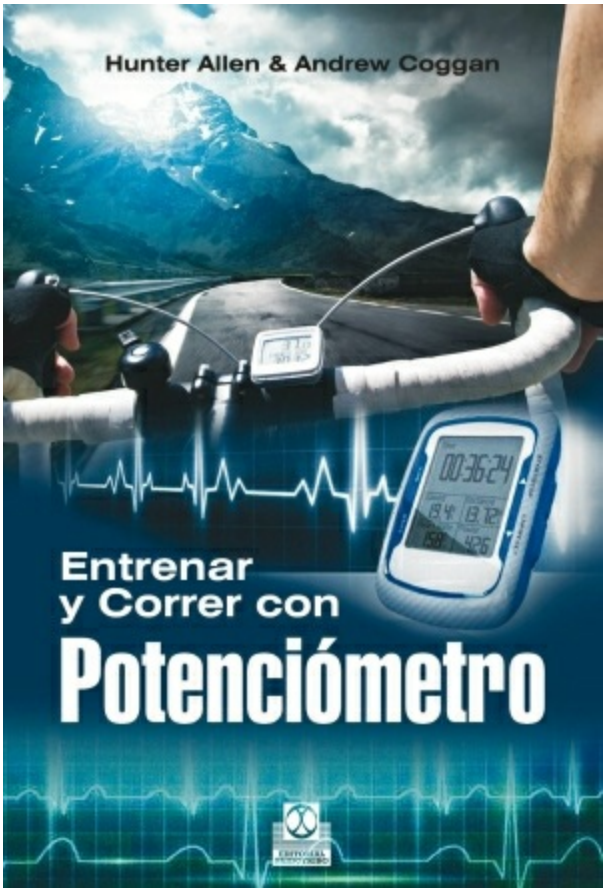
Treinta expertos explican con claridad y carácter didáctico las teorías, conceptos y principios científicos del entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento físico, así como sus aplicaciones para el rendimiento deportivo, y aportan todos los conocimientos, destrezas y capacidades requeridos para destacar como especialista de la fuerza y del acondicionamiento físico.

Esta primera edición en español, procedente de la cuarta edición de la obra original, está totalmente al día con los estudios de investigación más recientes sobre aspectos bioenergéticos asociados al entrenamiento por intervalos de alta intensidad, el sobreentrenamiento, la agilidad y los cambios de dirección, la nutrición aplicada a la salud y al rendimiento deportivo, y la periodización. Además cuenta con diez pruebas adicionales, entre otras, para la fuerza máxima, la potencia y la capacidad aeróbica, junto con nuevos ejercicios de flexibilidad, ejercicios para el entrenamiento resistido, ejercicios pliométricos y ejercicios de velocidad y agilidad, que ayudarán a los especialistas a diseñar programas para llevar las pautas actuales.

La Asociación Nacional de Fuerza y Acondicionamiento Físico (NSCA) es una organización reconocida internacionalmente en el campo del acondicionamiento físico para el deporte. Posee un gran prestigio en la divulgación de conocimientos, criterios y pautas de entrenamiento para entrenadores y atletas. Las obras que respalda se basan en los conocimientos y la experiencia de profesionales reconocidos en el campo del entrenamiento de la fuerza y del acondicionamiento físico, las ciencias del deporte, la investigación sobre el rendimiento físico y la medicina del deporte.

ISBN: 978-84-9910-663-2
9 788499 106632

Paidotribo
www.paidotribo.com


Hunter Allen & Andrew Coggan
Entrenar
y Correr con
Potenciómetro

Entrenar y correr con potenciómetro

Allen, Hunter
9788499109848
462 Páginas

Cómpralo y empieza a leer

Los potenciómetros no son sólo para los profesionales. A medida que ha ido avanzado el equipamiento, los ciclistas y triatletas de todos los niveles han ido adoptando el uso de potenciómetros para mejorar su velocidad y su resistencia. No obstante, para sacar el mejor partido de esta tecnología, debemos saber interpretar la información que nos ofrece. Entrenar y correr con potenciómetro le enseñará a identificar sus puntos fuertes y a corregir sus puntos débiles con una precisión increíble. Al explicar los conceptos universales en los que se basan las gráficas de potencia, que describe sus puntos fuertes como ciclista. A continuación, valore su perfil de fatiga para saber cómo resistir el cansancio en 12 ejercicios de distinta duración. Finalmente, identifique las sesiones de entrenamiento que le ayudarán a desarrollar su potencia de modo global, a la vez que le ayudan a eliminar los puntos débiles que le impiden progresar. Allen y Coggan explican cómo interpretar la potencia, la cadencia, la velocidad y el ritmo cardíaco de modo que usted pueda entrenar de manera óptima para las competiciones de carretera, bicicleta de montaña, ciclocross, triatlón, pista y BMX. Saber analizar los datos de su potenciómetro le permitirá diseñar un programa de competiciones para toda la temporada acorde con sus puntos fuertes. Entender las cifras

obtenidas mediante las distintas funciones le permitirá también controlar los cambios en su condición física y programar exactamente cuándo obtendrá su máximo rendimiento.

Cómpralo y empieza a leer


3ª Edad
Actividad Física y Salud
Teoría y práctica
Pilar Pont Geis
7ª Edición

Tercera edad

Pont Geis, Pilar
9788499101996
318 Páginas

Cómpralo y empieza a leer

La actividad física para la tercera edad es un tema relevante, incluso estratégico, tanto desde el punto de vista personal e individual como desde una visión global de la sociedad.Así, el hecho de que una persona adulta se plantee iniciar, continuar o potenciar una actividad física, puede suponerle por una parte un cambio sustancial en su vida interior, ya que le ayudará a aumentar su equilibrio personal, mejorar su estado de ánimo y su salud, potenciar sus reflejos y proporcionarle una agilidad que podía tener estancada o mermada y, en definitiva, mejorar su calidad de vida.Así, este libro supone una aportación decisiva en el campo de la actividad física para la tercera edad, que parte de una experiencia consolidada a lo largo de los últimos años, y que puede sin duda contribuir a potenciar, el papel de la tercera edad dentro de la sociedad mejorando a la vez la calidad de vida individual.El contenido de este libro consta de dos partes generales: una primera parte basada en conocimientos y aspectos teóricos y una segunda parte en la que se desarrollan los contenidos de forma práctica.En cuanto a la teoría, se desarrolla el tema de la tercera edad desde diferentes vertientes: un estudio de todos aquellos aspectos físicos, psíquicos y socio-afectivos que caracterizan a estas personas; la alimentación; la necesidad de la práctica de la actividad física,

etc.Asimismo, se detallan aquellos elementos que intervienen para lleva a cabo un programa, o sea aquellos aspectos metodológicos que todo profesional de la actividad física debe conocer.Por último, en la segunda parte, se desarrollan las actividades agrupadas por su forma y por los objetivos que se pretenden conseguir.

Cómpralo y empieza a leer


Fernando Paris Roche
La Planificación Estratégica
en las Organizaciones Deportivas
4ª edición

La planificación estratégica en las organizaciones deportivas

Paris Roche, Fernando
9788499102030
172 Páginas

Cómpralo y empieza a leer

Todas las entidades y organizaciones, y por supuesto también las deportivas, se ven sometidas hoy en día a un cambio permanente en su entorno, en sus objetivos, en su forma de actuar, en sus expectativas, en la disponibilidad de recursos. Por todo ello, las organizaciones -y también los individuos- se ven obligados, cada vez con más frecuencia, a reflexionar sobre el camino a abordar en el futuro, sobre qué hacer, por dónde ir. O sea, las entidades -y las personas- se ven apremiadas a planificar.La base de este libro es la experiencia de planificación estratégica desarrollada en el organismo estatal y le será de gran ayuda para la comprensión y la implantación del proceso que denominamos planificación estratégica en las organizaciones y entidades deportivas, que presentan ciertas diferencias cualitativas en relación a las entidades privadas con fines de lucro. Cada organización, club, entidad, construirá a partir de él sus propios métodos, conceptos y forma de proceder, centrándose en el rumbo y en los objetivos.Si está usted al frente de una organización o entidad deportiva, el autor le recomienda que: piense en su situación actual, en los puntos fuertes y débiles de su organización, en los objetivos claros y definidos que le marcan el rumbo en las

estrategias más adecuadas para cumplirlas, en los proyectos que está desarrollando, en cómo mejorarlos, etc., y si tiene dudas lea el libro con espíritu constructivo y seguro que le ayudará.Y, no lo olvide, como dice el ilustre jesuita aragonés Baltasar Gracián: Vivir anticipado, -esto es la planificación estratégica.

Cómpralo y empieza a leer


JOSÉ SANTOS NALDA ALBIAC
ZEN
COTIDIANO
EDITORIAL PRIMOPIRO
CONOCIMIENTO PERSONAL
2ª Edición

Zen cotidiano

Santos Nalda, José
9788499101491
238 Páginas

Cómpralo y empieza a leer

Toda persona da como supuesta la unión entre el cuerpo y la mente. Sin embargo, no suele caer en la cuenta de que nuestro cuerpo exterioriza nuestro estado mental. Suele ignorar que nuestro desarrollo intelectual se realiza sobre una base física, de sensaciones corporales. Si fallan estas informaciones, perderemos la capacidad del desarrollo mental. Nuestro organismo ha desarrollado esta secuencia y cuando nuestro estado mental está perturbado, precisa reorganizarse desde la base, desde la sensación corporal. El primer paso para conseguirlo es sentir, sentir a través de nuestro cuerpo. El zen es una forma de vivir la vida, una norma de conducta, llegando a conocer sin pretender conocer, llegando a comprender sin pretender comprender, llegando a aprehender sin pretenderlo. La práctica del zen no sólo nos ayuda en la meditación, sino también, y sobre todo en nuestra vida cotidiana, en la realización de nuestras tareas habituales, dándoles un punto de vista distinto, humanizando más nuestra vida y haciéndonos comprender que somos una parte integrante e imprescindible de un Gran Todo, la Naturaleza, y del propio Universo. Este libro ha sido pensado y escrito con la esperanza de hacer asequible a todas las personas el modo de vida Zen, de modo que pueda aplicarse a la cotidianeidad de cada cual. La

redacción del texto es clara y sencilla para facilitar su lectura y comprensión a todo aquel que desee iniciarse en este camino. Sin ninguna duda, la práctica de las enseñanzas contenidas en este libro serán útiles a todos los que: desean ayudar a otros, desean vivir en armonía consigo mismo y con el entorno, y buscan sentido a su vida diaria.

Cómpralo y empieza a leer


entrenamiento mental
Cómo vencer en el deporte y en la vida gracias al entrenamiento mental
TERRY ORLICK

Entrenamiento mental

Orlick, Terry
9788499101163
408 Páginas

Cómpralo y empieza a leer

Este libro enseña a desarrollar un punto de vista más positivo, a centrarse en las obligaciones y compromisos, a superar los obstáculos que se interponen en la consecución de los objetivos y a sentirse más satisfecho en la vida personal y profesional. El lector descubrirá también formas más eficaces y satisfactorias de trabajar con los compañeros de equipo, rendir más en los entrenamientos y ejercer un mayor control sobre los pensamientos y acciones. Tanto si eres deportista o entrenador en busca del éxito en el deporte y otros ámbitos de la vida, en Entrenamiento mental encontrarás el consejo de un experto y técnicas probadas para lograr tus aspiraciones.

Cómpralo y empieza a leer