PubliCE, (PubliCE) 2004

Monograph

Entrenamiento de la Fuerza para las Piernas: Efectos sobre el VO_2 pico y sobre la Mioplasticidad del Músculo Esquelético

Roberta L Pohlman[3], Reggie O□Hara[1], Munna Khan[2] y James Schlub[1]

[1]*Health and Wellness Clinic, 74 Aerospace Medicine, Wright Patterson, Air Force Base, OH, 45422-5350.*
[2]*Indian Institute of Technology Guwahati, Department of Electronics & Communication Engineering, North Guwahati, Guwahati-781039, India.*
[3]*Wright State University, Department of Biological Sciences and Mathematics, Dayton, OH 45435-0001.*

RESUMEN

El objetivo central de esta revisión fue determinar si la concurrencia del entrenamiento de la fuerza de alta intensidad y la reducción de la carga aeróbica influencian el VO_2 máx. o la estimación del VO_2 máx. medido en cicloergómetro, en cinta ergómetro o en ambos. Nuestra revisión indica que la medición del VO_2 máx., el tiempo hasta el agotamiento y el tipo de programa de entrenamiento físico empleado pueden influenciar la capacidad aeróbica medida en ciclo ergómetro, cinta ergómetro o en ambos. El entrenamiento de la fuerza de alta intensidad (80% de 1RM) puede inducir cambios en las isoformas de las cadenas pesadas de miosina (MCH); desde el tipo IIb (glucolíticas) al tipo IIa (oxidativa/glucolítica), en los músculos periféricos entrenados. Hasta el momento la literatura no ha podido aclarar los mecanismos precisos que causan estos incrementos en la capacidad aeróbica. Estas adaptaciones periféricas pueden atribuirse al volumen del entrenamiento de la fuerza de alta intensidad para las piernas (3 series de 12 a 16 repeticiones realizadas hasta el agotamiento) en concurrencia con la reducción del volumen del entrenamiento aeróbico. Los mecanismos responsables de este cambio pueden estar asociados con el área de sección transversal de la musculatura entrenada. Por ejemplo, si se incrementa el área de sección transversal de las fibras musculares oxidativas y glucolíticas, incluso a un mismo porcentaje de la masa muscular original, entonces cualquier tasa de trabajo representara un menor porcentaje de la capacidad máxima del músculo para completar tanto el trabajo oxidativo como el no oxidativo.

Palabras Clave: consumo máximo de oxígeno, adaptación periférica, adaptación central, fuerza de las piernas, entrena

INTRODUCCION

Los investigadores sugieren que el incremento en la fuerza de las piernas, independientemente del entrenamiento cardiovascular, puede aumentar el VO_2 máx. y el rendimiento aeróbico. El incremento en la fuerza de las piernas puede también incrementar el tiempo hasta el agotamiento durante el ciclismo y la carrera, y amplificar el VO_2 máx. de los sujetos tanto en ciclo ergómetro como en cinta ergómetro (10-36). Varios investigadores han examinado los efectos del entrenamiento de la fuerza intenso y su capacidad para incrementar la capacidad aeróbica cuando esta es medida en ciclo

ergómetro o cinta ergométrica (9, 10, 15-17,21, 26, 28, 31, 34, 36).

La plasticidad del músculo esquelético esta definida y caracterizada por la dinámica funcional y la remodelación estructural de las fibras musculares (bioquímica y tamaño). Las alteraciones pueden ocurrir como consecuencia de la reducción en las fuerzas de carga (viajes al espacio, suspensión de la extremidad y reposo en cama) o por el incremento del peso de las cargas que se deben transportar. Nuevamente, los cambios significativos en la bioquímica del músculo esquelético pueden ocurrir como resultado de la alta intensidad y el alto volumen del entrenamiento de la fuerza y un bajo volumen de carga aeróbica, mejorando por lo tanto, la capacidad oxidativa de en ciertas subpoblaciones de fibras musculares. Sin embargo, los mecanismos precisos que contribuyen a esto no se han demostrado definitivamente (25).

Algunos investigadores (13, 17) han hipotetizado que los incrementos en el VO_2 máx., medido en ciclo ergómetro, pueden deberse al incremento en la masa muscular y a una mejora de la capacidad oxidativa en la musculatura que ha sido entrenada en fuerza. Un grupo de investigadores (22) determinó los efectos de tres programas característicos de entrenamiento de la fuerza sobre la resistencia cardiovascular y descubrió que el programa con altas repeticiones (2 series de 22 a 26 repeticiones) y baja intensidad (60% de 1RM) incrementaba considerablemente el tiempo hasta el agotamiento y la producción máxima de potencia. Las adaptaciones fisiológicas en el grupo que entrenó con altas repeticiones incluyeron el incremento en la tolerancia al lactato, mejoras en los sistemas energéticos oxidativos y no oxidativos, o simplemente una tolerancia incrementada al trabajo de muy alta intensidad (22). Los programas combinados de entrenamiento aeróbico y de la fuerza pueden también incrementar la potencia aeróbica y el tiempo hasta el agotamiento durante la realización de carreras y ciclismo de corta duración y alta intensidad (10, 24).

El entrenamiento de la fuerza de alta intensidad puede también aumentar el VO_2 pico y el aporte de sangre capilar en los músculos esqueléticos. Hepple y cols. (15) reclutaron hombres ancianos (65 a 74 años) para participar en un estudio de entrenamiento de la fuerza de nueve semanas. El grupo conformado por diez sujetos realizó tres series de cuatro ejercicios para cada pierna por separado a una intensidad que provocaría fatiga volitiva dentro de las 6 a 12 repeticiones. Cada uno de los cuatro ejercicios se completó en una máquina universal para el entrenamiento de la fuerza. El grupo de sujetos entrenados incrementó su VO_2 y a la vez incrementó el número de capilares por longitud de perímetro muscular, lo cual subsecuentemente equiparó el incremento en el VO_2 pico. Los cambios fisiológicos señalados en los estudios previos pueden ocurrir no solo en la población de ancianos, sino que cambios fisiológicos comparables pueden ocurrir también en la población de jóvenes inactivos. Interesantemente, los hombres ancianos en este estudio realizaban actividad física de baja intensidad en forma periódica (i.e., tenis, golf y caminatas), sin embargo, a través del entrenamiento de la fuerza en las piernas, tuvieron incrementos en varios parámetros de la aptitud física cardiovascular (CV).

Un grupo de investigadores (36) examinó los efectos de seis meses de entrenamiento de la fuerza de alta y baja intensidad sobre la capacidad aeróbica en un grupo de hombres y mujeres ancianos (60 a 80 años). Estos investigadores observaron que los sujetos que tuvieron incrementos en la fuerza de las piernas fueron capaces de ejercitarse a una intensidad relativa mayor y por un período de tiempo sostenido. Sin embargo, es improbable de que sujetos jóvenes incrementen la capacidad aeróbica por medio de la mejora de la fuerza de las piernas. Los sujetos jóvenes tienen un nivel normal de fuerza en las piernas, a diferencia de los sujetos ancianos que participaron en este estudio (36). Por lo tanto, el entrenamiento concentrado de la fuerza para las piernas en un grupo de sujetos jóvenes puede no incrementar significativamente la capacidad aeróbica. En contraste Hickson y cols. (17) mostraron que sujetos de entre 18 y 27 años de edad tuvieron un incremento del 40% en la fuerza de las piernas, así como también incrementaron el tiempo hasta el agotamiento en ciclo ergómetro (47%) y en cinta ergómetrica (12%), luego de 10 semanas de entrenamiento de la fuerza de intensidad casi máxima para las piernas.

Varios investigadores (13, 27, 31) hallaron que el entrenamiento aeróbico combinado con el entrenamiento de la fuerza de alto volumen llevado a cabo con ejercicios multiarticulares para las piernas y la musculatura del tren superior produjo resultados prometedores en la resistencia aeróbica y el VO_2 máx. Por lo tanto, en al menos algunos protocolos de entrenamiento, el énfasis en el fortalecimiento de las piernas ha mejorado la capacidad aeróbica. Por ejemplo, O'Hara et al. (25) reclutaron a una muestra convenientemente pequeña de (n=14) hombres de la Fuerza Aérea previamente entrenados los cuales mostraron incrementos significativos en la capacidad aeróbica máxima predicha cuando los sujetos fueron evaluados en un ciclo ergómetro después de 6 y 12 semanas de entrenamiento. Cada sujeto llevo a cabo un alto número de repeticiones (12 a 16) hasta el agotamiento y se recupero durante uno o dos minutos entre cada serie de ejercicios de sobrecarga. Después de las 12 semanas de entrenamiento de la fuerza de alta intensidad la media grupal para la estimación de la aptitud aeróbica se incrementó desde $27.6 ml.kg^{-1}.min^{-1}$ hasta $34.7 ml.kg^{-1}.min^{-1}$. Esto fue un cambio significativo, especialmente considerando el hecho de que este grupo de hombres había participado previamente durante dos o más años en programas de acondicionamiento aeróbico, sin embargo, todavía eran capaces de incrementar su nivel de rendimiento en ciclo ergómetro. Los autores sugirieron que los cambios en la morfología del músculo esquelético, tal como la mejora en los patrones de reclutamiento muscular y los niveles de fuerza en la musculatura de la pierna entrenada, podrían explicar el incremento observado en la capacidad aeróbica. Además, los sujetos señalaron una mejora en la comodidad durante el ciclismo lo que pudo haber contribuido al aumento del volumen y la carga en las piernas y a la

eficiencia muscular. La respuesta neuromuscular a entrenamiento crónico de la fuerza y las consiguientes alteraciones en los patrones de reclutamiento de unidades motoras pueden ser otra causa de la mejora en la resistencia y la capacidad aeróbica de los sujetos.

Conley y Rozenek (8) reportaron que el alto volumen de entrenamiento de la fuerza, que consistió principalmente de ejercicios multiarticulares de la musculatura de la pierna, produjo un incremento en el metabolismo aeróbico del 8 al 10%. Los mecanismos fisiológicos exactos, responsables de este cambio podrían ser atribuidos a mejoras en el transporte y la utilización de oxígeno en los músculos esqueléticos, a nivel vascular periférico o cardíaco. Sin embargo, no se conocen los mecanismos fisiológicos precisos ligados a las mejoras en el metabolismo aeróbico, debido a un programa de entrenamiento de la fuerza.

Solamente un grupo de investigadores (3, 16-18, 36) ha examinado específicamente los efectos del fortalecimiento intensivo de las piernas combinado con el entrenamiento aeróbico sobre el VO_2 máx., la resistencia aeróbica de corta y larga duración y la potencia aeróbica. Los mecanismos periféricos propuestos detrás de las mejoras en el VO_2 pico y el rendimiento de resistencia pueden ser atribuidos a las mejoras en los patrones de reclutamiento muscular y al incremento en la fuerza de las piernas, lo cual podría influenciar la tasa de turnover o recambio de lactato, o el umbral del lactato. El incremento en la comodidad durante el ciclismo, resultante del incremento en el volumen y la carga del entrenamiento de la fuerza para las piernas, podría también provocar una reducción en la respuesta de la frecuencia cardíaca (31).

METODOS

Esta revisión se enfoca en los efectos fisiológicos provocados por la mejora en la fuerza de los cuadriceps sobre el consumo máximo de oxígeno y las capacidades oxidativa y de resistencia estimadas. El objetivo secundario de esta revisión es examinar los volúmenes y cargas del entrenamiento de la fuerza necesarios para provocar mecanismos de cambio en las miofibrillas de los músculos entrenados que puedan contribuir a la mejora de la capacidad aeróbica de los sujetos. Las dos áreas que estos investigadores están intentando examinar son controversiales entre los investigadores y todavía no han sido resueltas en la literatura científica.

Por lo tanto, estos investigadores han intentado contestar las siguientes preguntas:
¿Cuándo se lo mide en ciclo ergómetro, cinta o ambos; puede el entrenamiento de la fuerza de alta intensidad concurrente con la reducción de volumen de carga aeróbica incrementar el VO_2 máximo o el VO_2 estimado, o ambos?. Si es así, ¿cuáles son los mecanismos periféricos responsables del aumento en la capacidad oxidativa?.

Selección de los Artículos Científicos

Los investigadores realizaron la búsqueda de literatura publicada entre principios de 1969 y el 2003, utilizando para ello la Biblioteca Virtual del Servicio Médico de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos. Para la búsqueda se introdujeron las siguientes palabras: (a) VO_2 máx.; (b) fuerza de las piernas; (c) producción de potencia; (d) evaluación en cicloergómetro; (e) evaluación en cinta (f) potencia anaeróbica; (g) entrenamiento aeróbico; (h) entrenamiento de la fuerza (i) adaptación periférica; y (j) adaptación central. Se encontraron 62 artículos y los autores eligieron 34 artículos que contenían específicamente las preguntas de investigación propuestas.

Plasticidad del Músculo Esquelético

La realización de un entrenamiento de la fuerza progresivo de alta intensidad con cargas cercanas al máximo puede incrementar el tamaño de las fibras musculares de contracción rápida. Subsecuentemente, pueden resultar reducciones en la densidad mitocondrial (35). Sin embargo, de acuerdo con Brooks y cols. (6), el volumen de la masa mitocondrial permanece sin cambios. El entrenamiento de la fuerza de alta intensidad puede también provocar una reducción en la densidad capilar de los músculos esqueléticos, pero el índice capilares/fibra también se mantiene sin cambios.

En contraste, un régimen de entrenamiento de la fuerza con altas repeticiones, característicamente utilizado por los físicoculturistas, puede provocar un incremento en el número de capilares por fibra muscular e incrementar la capacidad del músculo esquelético para sostener una cantidad dada de fuerza durante largos períodos de tiempo (5). Consecuentemente, puede producirse un incremento en la capacidad de fuerza-resistencia de los músculos esqueléticos. Esta mejora en la fuerza y la resistencia muscular puede también incrementar la capacidad del músculo para mantener un nivel de fuerza durante períodos prolongados, lo cual puede contribuir a incrementar la comodidad de los muslos y las piernas durante el ciclismo.

Con el propósito de estudiar la respuesta de la frecuencia cardíaca al entrenamiento de una pierna en un ciclo ergómetro, Saltin y Hermanssen (29) dividieron aleatoriamente a los sujetos de su estudio en dos grupos. El grupo uno entrenó solamente una pierna en el ciclo ergómetro, mientras que el grupo dos sirvió como grupo control. Este grupo de investigadores descubrió que el grupo uno tuvo una menor respuesta de la frecuencia cardíaca durante la evaluación de la pierna entrenada versus la pierna desentrenada, en comparación con sus valores de VO_2 máx. antes del entrenamiento. El grupo que entrenó la pierna (grupo 1) tuvo una reducción en la respuesta de la frecuencia cardiaca al ejercicio. La disminución en la frecuencia cardíaca se atribuye a pequeñas terminaciones nerviosas ubicadas en la musculatura del muslo entrenado. De acuerdo con Saltin y Hermanssen (29), estas pequeñas terminaciones nerviosas en los músculos esqueléticos son sensibles al ambiente metabólico dentro del músculo. Consecuentemente, esto influencia la respuesta de la frecuencia cardíaca de los sujetos durante el ejercicio a través del centro de control cardíaco en el cerebro.

Saltin y cols. (30) determinaron las adaptaciones centrales y periféricas producidas por la realización de ejercicios aeróbicos y anaeróbicos a una pierna en ciclo ergómetro. Un grupo de hombres saludables (n=13) que consistía de estudiantes de medicina o de arte (edad media: 21.7 años; talla [ht]: 181[cm]; peso [wt]: 71.1[kg]) participaron en cuatro semanas de entrenamiento en ciclo ergómetro cuatro a cinco veces por semana. La muestra era homogénea en cuanto al nivel de entrenamiento y el VO_2 máx. Por lo tanto, los investigadores pudieron seleccionar aleatoriamente a los sujetos y colocarlos en uno de tres grupos de entrenamiento. Los grupos y sus modos de entrenamiento se muestran en la Tabla 1.

Grupo	Programa de Entrenamiento
1 (n=5)	Entrenamiento aeróbico (AE) para una pierna (pedaleo continuo en el ciclo ergómetro durante 30 a 50 minutos) y entrenamiento de la velocidad con la otra pierna (S) (esfuerzos máximos repetidos durante 30 a 40 segundos seguidos de periodos de recuperación de 1.5 minutos)
2 (n= 5)	Entrenamiento S para una pierna, mientras que la otra pierna no se realizó entrenamiento.
3 (n=3)	Entrenamiento AE para una pierna, mientras que la otra pierna no se realizó entrenamiento.

Tabla 1. *Resultados del estudio de Saltin y cols (30).*

Saltin y cols. (30) reportaron que el grupo uno incremento el VO_2 máx. en cada pierna a partir del valor inicial en un 11% y en un 20% en la musculatura de la pierna entrenada S y AE, respectivamente. En el grupo 2, el VO_2 máx. se incrementó a partir de la condición inicial de 2.81L/min, en la pierna entrenada S en un 15% mientras que en la pierna no entrenada se incrementó en menos del 3%. El VO_2 máx. en la condición inicial para el grupo 3 fue 2.4L/min y 2.5L/min para ambas piernas. Luego del entrenamiento AE, se observó un incremento del 24% en el VO_2 máx. de la pierna que fue entrenada, mientras que la pierna la pierna que no fue entrenada exhibió un incremento del 6%. Las diferencias entre los valores provocados por los entrenamientos AE y S en las piernas no fueron significativas. Sin embargo, los investigadores observaron que existe una estrecha correlación entre la adaptabilidad de la circulación periférica y central en la regulación de la respuesta de la frecuencia cardiaca.

Para este grupo de investigadores resultaron de particular interés (30) las adaptaciones similares entre los sujetos de los tres grupos. Por ejemplo, los sujetos del grupo uno que participaron en entrenamientos aeróbicos al menos dos veces más que los sujetos de los grupos dos y tres. Sin embargo, la respuesta de la frecuencia cardíaca submáxima y el VO_2 máx. en las piernas de los sujetos de los grupos uno y tres (grupos que entrenaron aeróbicamente) fueron similares a la de los sujetos en los grupos uno y dos (entrenamiento de la velocidad). Estos mismos investigadores establecieron lo siguiente: “en los animales y quizás en los humanos también, la aceleración cardiovascular puede ser provocada tanto por la influencia cortical del centro vasomotor, como por impulsos aferentes provenientes de los músculos activos. Considerando la marcada respuesta local uno podría especular que es posible que los cambios en la frecuencia cardíaca submáxima estén relacionados a un impulso periférico menos activo” (30).

En este estudio, Saltin y cols. (30), concluyeron que la reducción en la respuesta de la frecuencia cardíaca, debido al entrenamiento de la pierna, aumenta el tiempo de llenado en el miocardio, lo cual incrementa el volumen diastólico y el volumen sistólico (SV). Por lo tanto, los cambios que induce el entrenamiento, incluido el entrenamiento de la fuerza, pueden ejercer una influencia favorable sobre ciertas adaptaciones cardiovasculares, tales como la reducción de la frecuencia cardíaca durante ejercicio con tasas de trabajo conocidas. El estudio de Saltin y cols. (30), indica además que los cambios periféricos (en las piernas), y no los cambios centrales (miocardio), pueden afectar ciertos mecanismos de control en los músculos esqueléticos.

Con el propósito de determinar los mecanismos de cambio en los músculos esqueléticos, Staron y cols. (34) realizaron un estudio acerca de la adaptabilidad de los distintos tipos de fibras musculares esqueléticas en humanos al entrenamiento de la fuerza con distintas cargas. Los investigadores extrajeron biopsias musculares del vasto lateral de 20 sujetos que habían sido divididos en tres grupos: desentrenados (n=5); levantadores de pesas (n=7) y corredores de distancia (n=8). Los levantadores de pesas (grupo que consistió de dos levantadores de potencia competitivos; un físicoculturista competitivo y cuatro levantadores no competitivos, pero bien entrenados) y los corredores de distancia (tiempo promedio en el maratón=159 minutos) habían participado de entrenamientos cuatro a seis veces por semana por un mínimo de tres años. Los corredores de distancia no habían realizado ningún tipo de entrenamiento de la fuerza para el tren inferior. Los controles desentrenados eran sujetos sedentarios y no habían participado en ningún programa de actividad física regular. Los mismos investigadores (34) se interesaron también en la capacidad del músculo esquelético para cambiar el tipo de composición fibrilar en los levantadores de pesas, como respuesta al entrenamiento de la fuerza en base a la especificidad de la rutina que realizaban para entrenar. Estos investigadores descubrieron que el volumen-porcentaje de mitocondrias en las fibras musculares Tipo IIb de los levantadores de pesas y de los corredores era similar. Sin embargo, el número de fibras Tipo IIb en el grupo control era drásticamente mayor. Los sujetos que participan en entrenamientos de la fuerza de alta intensidad, el cual puede implicar contracciones de la musculatura cercanas al máximo, reclutarán principalmente las fibras musculares rápidas-glucolíticas Tipo IIb. Sin embargo luego de haber obtenido las biopsias musculares del vasto lateral (la porción superior del muslo) de los sujetos entrenados, los investigadores descubrieron que un gran porcentaje (32% vs. los sujetos controles) del músculo estaba compuesto de fibras rápidas oxidativas-glucolíticas (FOG) Tipo IIa. Además, la conversión de fibras Tipo IIb en IIa podría deberse a un efecto acumulativo del entrenamiento de la fuerza lo que resulta en un mayor reclutamiento de fibras musculares Tipo IIa versus IIb. Asimismo, el entrenamiento de la fuerza puede también aumentar la producción oxidativa (aeróbica) de trifosfato de adenosina (ATP) y por lo tanto, incrementar la capacidad de resistencia de corta duración sin incrementar el VO_2 máx.

Staron y cols. (34) hallaron que las fibras musculares Tipo I, IIa y IIb de los corredores y de los levantadores de pesas tenían un mayor volumen porcentual de mitocondrias en comparación con el grupo control de desentrenados. Sin embargo, los corredores de distancia bien entrenados tienen rutinariamente una mayor densidad y volumen mitocondrial en las fibras Tipo I, cuando se los compara con los levantadores de pesas. Las biopsias musculares tomadas en este grupo de levantadores de pesas indicaron que los levantadores de pesas dependen más de las fibras Tipo IIa, lo cual puede contribuir al incremento en la capacidad oxidativa sin un concomitante incremento en el VO_2 máx.

Staron y cols. (34) sugirieron que el efecto colectivo del entrenamiento de pesas produce un mayor reclutamiento de fibras Tipo IIa en comparación con las fibras Tipo I o IIb. El entrenamiento de pesas puede también aumentar la capacidad oxidativa de las fibras musculares, sin producir incrementos significativos en la máxima capacidad oxidativa.

En otro estudio Staron y cols. (33) observaron los efectos del entrenamiento de la fuerza de alta intensidad sobre las adaptaciones del músculo esquelético en 13 hombres (edad=23.5±1.5 años, ht=1.77±0.88m) y 8 mujeres (edad=20.6±1.5, ht=1.80±0.05m) quienes nunca habían participado en un programa de entrenamiento de la fuerza de alta intensidad. El grupo control consistió de 12 sujetos, 7 hombres (edad=20.7± 14 años; ht.=1.80±0.09m) y 5 mujeres (edad=20.6±1.6 años; ht=1.61±0.01m) quienes no habían participado en entrenamientos de la fuerza ni en rutinas de entrenamiento físico. Los sujetos de este estudio (33) realizaron ejercicios de sentadilla, prensa de piernas y extensiones de rodillas hasta el agotamiento, dos veces por semanas durante 8 semanas. Los días lunes los sujetos realizaron dos series de entrada en calor seguidas por tres series de 6 a 8 repeticiones, y los días miércoles tres series de 10 a 12 repeticiones con dos minutos de recuperación entre las series de cada ejercicio. Los investigadores extrajeron muestras de biopsias musculares (80-160mg) de la porción superficial del vasto lateral, ubicado en la musculatura del muslo. Las biopsias fueron extraídas al comienzo de las 8 semanas de entrenamiento y cada dos semanas durante el entrenamiento, tanto en los sujetos que se entrenaron como en los sujetos del grupo control. Las muestras de músculo fueron analizadas para determinar la composición de los distintos tipos de fibras, el área de sección transversal y el contenido de cadenas pesadas de miosina (MCH).

Los investigadores observaron que los hombres y mujeres que completaron el programa de entrenamiento de la fuerza de alta intensidad incrementaron la fuerza dinámica absoluta y relativa luego de 4 semanas de entrenamiento. También observaron reducciones significativas en los porcentajes de fibras musculares Tipo IIb (desde 21±8.3% en la semana 1 a 8.9±8.2 en la semana 9) luego de solo dos semanas de entrenamiento en las mujeres y 4 semanas en los hombres. Luego de solamente 4 semanas de entrenamiento se observó en todas las mujeres un incremento no significativo en el porcentaje de fibras Tipo IIa (desde 31.4±7.9% en la semana 1 hasta 38.2±10.6% en la semana 9) y un incremento significativo en el porcentaje de fibras Tipo I, en el cuadriceps femoral.

Se halló que el incremento en el porcentaje de fibras musculares Tipo I en la región del cuadriceps fue significativo y se redujo a niveles no significativos entre las semanas seis y ocho de entrenamiento. Fox, Bowers y Foss (pag. 114) (12) citaron que “las fibras musculares de contracción rápida Tipo IIa también tienen una alta densidad mitocondrial y una presencia substancial de capilares y mioglobina para soportar los aspectos oxidativos de su función metabólica”.

El diseño estructural de las fibras rápidas oxidativas glucolíticas (FOG) (Tipo IIa) les permite ser moderadamente resistentes a la fatiga muscular. Las fibras musculares FOG también son ricas en mitocondrias y encimas oxidativas. Además, las fibras FOG tienen la capacidad de utilizar metabolitos extraídos de la sangre para sostener la actividad metabólica requerida durante la contracción muscular. Por lo tanto, las fibras FOG se desarrollan para producir fuerza durante largos períodos de tiempo sin incrementar la glucogenólisis (6).

Brooks y cols. (6) también sugirieron que el músculo esquelético que sufre un estrés físico crónico debido a los requerimientos de las altas cargas puede cambiar el fenotipo de las proteínas contráctiles a un sistema de ciclos de puentes cruzados más económico (i.e., una tasa menor de ciclos de puentes cruzados para mantener la fuerza en una contracción sostenida). El cambio en las tasas de ciclos de puentes cruzados podría ser un importante fenómeno fisiológico si uno considera el acortamiento muscular concéntrico provocado cuando un sujeto intenta pedalear una tasa de trabajo constante en un ciclo ergómetro.

Hickson y cols. (16) observaron que durante el ejercicio submáximo en ciclo ergómetro (85% del VO_2 máx., 60 rpm), el pico de tensión se producía cuando cada pedal era empujado con una fuerza igual al 50-60% de la máxima fuerza ejercida en los pedales del ciclo ergómetro. Esta fuerza ejercida al empujar el pedal hace suponer que la activación de unidades motoras en el cuadriceps no ocurre al mismo tiempo o fase de pedaleo acompañada por un reclutamiento significativo de fibras musculares de contracción rápida. Como resultado del entrenamiento de la fuerza los sujetos que participaron en este estudio incrementaron la fuerza máxima en un 30 por ciento en la musculatura del muslo. Estos investigadores también observaron que el pico de tensión se reducía en un 50 a 60 por ciento de la máxima fuerza aplicada a los pedales, antes de que los sujetos participaran en el estudio, hasta el 30 al 45 por ciento luego de su participación. La reducción exhibida en el pico de tensión implicó que como resultado de cada avance del pedal se produjo un posterior incremento en el reclutamiento de fibras musculares de contracción lenta, acompañado por una reducción del reclutamiento de fibras musculares de contracción rápida en la musculatura del muslo. Debido a la reducción de la dependencia en el reclutamiento de fibras de contracción rápida con cada empuje del pedal, también habría una reducción en la tasa de consumo de trifosfato de adenosina (ATP) por unidad de fibra muscular de fuerza contráctil y habría un subsiguiente ahorro de glucógeno en el músculo esquelético.

Willoughby y Pelsue (38) determinaron la abundancia de ARNm de las isoformas de las cadenas pesadas de miosina (MCH) (Tipos I, IIa y IIx) en estado estable, en el músculo esquelético luego de 8 semanas de entrenamiento de la fuerza de alta intensidad. Doce sujetos desentrenados (edad=19.88±0.53 años; ht=180.13±3cm; peso corporal 74.63±7.92kg) fueron aleatoriamente asignados a un grupo control (C) o a un grupo que entrenó la fuerza (RT). El grupo RT realizó tres series de 6 a 8 repeticiones de prensa de piernas bilateral tres veces por semana (lunes, miércoles y viernes) utilizando una carga del 85 al 90 por ciento de su 1RM, con 90 segundos de recuperación entre cada serie. Más que en las evaluaciones pre y post-entrenamiento, el grupo C no participó en entrenamientos de la fuerza durante las 8 semanas que duró el estudio. El grupo RT exhibió un incremento en el volumen del muslo, la fuerza muscular y en el contenido de proteínas miofibrilares de los músculos esqueléticos luego de las 8 semanas de entrenamiento de la fuerza, mientras que el grupo C no exhibió cambios significativos. En el grupo RT los investigadores observaron incrementos significativos en el ARNm de la MCH Tipo I (42.50±8.32% hasta 49.51±9.77%) y Tipo IIa (37.28±7.89% hasta 42.81±6.95%) luego de las 8 semanas de entrenamiento. Sin embargo, hubo un reducción en el porcentaje de ARNm Tipo X (20.17±2.44% hasta 7.67±3.63%) en la musculatura de la pierna entrenada. El programa de entrenamiento de la fuerza de alta intensidad empleado en este estudio impuso grandes esfuerzos contráctiles a la musculatura de las piernas de los sujetos, acoplado con movimientos de baja velocidad. Estos investigadores creen que el entrenamiento de la fuerza de alta intensidad que requiere grandes esfuerzos contráctiles y movimientos de baja velocidad reduce la activación de fibras musculares Tipo IIb durante la realización del ejercicio, en comparación con la alta activación de fibras Tipo I y IIa. En base a estos resultados, estos investigadores creen que el principio de la especificidad del entrenamiento y la intensidad del entrenamiento de la fuerza (carga de trabajo) tienen una función importante en la expresión diferencial de los genes de las MCH Tipo I, IIa y IIx de las miofibrillas individuales.

Brooks (6) halló que el entrenamiento de alta intensidad y baja velocidad utilizando cargas isocinéticas, estaba asociado a incrementos en el glucógeno muscular, el fosfato de creatina (CP), el trifosfato de adenosina (ATP), el difosfato de adenosina (ADP), la fosforilasa, la fosfofructoquinasa (PFK) y en la actividad de las encimas del ciclo de Krebs. En contraste los levantamientos realizados con mayores velocidades no inducían las mismas adaptaciones fisiológicas, en comparación con los levantamientos más lentos.

Adams y cols. (1) evaluaron los efectos de 19 semanas de entrenamiento de la fuerza da alta intensidad sobre la composición de cadenas pesadas de miosina (MCH) en los músculos del muslo de 17 hombres saludables (edad=36±2 años; ht=178±1cm; wt=89±3kg). Ocho de los sujetos realizaron levantamientos concéntricos, cinco realizaron una combinación de levantamientos concéntricos y excéntricos, y cuatro sirvieron como controles. Los sujetos realizaron series de 6 a 12 repeticiones de prensa de piernas y de extensiones de rodillas hasta el agotamiento dos veces por semana. Los investigadores extrajeron biopsias musculares antes y después del entrenamiento del músculo vasto lateral derecho. Con el

propósito de simplificar el manejo de los datos crudos, los investigadores combinaron todos los resultados de los grupos que entrenaron. Después de 19 semanas de entrenamiento, los investigadores observaron que la composición de fibras MCH tipo IIb de los sujetos (n=13) descendió desde 19±4% hasta 7±1% y que el porcentaje de fibras musculares Tipo IIb también descendió desde 18±3% hasta 1±1%. En contraste, las fibras musculares Tipo IIa se incrementaron desde 47±3% hasta 60±2%. En el grupo control no se produjeron cambios significativos tanto en el porcentaje de MCH como en el porcentaje de fibras musculares. Los porcentajes de fibras musculares Tipo I y la composición de MCH Tipo I, en los grupos que entrenaron, no cambiaron luego del entrenamiento. Estos investigadores hallaron que el entrenamiento de la fuerza de alta intensidad realizado por los sujetos alteró significativamente tanto la composición de la MCH como la expresión genética del músculo esquelético. Y aún más importante, que las marcadas reducciones en los porcentajes de las fibras musculares Tipo IIb estaban acopladas a un incremento concomitante de las fibras musculares Tipo IIa.

Bishop y cols. (5) y Tesch (35), reportaron que el entrenamiento de la fuerza con altas repeticiones, utilizado comúnmente por los fisicoculturistas, puede incrementar el volumen del ventrículo izquierdo y aumentar el número de capilares por fibra muscular, en comparación con aquellos sujetos que realizan entrenamiento de pesas de estilo olímpico. El incremento en la densidad capilar en los músculos esqueléticos incrementaría el "tiempo de tránsito", mejorando el intercambio de gases y de nutrientes entre la sangre y las células musculares (Brooks, Fahey, White & Baldwin, 2000) (6). El alto volumen de entrenamiento de la fuerza también produciría un incremento en las reservas musculares de mioglobina y la actividad de las enzimas oxidativas.

Hickson y colaboradores (16) condujeron un estudio para determinar si el entrenamiento de la fuerza de alta intensidad podría incrementar la resistencia cardiovascular y la máxima capacidad aeróbica, y además si los valores obtenidos por los sujetos durante el ejercicio máximo en cinta o en ciclo ergómetro correlacionaban con el aumento de la fuerza. Estos investigadores reclutaron a nueve hombres de entre 18 y 27 años de edad (promedio=23 años) para participar en 10 semanas de un programa de alta intensidad para el fortalecimiento de las piernas, llevado a cabo 5 veces por semana. El programa de entrenamiento fue diseñado para incrementar la fuerza del cuadriceps y para determinar si el entrenamiento de la fuerza de alta intensidad podría incrementar la resistencia cardiovascular y el VO_2 máx. Los investigadores también determinaron si las diferencias observadas en los valores del VO_2 máx. durante el ejercicio en ciclo ergómetro y en la cinta rodante en los mismos sujetos correlacionaba con el incremento en la fuerza de las piernas. Los sujetos reclutados para este estudio no habían entrenado en los seis meses previos al estudio, y la mayoría fueron considerados como atletas recreacionales (i.e., fútbol, basquetbol, etc.). Tres veces por semana, los sujetos realizaron sentadilla (5 series de 5 repeticiones), extensiones de rodilla (3 series de 5 repeticiones), y flexiones de rodilla (3 series de 5 repeticiones). Los otros dos días de entrenamiento los sujetos realizaron los ejercicios de prensa de piernas (3 series de 5 repeticiones) y elevaciones de pantorrillas (3 series de 20 repeticiones). Los sujetos se recuperaron durante 3 minutos entre cada serie a la vez que un instructor calificado supervisaba todas las sesiones de entrenamiento. Todos los ejercicios para el fortalecimiento de las piernas fueron realizados con el peso máximo que pudiera ser levantado. El peso inicial para los ejercicios fue establecido al 80 por ciento de una repetición máxima. A medida que el nivel de fuerza de los sujetos se incrementaba, también se incrementó la carga para mantener la misma carga relativa requerida para realizar el número de repeticiones establecido. Luego del entrenamiento, los sujetos incrementaron significativamente el tiempo hasta el agotamiento en ciclo ergómetro (47%) y en la cinta rodante (12%) durante el ejercicio al 100 por ciento del VO_2 máx. pre-entrenamiento. Después del entrenamiento se observó un pequeño incremento en el VO_2 máx. (4% $p<0.05$) durante el ejercicio en ciclo ergómetro (3.40 l/min hasta 3.54l/min). Sin embargo, no hubo cambios significativos en el VO_2 máx. luego de expresar los valores en términos relativos (ml/kg/min). Las altas cargas empleadas en este programa de entrenamiento de la fuerza para las piernas no tuvieron efectos sobre el VO_2 máx. cuando los sujetos se ejercitaron en la cinta y las diferencias absolutas entre las dos modalidades de ejercicio fueron las mismas antes y después del entrenamiento. Las concentraciones de lactato sanguíneo en el ciclo ergómetro (pre: 11.2mmol/L; post: 10.0mmol/L) y en cinta (pre: 9.3mmol/L; post: 10.3mmol/L) no fueron significativamente diferentes luego del entrenamiento.

El programa intensivo para el fortalecimiento de las piernas incorporado en el estudio de Hickson (17) incrementó significativamente la fuerza de las piernas en los tres tests de fuerza máxima, los cuales incluyeron sentadilla, flexiones de rodilla y extensiones de rodillas. Luego de tres semanas de entrenamiento de la fuerza, la fuerza media en sentadilla se incrementó en un 19 por ciento, un 27 por ciento luego de 6 semanas, y un 38 por ciento luego de 10 semanas. La fuerza en la flexión de rodillas también se incremento en un 42 por ciento y la fuerza en la extensión de rodillas se incrementó en un 50 por ciento. Estos investigadores sugirieron que los incrementos en la fuerza muscular y/o en el tamaño muscular están positivamente asociados con el incremento en la capacidad de resistencia, pero no con los incrementos en el VO_2 máx. Además, el incremento en el tiempo hasta el agotamiento durante el ejercicio en ciclo ergómetro fue cuatro veces mayor en comparación con el tiempo hasta el agotamiento durante el ejercicio en cinta rodante. Estos investigadores indicaron que con el propósito de determinar la capacidad de resistencia, debido al entrenamiento de la fuerza de alta intensidad, los músculos que están directamente involucrados en la rutina de entrenamiento deben ser también los grupos musculares principales involucrados en la actividad de la evaluación después del entrenamiento.

Los sujetos que participaron en este estudio (16) se recuperaron por más tiempo (3 minutos) entre las series de ejercicios

de sobrecarga y realizaron un número restringido de repeticiones (5 repeticiones) por cada ejercicio. En contaste, O'Hara y cols. (25) reclutaron un pequeño grupo (n=14) de hombres previamente entrenados que mostraron incrementos significativos en la capacidad aeróbica estimada cuando fueron evaluados en ciclo ergómetro, luego de 6 y 12 semanas de entrenamiento. Cada sujeto realizó un alto número de repeticiones (12 a 16) hasta el agotamiento y se recuperaron durante un período de 1 a 2 minutos entre cada serie.

Schalub y colaboradores hipotetizaron que los mecanismos fisiológicos que explican los incrementos en el VO_2 máx. y en la resistencia aeróbica podrían ser atribuidos a los incrementos en las concentraciones de ATP y CP en reposo y a la mejora de la capacidad enzimática para resintetizar las fuentes de energía. La respuesta neuromuscular al entrenamiento crónico de la fuerza y las posteriores alteraciones en los patrones de reclutamiento de unidades motoras pueden ser otra explicación causal de la mejora en la capacidad de resistencia aeróbica de los sujetos.

Hurley y cols. (18), evaluaron los efectos de 16 semanas de entrenamiento de la fuerza en máquinas Nautilus sobre el VO_2 máx. y las respuestas hemodinámicas al ejercicio físico en cinta. También se midieron las respuestas del VO_2 y la frecuencia cardíaca de los participantes durante una sesión de entrenamiento de la fuerza, con el propósito de establecer los efectos fisiológicos agudos debidos al entrenamiento. Dos grupos (entrenamiento [T] y control [C]) de hombres saludables desentrenados (edad media=44 ±1 años; rango de edad=40-55 años) realizaron 1 serie de 8-12 repeticiones en 14 ejercicios de sobrecarga. Los ejercicios fueron, extensiones de cadera y espalda, extensiones de rodillas, prensa de piernas, curl de bíceps, flexiones de rodilla, press inclinado, tirones de polea tras nuca, tríceps y bíceps. El grupo control estuvo compuesto por 10 hombres saludables desentrenados (edad media=52±2 años; rango de edad = 40-64 años). En ambos grupos se evaluaron el VO_2 máx., el gasto cardiaca durante ejercicio submáximo en cinta y la composición corporal, tanto antes como después de las 16 semanas de entrenamiento. Estos investigadores hallaron que el VO_2 máx. y las respuestas hemodinámicas al ejercicio submáximo, el porcentaje de grasa corporal y el peso corporal se mantuvieron sin cambios en ambos grupos. Sin embargo, la masa magra se incrementó significativamente (66.9±2.6kg vs. 68.8±2.7kg; $p<0.05$). Aunque estos investigadores mostraron que el entrenamiento de la fuerza no mejora el VO_2 máx., el programa consistió de solamente una serie por ejercicio. Estos investigadores además excluyeron el entrenamiento de alta intensidad para la musculatura de las piernas y no incorporaron un programa de entrenamiento aeróbico. Hurley y colaboradores (18) también atribuyeron la falta de mejora en el VO_2 máx. a la relativamente baja intensidad de entrenamiento (45% del VO_2 máx.) en conjunto con la realización de una sola serie por ejercicio en la parte de entrenamiento de la fuerza.

Izquierdo y cols. (19) examinaron los efectos de un programa de entrenamiento de la fuerza de 16 semanas sobre las concentraciones hormonales, el área de sección transversal del cuadriceps, la fuerza máxima en media sentadilla, y la máxima carga de trabajo alcanzada durante ciclismo progresivo y la acumulación de lactato en sangre. Once hombres de mediana edad (Grupo 1, edad media=46 años) y 11 hombres ancianos (Grupo 2, edad media=64 años) participaron en este estudio. Ambos grupos participaron en un entrenamiento de la fuerza supervisado dos veces por semana, realizando dos ejercicios para los músculos extensores de las piernas (prensa bilateral de piernas y extensiones de rodilla). Los grupos además realizaron ejercicios adicionales como press de banca y cuatro a cinco ejercicios para los grupos musculares principales, tales como press de pecho, tirones en polea y/o press de hombros para el tren superior, abdominales y/o rotaciones de torso, y flexiones de rodilla en posición de pie y/o ejercicios para aductores y abductores. Luego de las primeras ocho semanas de entrenamiento, no se observaron cambios significativos en ninguno de los parámetros fisiológicos que incluyeron, concentraciones séricas hormonales, área de sección transversal del cuadriceps femoral, fuerza máxima en sentadilla, máxima carga alcanzada durante ciclismo progresivo y acumulación de lactato sanguíneo durante el ciclismo. Sin embargo, los investigadores observaron que el programa de entrenamiento de la fuerza provoco incrementos en la resistencia aeróbica máxima y submáxima durante el ejercicio en ciclo ergómetro luego de las primeras ocho semanas de entrenamiento.

RESULTADOS

Esta revisión fue escrita para responder las siguientes preguntas: ¿Cuándo se lo mide en ciclo ergómetro, cinta rodante o ambos; puede el entrenamiento de la fuerza de alta intensidad junto con la disminución del volumen de carga aeróbica incrementar el VO_2 máximo, o el VO_2 estimado, o ambos?.

Si es así, ¿Cuáles son los mecanismos periféricos responsables del aumento en la capacidad oxidativa?.

Muchos de los estudios revisados intentaron discernir la influencia del entrenamiento de la fuerza en la alteración de la estructura y función de los músculos esqueléticos. Además, los estudios estuvieron diseñados para identificar si una rutina de entrenamiento de la fuerza con altas cargas junto con la reducción del volumen de la carga aeróbica podrían aumentar la capacidad aeróbica. La Tabla 1 resume los 20 estudios y provee los resultados que se obtuvieron incluyendo el protocolo

de entrenamiento empleado, el sexo, las edades de los sujetos y los resultados sobre la máxima capacidad aeróbica. Luego de una examinación cuidadosa de la literatura los autores descubrieron que las cargas de entrenamiento de alta intensidad que implican movimientos de baja velocidad, lo cual provoca que el sujeto llegue al agotamiento, pueden reducir la activación de las fibras musculares Tipo IIb (glucolíticas) en el músculo vasto lateral e incrementar el número de capilares y la actividad de la citrato sintetasa (CS) (13). Por ejemplo Wang, Hikida, Staron y Simoneau (37) observaron que el entrenamiento de la fuerza de alta intensidad provoca un reclutamiento de unidades motoras no utilizadas cuando se realizan actividades de la vida diaria, tales como las unidades motoras Tipo IIb. En contraste cuando uno participa en un entrenamiento crónico de la fuerza, las fibras musculares Tipo IIb son reclutadas y pueden desactivar los genes de las cadenas pesadas de miosina (MCH) tipo IIb y activar los genes de la MCH tipo IIa.

SN	Estudio	N; Sexo	Edad	Entrenamiento	Protocolo para evaluar el VO_2máx.	Pre VO_2máx. ml.kg^{-1}.min^{-1}	Post VO_2máx. ml.kg^{-1}.min^{-1}	Efecto (valor de p) $p \leq 0.05$	Control Si/no
1	Frontera, Meredith, O'Reilly, and Evan, 1990.	12 M	60-72	Entrada en calor 10 min, 3 veces/semana, 12 semanas	Muslo rodilla m/c	26.9±0.8	28.3±1.1	P>0.05	No
2-3*	Hickson, Rosenkoetter, and Brown MM, 1980.	9 M	18-27	Entrenamiento, 5 días/semana 10 semanas	*2Bicicleta 3Cinta	44.0±2.3 47.8±1.5	44.6±2.4 48.8±2.0	P>0.05 P>0.05	No No
4 -5*	Hickson RC, Dvorak BA, Gorostiaga EM, Kurowski TT and Foster C, 1988.	6 M 2 F	29-39	Entrenamiento de Pesas 3 días/semana 10 semanas	*4 Bicicleta 5Cinta	54.4±1.8 60.2±2.2	54.8±1.7 60.0±2.0	P>0.05 P>0.05	No Si
6-7*	Hepple RT, Mackinnon SLM, Goodman JM, Thomas, and Plyley MJ, 1997.	20 M	65-74	RT- 9 semanas, AT-18 semanas 30 min 3 días/semana 18 semanas	Bicicleta *6 6RT 7 AT	27.7±1.4 25.3±1.3	30.1±1.2 31.0±1.1	P>0.05 P<0.01	Si Si
8-10*	Mccarthy, Agre, Graf, Pozniak and Vailas, 1995.	30 M	25-29	50 min cada entrenamiento 3 días/semana, 10 semanas	Cinta *8 Fuerza 9 Resistencia 10 Combinado	39.3 ±2.1 41.4 ±2.6 39.3 ±2.4	42.9 ±1.9 48.7 ±2.6 45.5 ±1.8	P<0.016 P<0.016 P<0.016	Si Si Si
11-12*	Hurley, Seals, Ehsani, Cartier, Dalsky, et. al, 1980.	13 M	40-55	Entrenamiento, 16 semanas	Cinta Grupos Entrenam Grupo Control	36.1±1.4 30.1±1.8	37.8 ±1.3 31.4 ±2.1	P > 0.05 P > 0.05	No No
13-14*	Coggan, Spina, King, Rogers, et. al, 1992.	17 M 13 F	60-70	45 min/día, 4 días /semanas, 12 meses	Cinta *13 Hombres 14 Mujeres	27.0±2.7 22.3±2.8	34.8 ±4.0 28.2 ±2.7	P<0.001 P<0.001	Si Si
15	Bell, Petersen, Wessel, et. al, 1991.	16 M 15 F	20-29	45min 3días/semana 12 semanas	Ergómetro	51.7±5.1	55.7 ±4.8	P< 0.05	Si
16-17*	Marciuk, Potts, Schlabach, Will, et. al, 1991.	18 M	25-35	entrenamiento, 4- min hasta el agotamiento	Cinta *16Grupo Entren. 17Grupo Control	38.8±7.0 39.7 ±2.7	39.7 ±7.8 39.7±4.2	P>0.001 P>0.001	Si Si
18-20*	Kraemer, Patton, Gordon, Harman, et. al., 1995.	35 M	17-29	Entrenamiento S, E, C, 3 días/semana 12 semanas	Cinta *18 Fuerza 19Resistencia 20Combinado	53.47±4.95 52.45±5.95 58.88±5.95	53.02±4.34 58.65±6.87 63.41±8.02	P> 0.05 P<0.05 P<0.05	Si Si Si

Tabla 2. *Resultados de los diferentes estudios. SN=Número serial del estudio.*

La Figura 1 muestra el porcentaje de cambio en la máxima capacidad aeróbica en base a la modalidad de evaluación empleada por los investigadores luego de que los participantes realizaran un programa de entrenamiento de la fuerza, un programa de entrenamiento aeróbico o un programa combinado de entrenamiento de la fuerza y aeróbico.

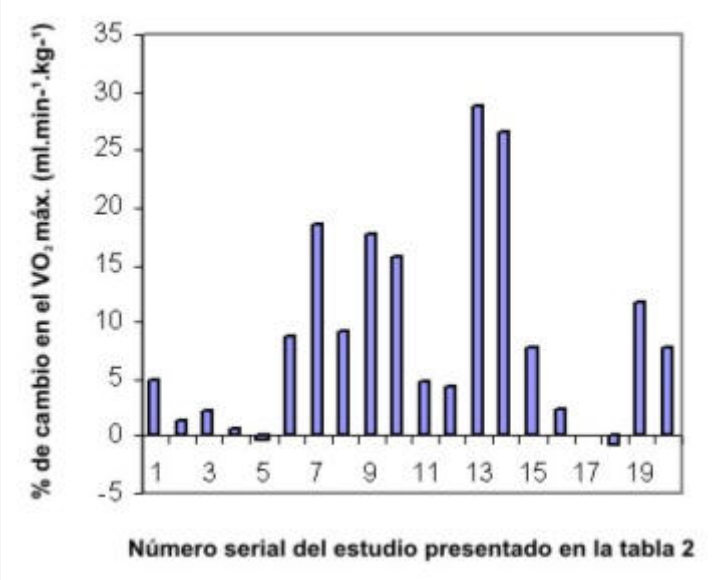


Figura 1. *Porcentaje de cambio en el VO_2 máx. con la realización de los diferentes tipos de ejercicio.*

En ciertas actividades físicas el incremento en el nivel de aptitud aeróbica puede ser atribuido a cambios periféricos (piernas y muslos) versus los cambios centrales (miocardio). Los cambios periféricos pueden también estar relacionados con las adaptaciones neuromusculares, resultando esto en la mejora en los patrones de reclutamiento muscular. Por ejemplo, la capacidad de un sujeto para reclutar fibras musculares tipo IIa cuando realiza ciclismo a altas tasas de trabajo, puede contribuir al aumento en el tiempo hasta el agotamiento, pero a incrementos mínimos en el VO_2 pico. Los efectos acumulativos del entrenamiento de la fuerza también parecen ser importantes en la conversión de fibras desde el Tipo IIb al Tipo IIa y en la mejora de la activación de unidades motoras ubicadas en la musculatura entrenada. Un sistema de ciclos de puentes cruzados más económicos puede también contribuir a mejorar el rendimiento en resistencia debido a que las proteínas de los puentes cruzados realizan un ciclo más rápido permitiéndole al sujeto generar y sostener un determinado nivel de fuerza (6). La capacidad para mantener el nivel de contracciones musculares concéntricas puede tener un rol importante en la amplificación del rendimiento en resistencia, especialmente en actividades tales como carreras en pendiente o ciclismo de alta intensidad.

El incremento en la actividad de la CS puede también estar asociado con el entrenamiento intensivo de la fuerza, el cual puede resultar en adaptaciones locales de la musculatura entrenada (7, 13, 20, 32). Frontera y colaboradores (13) observaron una correlación positiva entre la actividad de la CS en el vasto lateral y el VO_2 máx. de la pierna, luego de combinar los datos pre y post-entrenamiento ($r=0.56$, $p=0.04$). La capacidad de un sujeto para mejorar el VO_2 máx. en el ciclo ergómetro podría estar asociada con el incremento en los capilares por fibra muscular, facilitando una mayor utilización de oxígeno. La capacidad del muslo entrenado para maximizar la oxidación de grasas y ahorrar glucógeno muscular, debido al incremento en la actividad de las enzimas lipolíticas, puede también aumentar el tiempo hasta el agotamiento.

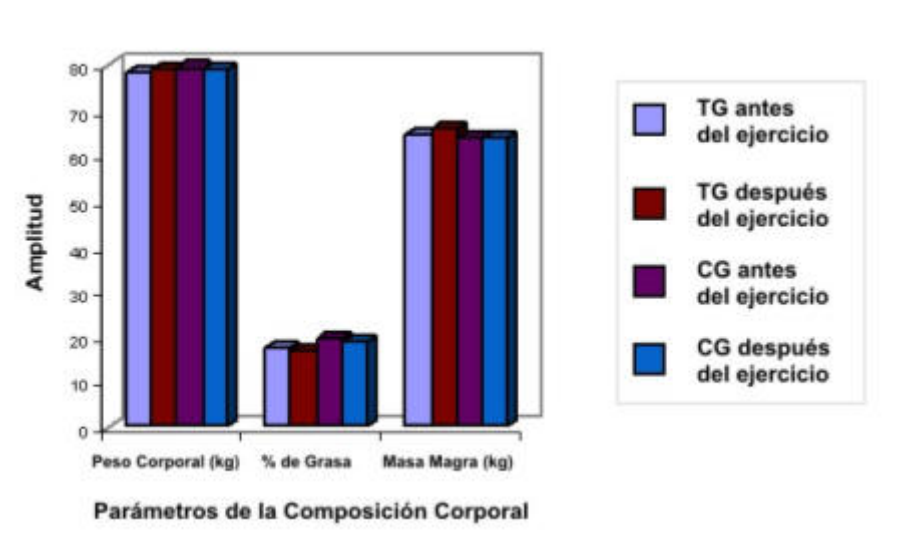


Figura 2. *Resultados del estudio de Marcinik y cols., 1991.*

Marcinik y cols. (23) reportaron que la realización de un programa de entrenamiento de la fuerza de alta intensidad no produjo cambios estadísticamente significativos en el peso corporal (BW), el porcentaje de grasa corporal (BF%) o en la masa magra (FFW), luego de 12 semanas de entrenamiento, como se muestra en la Figura 2. La rutina de entrenamiento de los participantes incluyó extensiones de rodilla, flexiones de rodilla, sentadilla, abdominales con piernas flexionadas, press de banca, flexiones de caderas, tirones en polea, y curl de bíceps, con 30 segundos de recuperación entre los ejercicios. Uno podría suponer que el programa de entrenamiento de la fuerza, el cual requirió que los sujetos completaran tres circuitos de diferentes ejercicios tres veces por semana, pudo incrementar la FFW y ayudar a reducir el porcentaje de grasa corporal y por lo tanto incrementar la capacidad aeróbica de los participantes. Sin embargo, en este estudio el tiempo hasta el agotamiento durante el ejercicio en ciclo ergómetro se incrementó significativamente (pre=26.3±5.2min; post=35.1±6.8min) y correlacionó positivamente con el incremento en el torque pico y con la fuerza de las piernas en 1RM. Los hallazgos de Marcinik y cols. coinciden con los hallazgos de Hickson y cols. (16), quienes hipotetizaron que la mejora en el tiempo hasta el agotamiento durante el ejercicio en ciclo ergómetro podría estar altamente influenciado por la fuerza de las piernas, posiblemente debido a una mejora en el reclutamiento de fibras musculares de contracción lenta y a una reducción en el reclutamiento de fibras musculares de contracción rápida en el cuadriceps entrenado.

DISCUSION

El propósito de esta revisión fue integrar una variedad de artículos que se enfocan en los efectos de la mejora de la fuerza de los cuadriceps sobre el máximo consumo de oxígeno o la capacidad oxidativa estimada y la capacidad de resistencia o ambos, medidos en ciclo ergómetro o en cinta. Varios investigadores (7, 13, 16, 17) observaron que un alto volumen junto con un incremento en la carga del entrenamiento de la fuerza pueden mejorar mínimamente el VO_2 máx., pero mejorar significativamente el rendimiento de resistencia durante el ciclismo o la carrera y el tiempo hasta el agotamiento durante el ciclismo. Sin embargo, no pudimos hallar ningún artículo que explicara si la capacidad aeróbica estimada con la realización de ejercicio en ciclo ergómetro o en cinta se refleja en evaluaciones más precisas, las cuales utilizan espirometría para medir el VO_2 máx. Pudimos encontrar el resumen de un artículo publicado (31), en donde los investigadores examinaron los efectos de la reducción de la carga de entrenamiento aeróbico y el entrenamiento de la fuerza de alta intensidad sobre la capacidad aeróbica estimada. Los investigadores (31) que realizaron este estudio tenían un cohorte relativamente pequeño de hombres entrenados (n=14) y no realizaron ninguna evaluación pre y post-entrenamiento para determinar cambios en la fuerza absoluta de las piernas, y tampoco realizaron mediciones del VO_2 máx. para hacer comparaciones entre el nivel de aptitud física máximo y estimado de los sujetos.

Sería prudente la valoración de la fuerza y el área de sección transversal del cuadriceps cuando se determina el rendimiento en ciclo ergómetro. De hecho, los músculos vasto medial y vasto lateral que comprenden el cuadriceps, son los músculos más activados durante el ciclismo. El promedio de activación pico del vasto medial es del 54 por ciento y el del cuadriceps femoral es del 50 por ciento. Además, el incremento en la tasa de trabajo durante el ejercicio en ciclo

ergómetro aumenta drásticamente la activación promedio de los músculos del cuadriceps (35). De este modo, recomendar que un sujeto participe en un régimen concentrado de entrenamiento de la fuerza para el cuadriceps podría ser apropiado para incrementar el VO_2 pico cuando se lo mide en bicicleta ergométrica. El incremento en la fuerza de la musculatura del muslo y de la pierna puede ser un constituyente de la mejora en el rendimiento en ciclismo, de acuerdo con un estudio realizado por Bijker, de Groot, y Hollander (4). Estos investigadores evaluaron las diferencias de la actividad muscular de la pierna durante la carrera y el ciclismo y si existían diferencias en la eficiencia de la actividad delta entre los dos modos de ejercicio. Once sujetos saludables (7 hombres y 4 mujeres) (edad media 23.7±4 años, talla=1.79±0.10m; peso=69.3±7.9kg) participaron en este estudio. Los investigadores utilizaron electromiografía (EMG) para determinar la actividad muscular de forma no invasiva. La EMG se utiliza durante el ejercicio para medir los incrementos y reducciones en la fuerza muscular. Existen claras relaciones entre el EMG promedio, el ejercicio concéntrico y el gasto energético. Por lo tanto, la actividad EMG media puede ser un método preciso para determinar posibles diferencias en la actividad de los músculos de las piernas durante el ciclismo y la carrera. Se colocaron electrodos superficiales en tres músculos de la pierna (gastronecmio [cabeza lateral], vasto lateral y bíceps femoral) con una distancia interelectrodo de al menos dos centímetros. Los investigadores observaron que durante la carrera, los músculos vasto lateral y bíceps femoral no mostraron relación alguna entre la actividad EMG promedio y el incremento de la producción externa de potencia mecánica. El costo metabólico de las contracciones musculares concéntricas fue mucho mayor que el de las acciones musculares excéntricas. Los resultados de este estudio respaldan la idea de que las acciones musculares concéntricas son mucho más predominantes durante el ciclismo en comparación con la carrera. En la carrera, solamente el coeficiente de correlación para el músculo gastronecmio fue diferente de cero. La eficiencia promedio durante la carrera fue del 42 por ciento, lo cual fue significativamente mayor que en el ciclismo donde la eficiencia promedio fue del 25 por ciento.

La mayor eficiencia durante la carrera se relaciona a las acciones musculares. Por ejemplo durante la carrera en pendientes poco inclinadas, predominan las acciones musculares excéntricas. Sin embargo, cuando se corre en pendientes mucho más inclinadas, las que predominan son las acciones musculares concéntricas. La mayor eficiencia durante la carrera se relaciona al estiramiento activo inducido durante el contacto de pie en el piso, lo cual permite la acumulación de energía elástica que puede ser reutilizada durante la fase de empuje (concéntrica) de la carrera. En contraste cuando se intenta correr por una superficie muy inclinada, el trabajo producido por la musculatura de la pierna para vencer la fuerza externa (inclinación) se disipa y la energía elástica acumulada en los músculos activos se pierde. Durante el ciclismo las acciones musculares son principalmente concéntricas y no varían (4).

Bishop y cols. (5) evaluaron los efectos de 12 semanas de entrenamiento de la fuerza sobre el rendimiento aeróbico en un grupo de ciclistas entrenados de entre 18 y 42 años de edad. Los 21 ciclistas fueron asignados aleatoriamente a un grupo que entrenó la fuerza (RT; n=14) o a un grupo control (C; n=7). El grupo RT realizó tres series de sentadilla (serie 1: 15 repeticiones al 50% de 1RM; serie 2: 8 repeticiones al 70% de 1RM; serie 3: 5 repeticiones al 80% de 1RM) hasta el fallo, dos veces por semana. Entre cada serie de ejercicios la pausa fue de 3 minutos. Los investigadores reportaron que las 12 semanas de entrenamiento de la fuerza de alta intensidad y bajas repeticiones incrementaron considerablemente la fuerza en sentadilla en un 35.9% en el grupo RT y 3.7% en el grupo C. La mejora en la fuerza en sentadilla luego de 6 semanas fue también mayor en el grupo RT que en el grupo C. En ninguno de los grupos se hallaron cambios significativos en el VO_2 pico (ml/kg O_2/min y L/kg O_2/min), el umbral de lactato y en los tipos de fibras musculares (i.e., cambios en el diámetro de las fibras musculares tipo I o II). Estos investigadores sugirieron que el volumen total de entrenamiento de la fuerza y no necesariamente la mejora en la fuerza de las piernas, es más importante para incrementar el tiempo hasta el agotamiento durante el ciclismo y para alterar las características de las fibras musculares. En base a estos hallazgos los autores sugirieron que la mejora no significativa en el VO_2 pico podría deberse a la falta de especificidad en los movimientos debido que el programa estuvo restringido a un solo ejercicio (sentadilla). El incremento en la fuerza de piernas en la sentadilla se debió a la realización de un solo ejercicio para el entrenamiento de la fuerza de las piernas y por lo tanto no se transfirió al rendimiento de resistencia en el ciclismo.

A diferencia de Bishop y cols., Hickson y cols. (5,17) observaron incrementos significativos en la fuerza de piernas (1RM), en el tiempo hasta el agotamiento durante el ciclismo, y un pequeño incremento en el VO_2 máx. luego de completar 10 semanas de entrenamiento de la fuerza de alta intensidad y bajo volumen. Sin embargo, a diferencia de Bishop y cols. (5) Hickson y cols. (17) incluyeron múltiples ejercicios para el entrenamiento de las piernas. Por ejemplo, los sujetos del estudio de Hickson (16) tuvieron que completar tres series de cinco repeticiones de extensiones de rodilla, prensa de piernas, sentadilla y elevaciones de pantorrilla con la mayor cantidad de peso que fuera posible.

Hickson y cols. (16), también observaron que el entrenamiento de la fuerza de alta intensidad para la musculatura de la pierna ayudo a incrementar la resistencia aeróbica de corta duración (4 a 8 minutos) durante el ciclismo e incremento el tiempo hasta el agotamiento durante el ciclismo al 80 por ciento del VO_2 máx. desde 71 a 85 minutos. Los sujetos que participaron en este estudio realizaron cinco series de cinco repeticiones en los ejercicios de extensiones de rodilla, sentadilla, flexiones de rodilla y elevaciones del pantorrilla. La incorporación de ejercicios para las piernas con movimientos multiarticulares pudo haber transferido la fuerza al rendimiento en el ciclismo. De hecho, estos investigadores (16) observaron que los ocho sujetos mejoraron su capacidad para pedalear o correr hasta el agotamiento

luego de las 10 semanas de entrenamiento concentrado de las piernas.

Sale (26) escribió una revisión acerca de los efectos del entrenamiento de al fuerza sobre las adaptaciones neurales. Sale reportó que el entrenamiento de la fuerza puede aumentar los cambios en el sistema nervioso, lo cual le permite una mayor activación de los músculos agonistas principales reclutados para un patrón de movimiento específico. Los músculos agonistas principales son también capaces de activar los músculos los músculos sinergistas y antagonistas, produciendo por lo tanto una mayor fuerza neta en la dirección del movimiento. El entrenamiento de la fuerza mejora la función del sistema nervioso para activar completamente un grupo muscular en particular, para generar una cantidad de fuerza dada. La capacidad de un sujeto para activar una gran área de sección transversal de un músculo podría ser una adaptación importante en la mejora del rendimiento durante una cicloergometría submáxima y máxima. En base a varios estudios electromiográficos (EMG), Sale (26) también reportó que el rol relativo de la variación en las tasas de disparo de las unidades motoras y del reclutamiento de fibras musculares pueden afectar la facilidad con la que un grupo muscular puede ser activado completamente. Por ejemplo, cuando se comparan los músculos pequeños de la mano con los grandes músculos de las piernas (soleo, tibial anterior y el extensor corto de los dedos), los sujetos desentrenados no experimentan dificultades para reclutar todas las unidades motoras de la mano con solo el 50 por ciento de la contracción voluntaria máxima (MVC). En contraste los sujetos no entrenados en fuerza tendrán dificultades, tanto para reclutar como para mantener tasas óptimas de disparo en las unidades motoras de alto umbral de ciertos músculos de las piernas (soleo, tibial anterior y extensor largo de los dedos). Además, los sujetos no entrenados en fuerza pueden también experimentar problemas para mantener la activación de las unidades motoras de alto umbral durante una MVC sostenida. El cambio en las tasas de disparo de las unidades motoras, puede también permitir que las unidades motoras de alto umbral se disparen continuamente por mayores períodos de tiempo antes de disparar intermitentemente o cesar la actividad.

Hagerman (14) evaluó los efectos de 16 semanas de entrenamiento de la fuerza de alta intensidad (85-90% de 1RM) para las piernas sobre el VO_2 pico, la densidad capilar, la fuerza de piernas en 1RM y los lípidos sanguíneos. Dos grupos de ancianos físicamente activos participaron dos veces por semana en un programa de entrenamiento de la fuerza. Tanto el grupo que entrenó la fuerza (RT) (n=12; edad=63.7±5.0 años) como el grupo no entrenado (UT) (n=10; edad=66.2±6.5 años) presentaban algún tipo de anormalidad cardiovascular. Un médico examino este grupo de sujetos y los definió como aptos para participar en un programa de entrenamiento de la fuerza de alta intensidad. Aunque los sujetos eran físicamente activos, ninguno había participado en un programa de entrenamiento de la fuerza. Las personas ancianas que participan en un programa de entrenamiento de la fuerza pueden no solo tolerar cargas equivalentes de trabajo en comparación con sujetos jóvenes, sino que también exhiben cambios musculares comparables a los de los sujetos jóvenes. El grupo RT en este estudio realizó una entrada en calor seguida por una serie de 10 repeticiones al 50 por ciento de 1RM. Luego de la entrada en calor se realizaron tres series de 6 a 8 repeticiones al 85-90 por ciento de 1RM en los siguientes ejercicios: media sentadilla, prensa de piernas, y extensiones de rodillas. Entre cada serie se realizó una pausa de dos minutos. El programa de entrenamiento de la fuerza de 16 semanas incrementó significativamente el porcentaje de fibras musculares Tipo II, la fuerza en 1RM se incrementó desde el pre hasta el post-entrenamiento en el ejercicio de extensiones de rodillas (50.5%), en la media sentadilla (83.5%) y en la prensa de piernas (72.3%). La densidad capilar se mantuvo sin cambios, y tanto el VO_2 pico como la capacidad de trabajo mejoraron significativamente en el grupo RT. Sin embargo, la masa y el volumen cardíaco de los sujetos se mantuvieron sin cambios, tanto en el grupo RT como en el grupo UT. Estos resultados parecen sugerir que este grupo de hombres entrenados en fuerza no tuvo ninguna adaptación central remarcable, pero si bastantes adaptaciones periféricas en la musculatura de la pierna. Luego del entrenamiento de la fuerza se observó un incremento en el número de capilares por fibra muscular, pero el 19% de incremento en la capilarización, en el grupo RT, no fue significativo. En base a estos hallazgos, los autores sugirieron que el programa de entrenamiento de la fuerza de alta intensidad actúa como un estimulo aeróbico, el cual contribuyó a la mejora en el VO_2 pico en el grupo RT compuesto por ancianos físicamente activos. Este resultado coincide con los reportados por varios otros investigadores (5, 7, 15), quienes mostraron resultados comparables en sujetos de edad similar luego de haber participado en un programa de entrenamiento de la fuerza de alta intensidad para las piernas.

CONCLUSIONES

Nuestra revisión indica que la medición del VO_2 máx., el tiempo hasta el agotamiento y el tipo de programa de actividad física empleado puede influenciar la capacidad de resistencia durante el ejercicio en bicicleta ergométrica, en cinta rodante o en ambos. Por ejemplo, el entrenamiento de la fuerza de muy alta intensidad (80% de 1RM) puede inducir cambios en las isoformas de las cadenas de miosina pesada (MHC) desde el tipo IIb (glucolíticas) al tipo IIa (glucolíticas-oxidativas) en la pierna entrenada. Sin embargo, el mecanismo fisiológico preciso atribuido a este incremento en la capacidad aeróbica, aun no tiene respuesta en la literatura.

Cuando el VO_2 máx. es estimado utilizando bicicleta ergómetrica, las adaptaciones periféricas pueden impactar favorablemente la estimación del nivel de aptitud aeróbica. Estas adaptaciones periféricas pueden atribuirse al entrenamiento de la fuerza de alta intensidad y alto volumen (3 series de 12 a 16 repeticiones realizadas hasta el agotamiento) y a la reducción del volumen de carga aeróbica. Un grupo de investigadores (31) reportó que el aumento en la comodidad durante el ciclismo (resultado del incremento en la fuerza de las piernas) podría reducir la respuesta de la frecuencia cardíaca durante la evaluación submáxima en bicicleta ergométrica. Los mismos investigadores afirmaron que los mecanismos responsables de este cambio pueden estar asociados con el área de sección transversal de la musculatura entrenada. Si se incrementa el tejido muscular oxidativo y no oxidativo, incluso en el mismo porcentaje de la masa muscular original, entonces cualquier tasa de trabajo representará un menor porcentaje de la capacidad máxima del músculo para completar, tanto el trabajo aeróbico como el anaeróbico. Por lo tanto, la carga de trabajo se percibirá como menos estresante, provocando en consecuencia una reducción en la frecuencia cardíaca y permitiéndole al sujeto ejercitares durante un período más prolongado sin fatigarse. Sin embargo, estos investigadores (31) no realizaron una evaluación de la fuerza máxima de las piernas para respaldar su hipótesis propuesta (31). No obstante, este fue el único estudio que identificamos que intentó determinar los efectos de la reducción de la carga aeróbica y del incremento de la carga en el entrenamiento de la fuerza sobre el VO_2 máx. estimado en bicicleta ergométrica.

La estimación del VO_2 máx. en cinta rodante o bicicleta ergométrica o en ambos ¿Será afectada por el entrenamiento de la fuerza de alta intensidad para las piernas y la reducción de la carga aeróbica? Esta pregunta sigue sin hallar respuesta en la literatura. La mayoría de los estudios que encontramos solo examinaron si y como el entrenamiento de la fuerza de alta intensidad y alto volumen afectaba el VO_2 máx., el tiempo hasta el agotamiento y la resistencia aeróbica. Nosotros suponemos, en base a nuestra extensiva búsqueda en el literatura, que se requiere de investigaciones adicionales para determinar si la estimación de la capacidad aeróbica en bicicleta ergométrica, cinta o en ambos, se refleja con evaluaciones más precisas (espirometría indirecta) para medir el VO_2 máx. En el futuro lo investigadores deberían también enfocar sus esfuerzos en determinar los efectos de diversos protocolos de entrenamiento físico sobre los test máximos y submáximos para la estimación del VO_2 máx., que son administrados en ciclo ergómetro o en cinta. Aunque el entrenamiento aeróbico debería, teóricamente, aumentar la capacidad aeróbica de los sujetos, ciertos sujetos podrían beneficiarse de realizar un entrenamiento de la fuerza de alta intensidad y reducir la carga aeróbica.

Una pregunta adicional que debería ser tenida en cuenta en futuros estudios, se relaciona con los test para la estimación de la capacidad aeróbica. ¿Podría el entrenamiento de la fuerza de alta intensidad y de alto volumen incrementar la capacidad aeróbica estimada, cuando la estimación se realiza en un ciclo ergómetro? Si es así, ¿Podría el valor del VO_2 máx. obtenido en el ciclo ergómetro ser influenciado de la misma manera que el valor estimado?; ¿Los tests estimativos y los tests máximos, o ambos, miden las adaptaciones centrales o las adaptaciones periféricas en la masa muscular entrenada?. Estos investigadores hipotetizaron que ciertos protocolos de entrenamiento físico con énfasis en el entrenamiento de la fuerza de alta intensidad y la reducción de la carga aeróbica, pueden ejercer una fuerte influencia sobre las respuestas de la frecuencia cardíaca durante ejercicios submáximos en ciertos tipos de evaluaciones (i.e., protocolos en ciclo ergómetro o en cinta con inclinación). La menor frecuencia cardíaca a cargas conocidas de trabajo puede estar positivamente correlacionada con el incremento en la fuerza y en la masa de la musculatura de las piernas en lugar de con la aptitud cardiovascular (mecanismos centrales). Sin embargo, en evaluación máxima este efecto, utilizando el mismo modo de evaluación–ejercicio, podría ser insignificante. Por lo tanto, están garantizadas futuras investigaciones en esta área.

Agradecimientos

Quisiera agradecer al Dr. Jon Doty por su retroalimentación y guía en la escritura de este manuscrito. Agradezco especialmente a Wright Patterson, a los Comandantes del Centro Médico de la Base de la Fuerza Aérea, Col. (Dr.) Penny Giovanetti y Col. (Dr.) Salamanca, por su respaldo continuo en la Investigación Clínica sobre Salud y Bienestar.

Dirección para el Envío de Correspondencia

Reggie B. O'Hara, candidato a Ph.D. Exercise Physiologist, Health and Wellness Clinic, 74 AMDS/SGPZ, Wright Patterson Air Force Base, OH 45433-5350. Teléfono: (937) 904-9366. Fax: (937) 904-9396; correo electrónico: reggie.ohara@wpafb.af.mil

REFERENCIAS

1. Adams, G. R., B.M. Hather, K.M. Baldwin, and G.A. Dudley (1993). Skeletal muscle myosin heavy chain composition and resistance training. *J Appl Physiol; 74(2):911-915*
2. Bell G.J., S.R. Petersen, J. Wessel, K. Bagnall, H.A. Quinnery (1991). Physiological adaptations to concurrent endurance training and low velocity resistance training. *Int J Sports Med; 12(4), 384-390*
3. Bentley, D. J., G.J. Wilson, A.J. Davie, S. Zhou (1998). Correlations between peak power output, muscular strength and cycle time trial performance in triatheletes. *J Sports Med Phys Fitness;201-207*
4. Bijker, K. E., G. deGroot, A.P. Hollander (2002). Differences in leg muscle activity during running and cycling in humans. *Eur J Appl Physiol; 87:556-561*
5. Bishop, D., D.G. Jenkins, T. Mackinnon, M. Mceniery, M.F. Carey (1999). The effects of strength training on endurance performance and muscle characteristics. *Med Sci Sports Exercise 1999; 6: 886-891*
6. Brooks, G. A., T.D. Fahey, T.P. White, K.M. Baldwin (2000). No Disponible. *Exercise Physiology; Human Bioenergetics and its applications (Third ed.): Mayfield Publishing Company.*
7. Coggan, A. R., R. J. Spina, D. S. King, M. A. Rogers (1992). Skeletal muscle adaptations to endurance training in 60- to 70-yr-old men and women. *J Appl Physiol; 72(5):1780-1786*
8. Conley, M. S., Rozenek, R (2001). Health aspects of resistance exercise and training. *Strength and Conditioning Journal; 21(6):9-23*
9. Dudley, G. A (1998). Metabolic consequences of resistive-type exercise. *Med. Sci. Sports Exercise; 20(5, Supplement):S158-S161*
10. Dudley GA, Fleck SJ (1987). Strength and endurance training; are they mutually exclusive?. *Sports Med; 4:79-85*
11. Ericson, M. O., R. Nisell, U.P. Arborelius, and J. Ekholm (1985). Muscular activity during ergometer cycling. *Scand J Rehab Med; 17:53-61*
12. Fox E. R. Bowers, M. Foss (1989). No Disponible. *The Physiological Basis for Exercise and Sport (5th ed.): Brown & Benchmark. p. 114*
13. Frontera WR, Meredith CN, O'Reilly KP, Evans WJ (1990). Strength training and determinants of VO₂max in older men. *J Appl Physiol; 68(1): 329-333*
14. Hagerman, F. C., S.J. Walsh, R.S. Staron, R.S. Hikida, et al (2000). Effects of high-intensity resistance training on untrained older men. *The Journals of Gerontology; 55A(7):B336-B346*
15. Hepple, R. T., S.L. Mackinnon, J.M. Goodman, S.G. Thomas, and M.J. Plyley (1997). Resistance and aerobic training in older men: effects on VO₂ peak and capillary supply to skeletal muscle. *J Appl Physiol; 82(4):1305-1310*
16. Hickson, R. C., B.A. Dvorak, E.M. Gorostiaga, T.T. Kurowski, and C. Foster (1998). Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *J Appl Physiol; 65(5):2285-2290*
17. Hickson, R. C., Rosenkoetter, M.A., and Brown, M.M (1980). Strength training effects on aerobic power and short-term endurance. *Med. Sci. Sports Exercise; 12(5), 336-339*
18. Hurley, B. F., D.R. Seals, A.A. Ehsani, L.J. Cartier, g.P. Dalsky, J.M. Hagberg, and J.O. Holloszy (1984). Effects of high-intensity strength training on cardiovascular function. *Med. Sci. Sports Exercise; 16(5):483-488*
19. Izquierdo, M., Hakkinen, K., Banez, J., Kraemer, W.J., and Gorostiaga, E.M (2002). Concurrent strength and endurance training in older men. *Med. Sci. Sports Exercise; 34(5), 250 Supplement 251*
20. Khan M, S. K. Guha (2002). Prediction of electrical impedance parameters for the simulated leg segment of an aircraft pilot under G-stress. *Aviat Space Environ Med; 73(6):558-64*
21. Kraemer, W. J., J.F. Patton, S.E. Gordon, E.A. Harman, M.R. Deschenes, K. Reynolds, R.U. Newton, N.T. Triplett, and J. E. Dziados (1995). Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J. Appl. Physiol; 78(3):976-989*
22. Luecke, T., H. Wendeln, G.R. Campos, F.C. Hagerman, R.S. Hikida, R.S. Staron (1995). The effects of three different resistance training programs on cardiorespiratory function. *Med. Sci. Sports Exercise; S198*
23. Marcinik E.J., J. Potts, G. Schlabach, S. Will, P. Dawson, B.F. Hurley (1991). Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Med. Sci. Sports Exercise; 23(6):739-743*
24. McCarthy, J. P., J.C. Agre, B.K. Graf, M.A. Pozniak, and A. C. Vailas (1995). Compatibility of adaptive responses with combining strength and endurance training. *Med. Sci. Sports Exercise; 27(3):429-436*
25. O Hara R. B., J. F. Schlub, T. R. Siejack, R. L. Pohlman, L. Laubach (2004). Increased volume resistance training: Effects upon predicted aerobic fitness in a select group of Air Force men. *ACSM□S HEALTH & FITNESS Journal; 8(4):4-8*
26. Sale, D. G (1988). Neural adaptation to resistance training. *Med. Sci. Sports Exercise; 20(5 (Supplement)):S135-S145*
27. Sale, D. G., I. Jacobs,J.D (1990). MacDougall and S. Garner. Comparison of two regimens of concurrent strength and endurance training. *Med. Sci. Sports Exercise; 22(3):348-356*
28. Sale, D. G., J.D. MacDougall, I. Jacobs, and S. Garner (1990). Interaction between concurrent strength and endurance training. *J. Appl. Physiol; 68(1):260-270*
29. Saltin, B., and L. Hermanssen (1996). Esophogeal, rectal, and muscle temperature during exercise. *J. Appl. Physiol; 21:1757*
30. Saltin, B., K. Nazar, D.L. Costill, E. Stein, E. Jansson, B. Essen, D. Gollnick (1976). The nature of the training response; peripheral and central adaptations of one-legged exercise. *Acta Physiol Scand; 96(3):289-305*
31. Schlub, J. F., T.R. Siejack, R.B. O Hara, and J. Brannon (2003). Effects of a traditional vs. non-traditional physical training program on submaximal cycle ergometry scores in USAF men. *Aviation, Space, and Environmental Medicine; 74(4):406*
32. Sharman, M. J., R. U. Newton, T. T. McBride, M. R. M. McGuijran et al (2001). Changes in Myosin heavy chain composition with heavy resistance training in 60- to 75-year-old men and women. *Eur. J. Appl. Physiol; 84:127-132*
33. Staron, R. S., D.L. Karapondo, W.J. Kraemer, A.C. Fry, S.E. Gordon, J.E. Falkel, G.C. Hagerman, and R. S. Hikida (1994). Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J. Appl. Physiol; 76(3):1247-1255*

34. Staron, R. S., R.S. Hikida, F.C. Hagerman, G.A. Dudley, and T.F. Murray (1984). Human sketal Muscle fiber type adaptability to various workloads. *The Journal of Histochemistry and Cytochemistry; 32(2),:146-152*
35. Tesch, P. A (1988). Skeletal muscle adaptations consequent to long-term heavy resistance exercise. *Med. Sci. Sports Exercise; 20(5 (Supplement)):S132-S134*
36. Vincent, K. R., R.W. Braith, R.A. Feldman, H.E. Kallas, D.T. Lowenthal (2002). Improved cardiorespiratory endurance following 6 months of resistance exercise in elderly men and women. *Archives of Internal Medicine; 162(6):673-678*
37. Wang, N., R. S. Hikida, R. S. Staron, and J. A. Simoneau (1993). Muscle fiber types of women after resistance training quantitative ultrastructure and enzyme activity. *Eur J. Appl. Physiol; 424:494-502*
38. Willoughby, D. S., S. Pelsue (2000). Effects of high-intensity strength training on steady-state myosin heavy chain isoform mrna expression. *JEPonline; 3(4):13-25*

Cita Original

Reggie O□Hara, Munna Khan, Roberta Pohlman, and James Schlub. Leg Resistance Training: Effects On Cardiovascular Fitness (Vo2 Peak) and Skeletal Muscle Myoplasticity. JEPonline; 7 (5): 26-43, 2004.