PubliCE, (PubliCE) 2005

Monograph

Diseño de Programas de Entrenamiento de la Fuerza para Mejorar la Aptitud Física Muscular – Una Revisión de las Variables del Programa

Stephen P Bird, Kyle M Tarpenning y Frank E Marino

School of Human Movement Studies, Charles Sturt University, Bathurst, New South Wales, Australia.

RESUMEN

La popularidad del entrenamiento de sobrecarga ha crecido inmensamente a través de los pasados 25 años, con muchas investigaciones que han demostrado que el entrenamiento de la fuerza no es solo un método efectivo para mejorar la función neuromuscular, sino que también puede ser igualmente efectivo para mantener y mejorar el estado de salud de un individuo. Sin embargo, diseñar un programa de entrenamiento de sobrecarga es un proceso complejo que incorpora diferentes variables agudas del programa y principios claves del entrenamiento. La efectividad de un programa de entrenamiento de sobrecarga para alcanzar una respuesta de entrenamiento específica (i.e., resistencia muscular, hipertrofia, fuerza máxima o potencia) depende de la manipulación de las variables agudas del programa, que incluyen: (i) acción muscular; (ii) carga y volumen; (iii) selección y orden de los ejercicios; (iv) períodos de recuperación; (v) velocidad de las repeticiones; y (vi) frecuencia. Finalmente, son las variables agudas del programa, las cuales afectan el grado del estímulo del entrenamiento de sobrecarga, las que determinan la magnitud hasta la cual los sistemas neuromuscular, neuroendocrino y musculoesquelético se adaptan tanto al ejercicio de sobrecarga agudo como crónico. Este artículo revisa las investigaciones disponibles que han estudiado la aplicación de las variables agudas del programa y su influencia sobre el rendimiento del ejercicio y las adaptaciones al entrenamiento. Los conceptos presentados en este artículo representan un aspecto importante para lograr un diseño efectivo del programa de entrenamiento. De este modo, es esencial para aquellos que están implicados en la prescripción del ejercicio de sobrecarga (i.e., entrenadores de fuerza, especialistas en rehabilitación, fisiólogos del ejercicio) adquirir un entendimiento fundamental acerca de las variables agudas del programa y de la importancia de su aplicación práctica en el diseño del mismo.

Palabras Clave: variables agudas, programación, sobrecarga, aptitud física

INTRODUCCION

El entrenamiento de sobrecarga, también conocido como entrenamiento de la fuerza o con pesas, está bien establecido como un método de ejercicio efectivo para desarrollar la aptitud muscular (i.e., la capacidad para generar fuerza muscular)

(1). Fleck y Kraemer (2) describieron a los objetivos principales del entrenamiento de la fuerza como la mejora de la fuerza y la resistencia muscular, mientras que otros beneficios relacionados a la salud derivados del entrenamiento de la fuerza incluyen incrementos en la masa ósea, reducción de la presión sanguínea, incremento del área transversal (CSA) del tejido muscular y conectivo, reducción de la grasa corporal y puede aliviar el dolor de la espalda baja (3). Aunque la tecnología moderna ha reducido gran parte de la necesidad de aplicar altos niveles de producción de fuerza durante las actividades de la vida diaria, tanto las comunidades médicas como científicas reconocen que la fuerza muscular es una característica física fundamental, necesaria para la salud, capacidad funcional, y mejora de la calidad de vida (4). De este modo, el crecimiento del músculo esquelético (hipertrofia muscular) y las ganancias que lo acompañan en la expresión de fuerza (adaptaciones neuromusculares) son áreas de interés, no solo para los atletas competitivos que desean mejorar su rendimiento, sino también para los individuos no competitivos que simplemente desean modificar su composición corporal o incrementar su capacidad para realizar tareas que requieren esfuerzo muscular. Las investigaciones a través de los pasados 50 años han utilizado diferentes formas de entrenamiento de la fuerza (i.e., series únicas versus múltiples, acciones concéntricas vs. excéntricas, aislamiento vs. movimientos compuestos) con el objetivo de maximizar dicho desarrollo (1, 5-10). Esto ha permitido la incorporación de la literatura científica con la aplicación práctica, ofreciendo un mayor entendimiento del programa de entrenamiento de la fuerza diseñado para los muchos profesionales actualmente implicados en la prescripción del entrenamiento de la fuerza. El diseño apropiado del programa es esencial para maximizar los beneficios asociados con el entrenamiento de la fuerza (3). Así, el propósito de esta revisión a la literatura es proporcionar recomendaciones para la aplicación práctica de las variables agudas del programa y como las mismas se relacionan al diseño del mismo. Además, describimos diferentes aspectos de las adaptaciones asociadas con el entrenamiento de la fuerza.

DISEÑO DEL PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA

Diseñar un programa de entrenamiento de la fuerza es un proceso complejo que incorpora diferentes variables agudas del programa (4, 11), y principios clave del entrenamiento (2) (Figura 1). Históricamente, el diseño del programa ha sido más un arte que una ciencia, pero la ciencia continua siendo una parte vital del proceso, ya que la prescripción de cualquier ejercicio requiere un entendimiento de los principios científicos subyacentes implicados. Diferentes principios clave del entrenamiento gobiernan el diseño seguro y efectivo del programa de entrenamiento de la fuerza, incluyendo sobrecarga, especificidad, adaptación, progresión, invidualización y mantenimiento (2). Cuando se prescribe el entrenamiento de la fuerza, uno debe decidir que constituye un equilibrio óptimo de estos factores, mientras se considera el nivel de condición actual del individuo, las características entrenables de la fuerza y los objetivos personales (10).

VARIABLES AGUDAS DEL PROGRAMA

La efectividad del programa de entrenamiento de la fuerza para alcanzar un resultado específico depende de diferentes variables agudas del programa (4, 11), las cuales afectan el grado del estímulo del entrenamiento de la fuerza (Tabla 1). A partir del trabajo pionero de DeLorme (5), y de DeLorme y Watkins (12), el concepto de sobrecarga progresiva se ha convertido en la base del diseño del programa de entrenamiento de la fuerza. Su trabajo describió las variables clásicas del programa, como la carga, frecuencia, duración e intensidad, las cuales han sido la piedra angular para alcanzar la sobrecarga. Kraemer (11) redefinió las variables del programa para describir mejor como tales variables son manipuladas durante un entrenamiento con el objetivo de alcanzar la adaptación deseada. Más específicamente, las variables agudas del programa redefinidas incluyen: (i) carga de repetición máxima (RM); (ii) número de series; (iii) elección del ejercicio; (iv) orden de los ejercicios; y (v) períodos de descanso. Una declaración de posición recientemente publicada del American Collage of Sports Medicine (4) realizó una revisión de las variables del programa arriba mencionadas. Las variables agudas del programa revisadas son las siguientes: (i) acción muscular; (ii) carga y volumen; (iii) selección y orden de los ejercicios; (iv) períodos de descanso; (v) velocidad de la repetición; y (vi) frecuencia.

Acción Muscular

La mayor parte de los programas de entrenamiento de la fuerza incluyen repeticiones dinámicas de acciones musculares concéntricas (CON) y excéntricas (ECC), mientras que se ha sugerido que las acciones musculares isométricas juegan un rol estabilizador secundario (4). Diferentes estudios de entrenamiento han demostrado que la fuerza muscular dinámica y los cambios morfológicos en el músculo son mayores cuando son usadas tanto acciones CON como ECC en el programa de entrenamiento de la fuerza (13-15). Además, datos presentados por Kraemer et al. (21) y Durand et al. (22) indican que la

respuesta hormonal aguda está asociada con acciones musculares específicas usadas en el ejercicio de sobrecarga agudo. La secreción de hormona del crecimiento (GH) es específica de la acción muscular usada durante el ejercicio de fuerza agudo, produciendo las acciones CON una mayor respuesta de la GH (21, 22). Conjuntamente, estos datos sugieren que el entrenamiento debería implicar tanto acciones musculares CON como ECC.

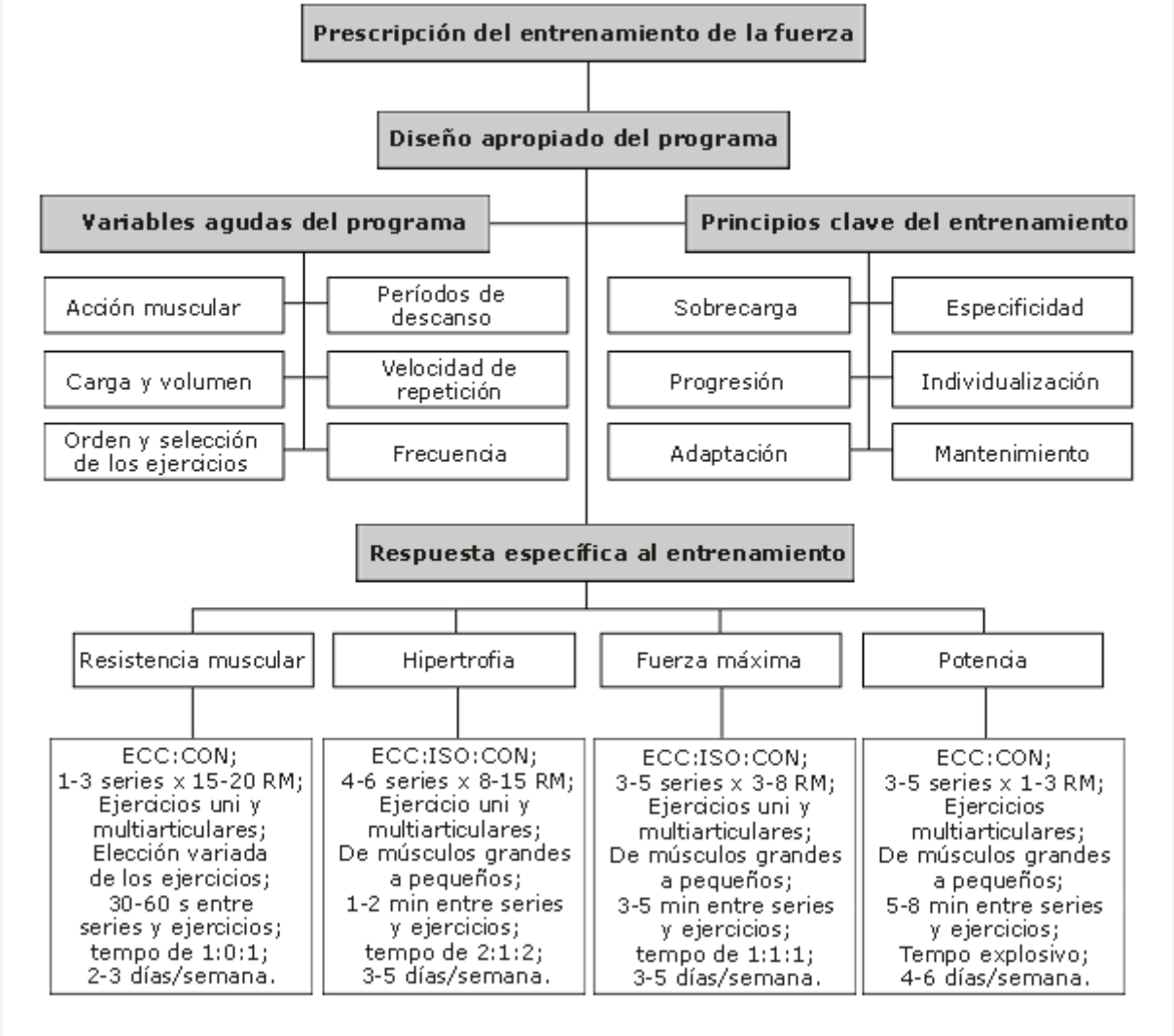

Figura 1. *El diseño apropiado del programa de entrenamiento de la fuerza para lograr respuestas de entrenamiento específicas incorpora las variables agudas del programa y los principios clave del entrenamiento (2, 4, 11). CON=concéntrico; EXC=excéntrico; ISO=isométrico; RM=repetición máxima.*

Carga y Volumen

Ha sido demostrado que las alteraciones de la carga y volumen de entrenamiento afecta la respuesta hormonal (23-25), neural (26-28) e hipertrófica (7, 16, 29) y las adaptaciones subsiguientes al entrenamiento de la fuerza. Tan (30) sugiere que la interacción entre la carga y el volumen es un factor crítico para determinar el intervalo óptimo del estímulo de entrenamiento con el objetivo de promover las adaptaciones neuromusculares asociadas con el entrenamiento de la fuerza.

La carga se refiere a la cantidad de peso asignado a la serie de ejercicio (31) y es probablemente la variable más importante del diseño del programa de entrenamiento (32). La carga de entrenamiento puede ser determinada ya sea a través de la RM (i.e., la mayor cantidad de peso levantado con la técnica correcta para un número específico de repeticiones) o cierto porcentaje de una repetición máxima (1RM) (5). Se piensa que prescribir la carga a través del método de la RM es superior a usar un porcentaje de 1RM (1, 30, 33). Desde una perspectiva práctica, esto elimina la

necesidad de repetir la evaluación de 1RM para mantener siendo efectivo al estímulo de ejercicio. Se recomienda que la carga de entrenamiento sea incrementada en 2-10%, cuando el individuo puede movilizar la carga por una o dos repeticiones más allá del número deseado (4). El continuum de RM relaciona la carga de entrenamiento a los amplios efectos de entrenamiento derivados (2). El concepto del continuum ilustra que una cierta RM enfatiza una respuesta específica (i.e., resistencia muscular, hipertrofia, fuerza máxima, potencia); sin embargo, los beneficios del entrenamiento son combinados a cualquier RM dada (31). Las cargas altas son usadas si el objetivo es la potencia (1-3 RM) o la fuerza máxima (3-8 RM), las cargas moderadas son usadas para lograr hipertrofia (8-15 RM) y las cargas bajas son usadas para lograr resistencia muscular (>20 RM) (2).

El volumen describe la cantidad total de trabajo realizado dentro de una sesión de entrenamiento (30), y es calculado de manera característica como: (i) repeticiones totales (series x repeticiones) (34); o (ii) volumen de la carga (series x repeticiones x carga) (4). El volumen de entrenamiento es prescripto en términos de número de repeticiones por serie, número de series por sesión, y número de sesiones por semana (30). Ha sido previamente demostrada la importancia del volumen de entrenamiento para la fuerza máxima y las ganancias de fuerza durante las fases iniciales del entrenamiento de sobrecarga (14, 16, 35).

Respuesta específica	Acción Muscular	Carga (RM) y volumen	Selección y orden de los ejercicios	Períodos de descanso	Velocidad de la repetición	Frecuencia (días/semana)
Resistencia muscular	ECC:CON	>20 alto	SJ/MJ mixto	30-60 seg	1:0:1	1-2
Hipertrofia	ECC:CON:ISO	8-15 moderado-alto	SJ/MJ grande → pequeño	2-3 min	2:1:2	2-3
Fuerza máxima	ECC:CON:ISO	3-8 moderado	MJ grande → pequeño	3-5 min	1:1:1	3-4
Potencia	ECC:CON	1-3 bajo	MJ grande → pequeño	5-8 min	Explosivo	4-6

Tabla 1. *Recomendaciones para las variables agudas del programa. CON: concéntrico; ECC: excéntrico; alto: 4-6 series por ejercicio; ISO: isométrico; grande: grupo muscular grande; bajo: 2-4 series por ejercicio; MJ: multiarticular; moderado: 3-5 series por ejercicio; RM: repetición máxima; SJ: uniarticular; pequeño: grupo muscular pequeño.*

Un meta-análisis de Rhea y colaboradores (36) reveló que los individuos desentrenados experimentan ganancias de fuerza máxima con una intensidad de entrenamiento media de ~ 12 RM, mientras que en los individuos entrenados, ~ 8 RM producen el mayor incremento de la fuerza. Además, los tamaños del efecto demuestran claramente que incrementos adicionales de la fuerza acompañan al entrenamiento más allá de los protocolos de serie única, experimentando, tanto individuos desentrenados como entrenados, las mayores ganancias (aproximadamente el doble del efecto de tratamiento de las series únicas) con un volumen de entrenamiento promedio de cuatro series por grupo muscular. De este modo, los programas de entrenamiento de la fuerza que tienen como objetivo la fuerza y la hipertrofia muscular son más efectivos con cargas moderadas a altas (6-15 RM) y volúmenes moderados (3-4 series por ejercicio) (16, 35).

Selección y Orden de los Ejercicios para lograr una Respuesta Específica

La selección de los ejercicios implica elegir ejercicios para un programa de entrenamiento de la fuerza (31). Han sido sugeridos diferentes términos para la clasificación de los ejercicios, incluyendo principales o auxiliares, estructurales o partes del cuerpo, y multiarticulares y uniarticulares (3, 11), los cuales están basados en el tamaño del área muscular implicada. Los ejercicios uniarticulares (e.g., extensión de rodillas, curl de bíceps, *pec deck*) son frecuentemente usados para aislar grupos musculares específicos (1), y pueden poseer un menor riesgo de lesión debido al reducido nivel de habilidad y técnica implicada (4). Sin embargo, los ejercicios multiarticulares (e.g., cargada de potencia, sentadilla, peso muerto) son más demandantes neuralmente (3) y generalmente considerados como más efectivos para incrementar la fuerza muscular general, debido a que permiten levantar una mayor cantidad de peso (4). La literatura indica que tanto los ejercicios uniarticulares como multiarticulares son efectivos para incrementar la fuerza y la hipertrofia muscular (13, 16, 17), de este modo, ambos deberían ser incorporados en el diseño del programa de entrenamiento de la fuerza.

El orden de los ejercicios se refiere a la secuencia de ejercicios de sobrecarga realizados durante una sesión de entrenamiento (31). Tradicionalmente, los ejercicios que implican grandes grupos musculares (multiarticulares) son realizados primero, seguidos por los ejercicios que implican grupos musculares pequeños (uniarticulares) (1). El

fundamento detrás de este orden de ejercicio es que los ejercicios que implican a grupos musculares grandes, que son realizados al comienzo del entrenamiento, son más intensos y requieren un gasto energético total mayor que los ejercicios que implican a grupos musculares pequeños (37). Además, se ha planteado en forma teórica que realizar los ejercicios para grupos musculares grandes primero proporciona un mayor estímulo de entrenamiento para todos los músculos implicados en un ejercicio (33, 38), lo cual puede ofrecer un mayor potencial para la remodelación de los tejidos.

Sforzo y Touey (38) estudiaron el efecto sobre el rendimiento muscular de la manipulación del orden de los ejercicios en hombres entrenados en fuerza. El orden de los ejercicios progresó desde los músculos grandes (estructurares) a los pequeños (partes del cuerpo) (i.e., sentadilla, extensión de piernas, flexión de piernas, press de banca, press militar, extensión de tríceps) y viceversa (extensión tríceps, press militar, press de banca, flexión de piernas, extensión de piernas, sentadilla). Los efectos principales significativos indicaron que la sentadilla y la extensión de tríceps fueron significativamente mejores cuando fueron ejecutados primero en la sesión de entrenamiento. Completar la sentadilla o la extensión de tríceps al comienzo produjo una fuerza total un 25% mayor a través de 4 series en comparación a cuando los ejercicios fueron realizados después en la sesión de entrenamiento. Además, cuando el orden de los ejercicios correspondió desde partes del cuerpo hasta estructurales, se registró una declinación de 61% en la producción de fuerza total en press de banca a través de 4 series, en comparación a un orden desde estructurales hasta partes del cuerpo. Estos hallazgos indican que ejecutar los ejercicios para músculos grandes antes que los ejercicios para músculos pequeños maximiza la carga total levantada durante la sesión de ejercicio.

La relevancia de estos hallazgos está relacionada a la discusión acerca de que el reclutamiento de un mayor número de fibras musculares, debido al incremento de la carga total levantada, puede mejorar la interacción hormona-tejido con un mayor porcentaje de la masa muscular total. Ha sido demostrado que realizar ejercicios multiarticulares para grupos musculares grandes en el entrenamiento produce elevaciones significativas en las hormonas anabólicas (39, 40). Kraemer y Ratamess (41) propusieron que tal respuesta puede exponer potencialmente a los músculos pequeños a una mayor respuesta que aquella resultante de realizar solamente ejercicios para grupos musculares pequeños.

Períodos de Recuperación

El tiempo dedicado a la recuperación entre series y ejercicios es llamado período de recuperación (31). La longitud de este período es dependiente del objetivo del entrenamiento, la carga relativa levantada, y el nivel de entrenamiento del individuo. Sin embargo, Fleck y Kramer (2) destacan que esta variable es frecuentemente pasada por alto en la prescripción del entrenamiento de la fuerza. El período de recuperación es un determinante principal de la intensidad total (11), ya que la duración del período de descanso está fuertemente relacionada a la carga levantada (31). Además, el mismo afecta las demandas metabólicas y hormonales (42), así como al rendimiento de las series subsiguientes (43). La duración del período de descanso no solo determina cuanta cantidad de la energía del trifosfato de adenosina (ATP)-fosfocreatina es recuperada (3), sino también cuanto se incrementan las concentraciones de lactato en la sangre (44, 45). Tanto la resíntesis de ATP como de PC deberían estar completas en 3-5 minutos (3, 46).

Kraemer y colaboradores (42) estudiaron la influencia de la duración del período de recuperación sobre el lactato sanguíneo, las concentraciones hormonales, y las respuestas metabólicas a una sesión aguda de entrenamiento de la fuerza en hombres y mujeres jóvenes. Ellos usaron dos rutinas de ejercicio de sobrecarga para todo el cuerpo marcadamente diferentes: el protocolo 1 (P-1) consistió de cargas de 5 RM con períodos de recuperación de 3 minutos, mientras que el protocolo 2 (P-2) fue un entrenamiento basado en 10 RM con períodos de recuperación de 1 minuto. Mientras que ambos protocolos desarrollaron la fuerza, P-2 es el protocolo utilizado de manera característica por los fisicoculturistas para incrementar la hipertrofia muscular (44). El protocolo P-2 (10 RM; períodos de recuperación de 1 minuto) probó ser más demandante, presentando un trabajo total (J) y concentraciones de lactato sanguíneo significativamente mayores. Además, la rutina P-2, más anaeróbica, produjo un incremento claro y sostenido en las hormonas anabólicas (testosterona y GH). Los autores concluyeron en que los efectos combinados de un volumen alto, períodos de recuperación cortos e intensidad moderada proporcionan un entorno hormonal más favorable para promover el crecimiento del músculo esquelético (42).

De este modo, cuando se prescriben períodos de recuperación, si el programa de entrenamiento de sobrecarga está diseñado para la potencia, entonces son necesarios 5-8 minutos, mientras que para la fuerza máxima son requeridos 3-5 minutos (24, 47). Si el programa está diseñado para la hipertrofia muscular, son prescriptos períodos de recuperación más cortos de 1-2 minutos (25, 42). Finalmente, si el objetivo es la resistencia muscular, son usados períodos de recuperación de 30-60 segundos (2, 25).

Velocidad de la Repetición

Es interesante mencionar que pocos estudios han investigado los efectos de diferentes velocidades utilizando equipamiento isotónico, citando la mayor parte de la literatura protocolos isocinéticos. Sin embargo, en el contexto de este artículo, las aplicaciones prácticas del entrenamiento isotónico son más pertinentes, ya que es la forma de ejercicio de sobrecarga que

está más comúnmente disponible (48). MacDougall (18) sostiene que la magnitud de la respuesta hipertrófica depende no solo de la intensidad del ejercicio, sino también de la duración del tiempo que el músculo está bajo tensión. De este modo, el gold standard recomendado para la velocidad de la repetición, tal como es señalado por Westcott et al. (49) es una cadencia de 2:1:4 (2 s CON; 1 s pausa; 4 s ECC). Teóricamente, tal cadencia debería maximizar la tensión muscular, y puede resultar en mayores adaptaciones de fuerza e hipertrofia. Esta discusión es apoyada, en parte, por el hallazgo de Keeler y colaboradores (19), quienes reportaron que realizar una serie de 8-12 repeticiones a una velocidad baja (2 s CON; 4 s ECC) en comparación con una velocidad súper lenta (10 s CON; 5 s ECC) resultó en ganancias de fuerza significativamente mayores (39% vs. 15%, respectivamente). Además, ha sido demostrado que las velocidades moderadas (2 s CON; 2 s ECC) y rápidas (1 s CON; 1 s ECC) maximizan la respuesta hormonal (20) y resultan en un costo metabólico significativamente mayor (155±28 kcal vs. 107±20 kcal) que los protocolos súper lentos (10 s CON; 4 s ECC) (50). Generalmente, está recomendado que sea usada una velocidad de repetición lenta (2 s CON; 4 s ECC) para los entrenados novicios e intermedios (4). Para entrenados avanzados, la inclusión de un continuum de velocidad desde lento a rápido puede maximizar las ganancias de fuerza y potencia a una velocidad específica; sin embargo, el uso de velocidades más rápidas puede incrementar la probabilidad de lesión del sistema musculoesquelético (49).

Frecuencia

La frecuencia de entrenamiento se refiere al número de sesiones de entrenamiento completadas en un dado período de tiempo (i.e. 1 semana) (31) y es una función del tipo de sesión de entrenamiento, el nivel de entrenamiento y la capacidad de recuperación del individuo (33). El período de recuperación entre sesiones debe ser suficiente para permitir la recuperación y el desarrollo muscular mientras se alivia el potencial de sobreentrenamiento (1). Numerosos estudios de entrenamiento de la fuerza han usado frecuencias de 2-3 días/semana en individuos previamente desentrenados (14, 17, 29, 35, 51, 52). Ha sido sugerido que esta frecuencia es efectiva al inicio del entrenamiento (4), mientras que una frecuencia de 1-2 días/semana parece ser una frecuencia de mantenimiento efectiva para los entrenados novicios (30). Empíricamente, ha sido observado que los levantadores competitivos usan una frecuencia de entrenamiento de 5-7 días/semana con el objetivo de maximizar las ganancias de tamaño y fuerza muscular (44).

De acuerdo a Feigenbaum y Pollock (10), una frecuencia de 2 días/semana proporciona más tiempo para la recuperación, consume menos tiempo y de este modo puede mejorar la adherencia. Además, los programas de 2 días/semana parecen producir el 80-90% de las ganancias de fuerza de los programas más frecuentes en individuos desentrenados (10, 51, 52). Además, Carroll et al. (52) reportaron que cuando el entrenamiento de la fuerza fue equiparado tanto para tiempo como para número de sesiones, 2 días/semana, se encontró un incremento significativo en la proporción de miosina de cadena pesada IIa en comparación con 3 días/semana. Conjuntamente, los estudios arriba mencionados implican que frecuencias de entrenamiento de 2 días/semana son efectivas para promover adaptaciones musculares en entrenados novicios.

Más recientemente, Rhea y colaboradores (36) determinaron la respuesta a la dosis para el desarrollo de la fuerza, reportando que los individuos desentrenados presentan una respuesta a la dosis consistente a medida que la frecuencia de entrenamiento se incrementa hasta 3 días/semana. Para los individuos entrenados, 2 días/semana (por grupo muscular) producen los mayores incrementos en la fuerza. Los incrementos en la fuerza que acompañan las menores frecuencias de entrenamiento para los individuos entrenados pueden ser el resultado de mayores volúmenes de entrenamiento. De este modo, se recomienda que los individuos entrenados realicen un protocolo para todo el cuerpo 2-3 días/semana. A medida que se incrementa el nivel de entrenamiento, los cambios en la frecuencia hasta 3-4 días/semana pueden acompañar a los cambios en el diseño del programa (i.e. división miembros superiores/inferiores) con frecuencias de entrenamiento de 4-6 días/semana sugeridas para entrenados avanzados (4).

ADAPTACIONES DEL MUSCULO ESQUELETICO AL ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA

El músculo esquelético es un tejido altamente plástico que rápidamente se adapta a los cambios en el nivel de carga. Incrementar la carga impuesta al músculo esquelético produce adaptaciones que resultan en un incremento en el tamaño muscular y en cambios en las características contráctiles (53). El hecho de que el entrenamiento de la fuerza y otras formas de carga mecánica causen un incremento en el tamaño muscular está bien establecido (17, 54-56). En teoría, un incremento en el tamaño muscular podría ocurrir como resultado de un incremento en el tamaño de las fibras (17), un incremento en el número de las fibras (55) y/o un incremento en la cantidad de tejido conectivo en el músculo (18), las cuales son adaptaciones que contribuyen a las mejoras en la fuerza observadas durante el entrenamiento de la fuerza.

Finalmente, parece que están implicados tres procesos en la respuesta hipertrófica del músculo esquelético al

entrenamiento de la fuerza. El primero es el proceso anabólico necesario para el crecimiento de las proteínas para apoyar el alargamiento de las fibras (57, 58). El segundo proceso implica la proliferación de células satélite, las cuales pueden proporcionar mionúcleos adicionales a las fibras que se alargan (55). El tercer proceso llamado "efecto anticatabólico" puede ser logrado por una reducción en la degradación proteica inducida por el cortisol (17). Las dosis farmacológicas de glucocorticoides resultan en un incremento de la excreción de 3-metilhistidina (3-MHIS), lo cual sugiere que la proteólisis en el músculo esquelético está incrementada (59), ya que se asume que la 3-MHIS constituye un índice de la degradación de proteínas contráctiles (60). De manera contraria, la atenuación de la respuesta del cortisol favorece la conservación de las proteínas miofibrilares, resultando en una mejora del crecimiento del músculo esquelético (17). La interacción hormonal que media los cambios subsiguientes en las propiedades estructurales y funcionales de las fibras del músculo esquelético proporciona las bases para los procesos anabólicos y anticatabólicos.

Tamaño de las Fibras Musculares

Una de las adaptaciones más estudiadas al entrenamiento de la fuerza es el incremento en el área de sección transversal (CSA) de las fibras, o la hipertrofia. Está bien establecido que el entrenamiento de la fuerza promueve hipertrofia entre cada uno de los principales tipos de fibras en los humanos (tipo I, IIa y IIb) tal como fue identificado por Brooke y Kaiser (61). Numerosos estudios acerca de entrenamiento de la fuerza reportaron que las fibras tipo IIa presentan el mayor crecimiento, seguidas por las fibras tipo IIb, exhibiendo las fibras tipo I la menor cantidad de hipertrofia (17, 29, 56, 58, 62-64). En general, las fibras tipo I dependen de una reducción en la degradación proteica, mientras que las fibras tipo II dependen de un incremento en la síntesis proteica, resultando así en un incremento absoluto en el área de sección transversal de las fibras (64).

Además, el incremento porcentual en la hipertrofia en respuesta al entrenamiento de la fuerza es similar para los hombres y mujeres (15, 65, 66), aunque el incremento absoluto en la CSA tiende a ser mayor en los hombres (65). En los individuos desentrenados, los incrementos en la CSA de las fibras son de 10-31% en las fibras tipo I (29, 62), y de 20-45 % en las tipo II (29, 67). Es sugerido que el incremento en la hipertrofia de las fibras tipo II puede reflejar una mayor implicancia relativa durante las contracciones máximas y cercanas al máximo (tal como en los ejercicios de sobrecarga de alta intensidad) de estas unidades de alto umbral con respecto a lo que ocurriría normalmente con actividades de la vida diaria (68).

Con el entrenamiento de la fuerza crónico (12-26 semanas), los incrementos en la CSA de las fibras son el resultado del incremento del área miofibrilar, con poco o ningún cambio en la densidad del paquete miofibrilar. Los filamentos de actina y miosina son adicionados en la periferia de cada miofibrilla, creando así miofibrilas más grandes sin alterar la densidad de empaquetamiento de los filamentos o el espaciado de los puentes cruzados (18). Sin embargo, la magnitud de esta respuesta hipertrófica varía y depende de una serie de factores, incluyendo la respuesta del individuo al entrenamiento, la intensidad y duración del programa de entrenamiento, y el nivel de entrenamiento del individuo antes del comienzo del programa (18).

CONVERSION DEL TIPO DE FIBRAS MUSCULARES

El entrenamiento de sobrecarga produce un cambio en el perfil de tipo de fibra de la miosinadenosintrifosfatasa (mATPasa) y en la composición de la cadena pesada de miosina (29, 52, 68, 70). Parece que el entrenamiento de la fuerza resulta en transiciones dentro de los subtipos de fibras tipo II, con un incremento en el porcentaje de fibras tipo IIa y una disminución proporcional en el porcentaje de fibras tipo IIb (17, 63, 67). Sin embargo, no ha sido encontrada evidencia convincente que indique cambios en los tipos de fibra tipo I y II (70).

Una serie de trabajos de Staron et al. (63, 67, 71) estudiaron las adaptaciones del músculo esquelético luego del entrenamiento de la fuerza de alta intensidad en hombres y mujeres. Luego de 20 semanas de entrenamiento de alta intensidad en mujeres desentrenadas, Staron et al. (67) reportaron una disminución significativa en las fibras tipo IIb (16,2 % pre-entrenamiento vs. 2,7 % post-entrenamiento) con un incremento concomitante en las fibras tipo IIa (32,5% vs. 39,3%). Staron y colaboradores (71) reportaron hallazgos similares mientras investigaban los efectos de un período de entrenamiento mucho más corto (6 semanas). En apoyo a sus trabajos previos, se produjo una disminución significativa en el porcentaje de fibras tipo IIb (24,9% pre-entrenamiento vs. 6,7% post-entrenamiento).

Para determinar el transcurso de tiempo para las adaptaciones musculares específicas durante la fase inicial del entrenamiento de la fuerza, Staron et al. (63) extrajeron biopsias musculares al inicio y cada 2 semanas durante 8 semanas de entrenamiento de la fuerza en hombres y mujeres desentrenados. En las mujeres fue observada una disminución significativa en el porcentaje de fibras tipo IIb después de solo 4 semanas (en total 8 entrenamientos). A través del período

de 8 semanas de entrenamiento las fibras tipo IIb disminuyeron desde 21,4 a 9,5%. Los autores concluyeron que el transcurso de tiempo para la alteración de la expresión fenotípica de proteínas contráctiles específicas parece ser un ajuste que puede ocurrir después de solo unos pocos entrenamientos.

Es interesante señalar que Andersen y Aagaard (70) reportaron que 90 días de desentrenamiento luego de 90 días de entrenamiento de la fuerza de alta intensidad en hombres desentrenados produjeron un sobrepaso en la cantidad de fibras tipo IIb (IIx) hasta valores significativamente más altos que aquellos observados tanto pre- como post-entrenamiento (18,8 vs. 10,2 vs. 4,1%, respectivamente). Esto se correspondió con una disminución significativa en el porcentaje de fibras tipo IIa. Los autores postularon que este fenómeno de sobrepaso o "estimulación" surge de la interrupción abrupta del estímulo para el músculo.

En conjunto, estos datos dan apoyo a la discusión acerca de que la transición entre subtipos de fibras (IIa ßà IIb) debería seguir los requerimientos energéticos (72) y esto podría representar una adaptación de la fuerza positiva (52). De acuerdo a Bottinelli y colaboradores (72), las fibras tipo IIb despliegan el más alto costo de tensión, mientras que las fibras tipo IId (x) y IIa son intermedias, y las fibras tipo I enfrentan el menor costo de tensión. De este modo, el desequilibrio entre el requerimiento y el aporte energético puede representar una señal importante que desencadena un ajuste apropiado de la expresión del tipo de fibra (73) y puede presentar un posible mecanismo subyacente a la transición entre subtipos de fibras.

FUERZA MUSCULAR

El desarrollo de la fuerza implica el funcionamiento coordinado de diferentes procesos (9) con la capacidad de producir fuerza máxima atribuida tanto a los componentes neural como muscular (74). Diferentes estudios han demostrado que 6-21 semanas de entrenamiento de la fuerza producen incrementos significativos en la fuerza dinámica máxima (15, 17, 26, 29, 52, 66). Conjuntamente, estos estudios indican que los incrementos iniciales en la fuerza están asociados principalmente con adaptaciones neurales, mientras que las respuestas hipertróficas comienzan a ocurrir en las etapas posteriores del entrenamiento.

Además, está bien establecido que la fuerza muscular es proporcional a la CSA de las fibras (75-77). Sin embargo, no todos los estudios acerca del entrenamiento de la fuerza han demostrado que se produce un incremento en la fuerza muscular con cambios significativos en la CSA de las fibras (8, 63). Esto apoya la teoría que indica que las adaptaciones neurales son el mecanismo predominante para los incrementos en la fuerza muscular en las fases iniciales (primeras 6-8 semanas) del entrenamiento de la fuerza (9, 74). En las fases posteriores (12-26 semanas), el incremento gradual en el tamaño de las miofibrillas (hipertrofia) y quizás las mayores conversiones de tipos de fibras rápidas (IIa ßà IIb), contribuyen a las ganancias de fuerza asociadas con el entrenamiento de la fuerza de mayor duración (52, 63).

Aunque los hombres son de manera característica más fuertes que las mujeres (78), ambos sexos responden al entrenamiento de la fuerza de un modo similar (65, 66, 79). Abe et al. (66) investigaron el transcurso de tiempo de las adaptaciones del músculo esquelético que resultan de 12 semanas de entrenamiento progresivo de la fuerza de alta intensidad (cuerpo completo; 6 ejercicios; 4 series x 8-12 repeticiones al 60-70% de 1RM; 3 días/semana) en 50 hombres y mujeres desentrenados de mediana edad. La 1 RM en los ejercicios extensión de rodilla (KE) y press de banca (CP) fue medida en la condición inicial o línea de base y en las semanas 2, 4, 6, 8 y 12. La fuerza se incrementó significativamente en la semana 4 en las mujeres, y en la semana 2 (KE) y 6 (CP) en los hombres. El incremento relativo medio en la fuerza en KE y CP fue de 19 y 19% para los hombres y 19 y 27% en las mujeres, respectivamente. Los autores concluyeron en que el transcurso de tiempo y las proporciones de incremento en la fuerza fueron similares para los hombres y las mujeres.

CONCLUSION

La popularidad del entrenamiento de la fuerza ha crecido inmensamente a través de los pasados 25 años (80), en donde diversas investigaciones han demostrado que el entrenamiento de la fuerza no solo es un método efectivo para mejorar la función neuromuscular, sino que también puede ser igualmente efectivo para mantener y mejorar el estado de salud de las personas (1, 3, 10, 80-82). Además, se sugiere que el entrenamiento de la fuerza es beneficioso para mejorar la aptitud muscular en la prevención y control de diversas condiciones patológicas (83). De este modo, la mayoría de las organizaciones de salud profesionales y del gobierno apoyan actualmente la inclusión del entrenamiento de la fuerza en sus recomendaciones (4, 83). Deschences y Kraemer (80) destacan que el nivel de entrenamiento y salud inicial, junto con

el diseño específico del programa, afectan la magnitud de las adaptaciones neuromusculares. Finalmente, son las variables agudas del programa las que determinan el grado hasta el cual se adaptan los sistemas neuromuscular, endocrino y musculoesquelético, tanto al entrenamiento de la fuerza agudo como crónico. De este modo, es esencial que aquellas personas implicadas en la prescripción del entrenamiento de la fuerza (i.e., entrenadores de fuerza, especialistas en rehabilitación, fisiólogos del ejercicio) adquieran una compresión fundamental acerca de las variables agudas del programa y acerca de la importancia de sus aplicaciones prácticas en el diseño del programa.

Agradecimientos

Esta investigación fue subsidiada por el protocolo de Becas de Postgrado de Australia # 03/144. Los autores no tienen conflictos de interés que sean directamente relevantes para el contenido de esta revisión. En memoria del fallecido Dr Kyle Tarpenning.

REFERENCIAS

1. Hass C. J, Feigenbaum M. S, Franklin B. A (2001). Prescription of resistance training for healthy populations. *Sports Med; 31: 953-64*
2. Fleck S. J, Kraemer W. J (1988). Resistance training: basic principles part 1. *Phys Sportsmed 16: 160-71*
3. Kraemer W. J, Ratamess N. A, French D. N (2002). Resistance training for health and performance. *Curr Sports Med Rep 1: 165-71*
4. American College of Sports Medicine (2002). Position Stand: progres-sion models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc 34: 364-80*
5. DeLorme T. L (1945). Restoration of muscle power by heavy resistance exercises. *J Bone Joint Surg Am 27: 645-67*
6. Capen E. K (1956). Study of four programs of heavy resistance exercises for the development of muscular strength. *Res Q 27: 132-42*
7. Thorstensson A, Karlsson J, Viitasalo J. H, et al (1976). Effect of strength training on EMG of human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand 98: 232-6*
8. Sale D. G (1988). Neural adaptation to resistance training. *Med Sci Sports Exerc 20 (5 Suppl.): 135-45*
9. Feigenbaum M. S, Pollock M. L (1999). Prescription of resistance train-ing for health and disease. *Med Sci Sports Exerc 31: 38-45 11*
10. Kraemer W. J (1983). Exercise prescription in weight training: manipu-lating program variables. *Natl Strength Cond Assoc J 5: 58-61*
11. DeLorme T. L, Watkins A. L (1948). Techniques of progressive resis-tance exercise. *Arch Phys Med 29: 263-73*
12. Colliander E, Tesch P. A (1990). Effects of eccentric and concentric muscle actions in resistance training. *Acta Physiol Scand 140: 31-9*
13. Dudley G. A, Tesch P. A, Miller B. J, et al (1991). Importance of eccentric actions in performance adaptations to resistance training. *Aviat Space Environ Med 62: 543-50*
14. Ostrowski K. J, Wilson G. J, Weatherby R, et al (1997). The effect of weight training volume on hormonal output and muscular size and function. *J Strength Cond Res 11: 148-54*
15. Tarpenning K. M, Wiswell R. A, Hawkins S. A, et al (2001). Influence of weight training exercise and modification of hormonal response on skeletal muscle growth. *J Sci Med Sports 4: 431-46*
16. MacDougall J. D (1986). Adaptability of muscle to strength training: a cellular approach. In: Saltin B, editor. *Biochemistry of exercise. VI. Champaign (IL): Human Kinetics 501-13*
17. Keeler L. K, Finkelstein L. H, Miller W, et al (2001). Early-phase adapta-tions of traditional-speed vs superslow resistance training on strength and aerobic capacity in sedentary individuals. *J Strength Cond Res 15: 309-14 20*
18. Kraemer R. R, Kilgore J. L, Kraemer G. R, et al (1992). Growth hormone, IGF-I, and testosterone responses to resistive exercise. *Med Sci Sports Exerc 24: 1346-52*
19. Kraemer W. J, Dudley G. A, Tesch P. A, et al (2001). The influence of muscle action on the acute growth hormone response to resistance exercise and short-term detraining. *Growth Horm IGF Res 11: 75-83*
20. Durand R. J, Castracane V. D, Hollander D. B, et al (2003). Hormonal responses from concentric and eccentric muscle contractions. *Med Sci Sports Exerc 35: 937-43*
21. Gotshalk L. A, Loebel C. C, Nindl B. C, et al (1997). Hormonal responses to multiset versus single-set heavy-resistance exercise. *Can J Appl Physiol 22: 244-55*
22. Raastad T, Bjoro T, Hallen J (2000). Hormonal responses to high- and moderate-intensity strength exercise. *Eur J Appl Physiol 82: 121-8*
23. Smilios I, Pilianidis T, Karamouzis M, et al (2003). Hormonal re-sponses after various resistance exercise protocols. *Med Sci Sports Exerc 35: 644-54*
24. Ahtiainen J. P, Pakarinen A, Kraemer W. J, et al (2003). Acute hormonal and neuromuscular responses and recovery to forced vs maxi-mum repetitions multiple resistance exercises. *Int J Sports Med 24: 410-8*
25. Judge L. W, Moreau C, Burke J. R (2003). Neural adaptations with sport-specific resistance training in highly skilled athletes. *J Sports Sci 21: 419-27*

26. McBride J. M, Blaak J. B, Triplett-McBride T (2003). Effect of resistance exercise volume and complexity on EMG, strength, and regional body composition. *Eur J Appl Physiol 90: 626-32*
27. Campos G. E. R, Luecke T. J, Wendeln H. K, et al (2002). Muscular adapta-tions in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *Eur JAppl Physiol 88: 50-60*
28. Tan B (1999). Manipulating resistance training program variables to optimize maximum strength in men: a review. *J Strength Cond Res 13: 289-304*
29. Baechle T. R, Earle R. W, Wathen D (2000). Resistance training. In: Baechle T. R, Earle R. W, editors. Essentials of strength training and conditioning. *2nd ed. Champaign (IL): Human Kinetics, 395-425*
30. McDonagh M. J, Davies C. T (1984). Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *Eur J Appl Physiol 52: 139-55*
31. Kraemer W. J, Fleck S. J, Deschenes M (1988). A review: factors in exercise prescription of resistance training. *Natl Strength Cond Assoc J 10: 36-41*
32. Baker D, Wilson G, Carlyon R (1994). Periodization: the effect on strength of manipulating volume and intensity. *J Strength Cond Res 8: 235-42*
33. Paulsen G, Myklestad D, Raadtad T (2003). The influence of volume of exercise on early adaptations to strength training. *J Strength Cond Res 17: 115-20*
34. Rhea M. R, Alvar B. A, Burkett L. N, et al (2003). A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Med Sci Sports Exerc 35: 456-64*
35. Hickson J. F, Buono M. J, Wilmore J. H, et al (1984). Energy cost weight training exercise. *Natl Strength Cond Assoc J 6: 22-3*
36. Sforzo G. A, Touey P. R (1996). Manipulating exercise order affects muscular performance during a resistance exercise training session. *J Strength Cond Res 10: 20-4*
37. Fahey T. D, Rolph R, Moungmee P, et al (1976). Serum testosterone, body composition, and strength of young adults. *Sports 8: 31-4*
38. Volek J. S, Kraemer W. J, Bush J. A, et al (1997). Testosterone and in relationship to dietary nutrients and resistance exercise. *J Appl Physiol 82: 49-54*
39. Kraemer W. J, Ratamess N. A (2003). Endocrine responses and adaptations to strength and power training. In: Komi PV, editor. Strength and power in sport. *2nd ed. Oxford: Blackwell Science Ltd, 361-86*
40. Kraemer W. J, Gordon S. E, Fleck S. J, et al (1991). Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise in males and females. *Int J Sports Med 12: 228-35*
41. Kraemer W. J (1997). A series of studies: the physiological basis for strength training in American football: fact over philosophy. *J Strength Cond Res 11: 131-42*
42. Kraemer W. J, Noble B. J, Clark M. J, et al (1987). Physiologic responses to heavy-resistance exercise with very short rest periods. *Int J Sports Med 8: 247-52*
43. Kraemer W. J, Marchitelli L, Gordon S. E, et al (1990). Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J Appl Physiol 69: 1442-50*
44. Harris R. C, Edwards R. H, Hultman E, et al (1976). The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. *Pflugers Arch 367: 137-42*
45. Larson G. D, Potteiger J. A (1997). A comparison of three different intervals between multiple squat bouts. *JStrength Cond Res 11: 115-8*
46. Pereira M. I. R, Gomes P. S. C (2003). Movement velocity in resistance training. *Sports Med 33: 427-38*
47. Westcott W. L, Winett R. A, Anderson E. S, et al (2001). Effects of regular and slow speed resistance training on muscle strength. *J Sports Med Phys Fitness 41: 154-8*
48. Hunter G. R, Seelhorst D, Snyder S (2003). Comparison of metabolic and heart rate responses to super slow vs traditional resistance training. *J Strength Cond Res 17: 76-81*
49. Braith R. W, Graves J. E, Pollock M. L, et al (1989). Comparison of 2 vs 3 days/week of variable resistance training during 10- and 18-week programs. *Int J Sports Med 10: 450-4*
50. Carroll T. J, Abernethy P. J, Logan P. A, et al (1998). Resistance training frequency: strength and myosin heavy chain responses to two and three bouts per week. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol 78: 270-5*
51. Haddad F, Adams G. R (2002). Acute cellular and molecular responses to resistance exercise. *J Appl Physiol 93 (1): 394-403*
52. Goldberg A. L, Etlinger J. D, Goldspink D. F, et al (1975). Mechanism of work-induced hypertrophy of skeletal muscle. *Med Sci Sports 7 (3): 185-98*
53. Kadi F, Eriksson A, Holmner S, et al (1999). Cellular adaptation of the trapezius muscle in strength-trained athletes. *Histochem Cell Biol 111 (3): 189-95*
54. Shoepe T. C, Stelzer J. E, Garner D. P, et al (2003). Functional adaptability of muscle fibers to long-term resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc 35 (6): 944-51*
55. Bhasin S, Storer T. W, Berman N, et al (1996). The effects of supraphysiologic doses of testosterone on muscle size and strength in normal men. *N Engl J Med 335 (1): 1-7*
56. McCall G. E, Byrnes W. C, Fleck S. J, et al (1999). Acute and chronic hormonal responses to resistance training designed to promote muscle hypertrophy. *Can J Appl Physiol 24 (1): 96-107*
57. Tomas F. M, Munro H. N, Young V. R (1979). Effect of glucocorticoid administration on the rate of muscle protein breakdown in vivo in rats, as measured by urinary excretion of N tau-methylhistidine. *Biochem J 178: 139-46*
58. Young V. R, Munro H. N (1978). Ntau-methylhistidine (3-methylhistidine) and muscle protein turnover: an overview. *Fed Proc 37: 2291-300*
59. Brooke M. H, Kaiser K. K (1970). Muscle fiber types: how many and what kind?. *Arch Neurol 23 (4): 369-79*
60. MacDougall J. D, Elder G. C, Sale D. G, et al (1980). Effects of strength training and immobilization on human muscle fibres. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol 43 (1): 25-34*

61. Staron R. S, Karapondo D. L, Kraemer W. J, et al (1994). Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy resistance training in men and women. *J Appl Physiol 76: 1247-55*
62. Kraemer W. J, Staron R. S, Hagerman F. C, et al (1998). The effects of short-term resistance training on endocrine function in men and women. *Eur J Appl Physiol 78: 69-76*
63. Cureton K. J, Collins M. A, Hill D. W, et al (1988). Muscle hypertrophy in men and women. *Med Sci Sports Exerc 20 (4): 338-44*
64. Abe T, DeHoyos D. V, Pollock M. L, et al (2000). Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. *Eur J Appl Physiol 81 (3): 174-80*
65. Staron R. S, Malicky E. S, Leonardi M. J, et al (1990). Muscle hypertrophy and fast fiber type conversions in heavy resistance-trained women. *Eur J Appl Physiol 60: 71-9*
66. Adams G. R, Hather B. M, Baldwin K. M, et al (1993). Skeletal muscle myosin heavy chain composition and resistance training. *J Appl Physiol 74 (2): 911-5*
67. MacDougall J. D (2003). Hypertrophy and hyperplasia. In: Komi PV, editor. Strength and power in sport. *2nd ed. Oxford: Blackwell Science Ltd, 252-64*
68. Andersen J. L, Aagaard P (2000). Myosin heavy chain IIX overshoot in human skeletal muscle. *Muscle Nerve 23: 1095-104*
69. Staron R. S, Leonardi M. J, Karapondo D. L, et al (1991). Strength and skeletal muscle adaptations in heavy-resistance-trained women after detraining and retraining. *J Appl Physiol 70 (2): 631-40*
70. Bottinelli R, Canepari M, Reggiani C, et al (1994). Myofibrillar ATPase activity during isometric contraction and isomyosin in composition in rat single skinned muscle fibres. *J Physiol 481: 663-75*
71. Pette D (1998). Training effects on the contractile apparatus. *Acta Physiol Scand 162 (3): 367-76*
72. Moritani T, deVries H. A (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med 58 (3): 115-30*
73. Maughan R. J, Watson J. S, Weir J (1983). Strength and cross-sectional area of human skeletal muscle. *J Physiol 338: 37-49*
74. Maughan R. J (1984). Relationship between muscle strength and muscle cross-sectional area: implications for training. *Sports Med 1 (4): 263-9*
75. Sale D. G, MacDougall J. D, Alway S. E, et al (1987). Voluntary strength and muscle characteristics in untrained men and women and male bodybuilders. *J Appl Physiol 62 (5): 1786-93*
76. Garhammer J (1991). A comparison of maximal power outputs between elite male and female weightlifters in competition. *Int J Sports Biomech 7 (1): 3-11*
77. Hickson R. C, Hidaka K, Foster C, et al (1994). Successive time courses of strength development and steroid hormone responses to heavy-resistance training. *J Appl Physiol 76 (2): 663-70*
78. Deschences M. R, Kraemer W. J (2002). Performance and physiologic adaptations to resistance training. *Am J Phys Med Rehabil 81 (11 Suppl.): S3-16*
79. Pyka G, Lindenberger E, Charette S, et al (1994). Muscle strength and fiber adaptations to a year-long resistance training program in elderly men and women. *J Gerontol 49 (1): M22-7*
80. Pollock M. L, Franklin B. A, Balady G. J, et al (2000). Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: benefits, rationale, safety, and prescription. *Circulation 101 (7): 828-33*

Cita Original

Bird Stephen P., Kyle M. Tarpenning, y Frank E. Marino. Designing Resistance Training Programmes to Enhance Muscular Fitness - A Review of the Acute Programme Variables. Sports Med; 35 (10): 841-851, 2005.