PubliCE, (PubliCE) 2003

Research

Efectos del Entrenamiento de la Fuerza sobre la Capacidad de Rendimiento de Resistencia Máxima y Submáxima en Sujetos de Mediana Edad y Ancianos

Keijo Häkkinen[2], Prof. Mikel Izquierdo[1], Javier Ibañez[1], Alazne Antón[1], Miriam Garrués[1], Maite Ruesta[1] y Esteban M Gorostiaga[1]

[1]*Centro de Investigación y Medicina del Deporte de Navarra, Gobierno de Navarra, Navarra, España 31002.*
[2]*Department of Biology of Physical Activity and Neuromuscular Research Center, University of Jyväskylä, Jyväskylä, Finlandia 40014.*

RESUMEN

En este estudio fue examinado el efecto de un programa de entrenamiento de la fuerza progresivo de 16 semanas sobre la acumulación de lactato sanguíneo (LA), la máxima carga de trabajo (Wmáx.) alcanzada durante el ejercicio de ciclismo progresivo, media sentadilla máxima (1 RM_{HS}), área de sección cruzada del grupo muscular cuadriceps femoral (CSA_{QF}) y concentraciones séricas de hormonas en 11 sujetos de mediana edad (46 años [M46]) y 11 sujetos ancianos (64 años [M64]). Durante las 16 semanas de entrenamiento, fueron observados incrementos significativos en 1 RM_{HS} en los grupos M46 y M64 (41-45%, $p<0.001$). El CSA_{QF} se incremento (13-11%; $p<0.01$) en los dos grupos. Las primeras 8 semanas de entrenamiento condujeron a incrementos significativos en Wmáx. (6-11%; $p<0.001$) y disminuciones en la LA submáxima en ambos grupos, pero no fueron observados cambios inducidos por el entrenamiento posteriores durante las 8 semanas subsecuentes de entrenamiento. Fueron observadas correlaciones estadísticamente significativas en el grupo M64 y en los grupos M46 + M64, entre los cambios inducidos por el entrenamiento observados en Wmáx. y los índices testosterona-cortisol séricos y testosterona libre-cortisol séricos, mientras que en el grupo M46 los valores de correlación respectivos no alcanzaron niveles de significancia estadística. Estos datos indican que el entrenamiento de la fuerza resulta en una mejora significativa en la resistencia máxima y submáxima durante las primeras 8 semanas de entrenamiento de la fuerza en ambos grupos, esto está relacionado en parte a la intensidad y al volumen de entrenamiento de la fuerza usado y al estado de entrenamiento de los sujetos. Las correlaciones encontradas en este estudio entre varios índices de la evaluación de ciclismo y las concentraciones séricas de hormonas, después del entrenamiento de la fuerza, sugieren que el ciclismo incremental máximo podría ser usado como una evaluación adicional para detectar respuestas anabólicas-catabólicas al entrenamiento de fuerza prolongado en hombres de mediana edad y ancianos.

Palabras Clave: lactato, máxima carga de trabajo, testosterona, fuerza, cortisol, envejecimiento

INTRODUCCIÓN

El envejecimiento biológico normal esta asociado con disminuciones en la capacidad funcional de los sistemas neuromuscular, neuroendocrino, cardiovascular y respiratorio, lo que resulta en una disminución de la fuerza máxima y la potencia aeróbica máxima (4, 16, 18, 41). Las disminuciones en la fuerza muscular han sido asociadas con la atrofia muscular (33, 35), disminución en la conducción neural voluntaria máxima de los músculos agonistas, o cambios en el grado de coactivación agonista-antagonista (16), probablemente mediada por alteraciones relacionadas a la edad en las concentraciones plasmáticas de hormonas circulantes anabólicas y catabólicas (7, 18, 30). La capacidad funcional de los sistemas cardiovascular y respiratorio disminuye cerca de 0.5-3.5% por año, después de la tercer década de vida, lo que resulta en una disminución en la potencia aeróbica máxima (VO_2 máx.) (4, 43). Las disminuciones en la potencia aeróbica máxima con el envejecimiento han sido principalmente asociadas con la declinación en el gasto cardíaco máximo (3, 4), pero las mismas han sido también atribuidas, en parte, a la reducción de la fuerza dinámica máxima y la masa muscular (10, 25), probablemente mediadas por alteraciones relacionadas a la edad en el balance entre las hormonas anabólicas y catabólicas (7, 18, 30). Esto ha llevado a algunos autores a sugerir que un incremento en la fuerza y la masa muscular de los músculos del tren inferior podría incrementar la potencia aeróbica máxima (11) y el rendimiento submáximo de resistencia (i.e., acumulación submáxima de lactato sanguíneo [LA]) (23), después del entrenamiento de la fuerza.

Estudios previos acerca del efecto del entrenamiento de la fuerza sobre el máximo consumo de oxígeno o la potencia aeróbica máxima han producido resultados conflictivos (1, 11, 21, 24, 45). El entrenamiento de la fuerza tradicional (i.e., 60-80% de 1 repetición máxima [1 RM] para 6-15 repeticiones) no incrementa generalmente el VO_2 máx. (1, 20, 22-24, 31, 36), mientras que el entrenamiento de fuerza en circuito (i.e., 40-60% de 1 RM para 10-20 repeticiones) puede conducir a ligeras mejoras en el VO_2 máx. (11-13, 21, 29, 45). Ha sido postulado que la examinación del LA sanguíneo durante el ejercicio es un importante determinante fisiológico de la habilidad para mantener un alto VO_2 máx. durante el ejercicio submáximo, debido a que la misma cambia independientemente y a que la misma está relacionada más de cerca con el rendimiento en resistencia que el VO_2 máx. (38). Debido a que ha sido sugerido que este factor podría explicar mejor que el VO_2 máx., la mejora en el rendimiento de resistencia observado en varios estudios después del entrenamiento de la fuerza (22, 23, 36, 45), la examinación del rendimiento de resistencia submáximo parecería estar garantizada. Varios estudios también han reportado que las mejoras en la fuerza y la hipertrofia muscular pueden mejorar el rendimiento de resistencia submáximo después del entrenamiento de la fuerza (22, 23). Sin embargo, muchos menos datos están disponibles sobre de los efectos a largo plazo (i.e., >14 semanas) de entrenamiento de la fuerza sobre el LA sanguíneo durante el ejercicio de ciclismo, y lo mismo ha recibido solo poca atención en hombres de mediana edad y ancianos. Esto es crucial para realizar actividades de la vida diaria que requieren esfuerzos submáximos, especialmente entre los individuos que están cerca del umbral de dependencia.

Ha sido pensado que los cambios relacionados al entrenamiento de la fuerza en las hormonas circulantes anabólicas y catabólicas en reposo (i.e., testosterona total [T] y cortisol [C]) tienen una potente influencia sobre las adaptaciones neuromusculares (e.g., en la hipertrofia muscular o en el incremento de la síntesis de neurotransmisores, o ambas) para el desarrollo de la fuerza (18, 30), en la atenuación de la sarcopenia y en la pérdida de fuerza con el envejecimiento (18, 30, 31, 33). La magnitud de las respuestas hormonales es menor en los ancianos (18, 30), y puede ser un factor limitante en el desarrollo de la fuerza y la resistencia durante el entrenamiento de fuerza prolongado. De este modo, también era de interés para los investigadores de este estudio examinar los posibles efectos de un entrenamiento de la fuerza de alta intensidad, progresivo y de 16 semanas de duración sobre las concentraciones basales de T, testosterona libre (FT) y C, séricas, y sus posibles interrelaciones con varios índices de cambios en el rendimiento de resistencia máximo y submáximo no solo en hombres de mediana edad, sino también en ancianos.

Considerando la falta de datos que hayan examinado el efecto del entrenamiento de la fuerza sobre el rendimiento en resistencia en poblaciones de ancianos, este estudio examina el efecto de un entrenamiento de la fuerza de alta intensidad sobre la carga de trabajo y el LA sanguíneo durante un ejercicio de ciclismo submáximo y máximo, así como sobre la fuerza máxima y las concentraciones de hormonas séricas en hombres de mediana edad y ancianos. Fue hipotetizado que el entrenamiento de la fuerza conduciría a diferentes mejoras en varios índices de la evaluación de ciclismo máxima y submáxima en los hombres de mediana edad y ancianos, las cuales están limitadas en magnitud, debido a un deterioro neuromuscular o a un deterioro endocrino relacionado a la edad, o ambos.

MÉTODOS

Enfoque Experimental del Problema

Este estudio fue llevado a cabo para determinar el efecto del entrenamiento de la fuerza sobre la carga de trabajo máxima ($W_{máx}$) y los índices submáximos (i.e., LA sanguíneo y frecuencia cardiaca) durante un ejercicio de ciclismo y sobre las concentraciones de hormonas séricas, y posteriormente para dilucidar el rol del entrenamiento de la fuerza y la concentración de hormonas séricas sobre el rendimiento de resistencia en hombres de mediana edad y ancianos. Para examinar un entrenamiento de la fuerza de larga duración, nosotros usamos un período de 16 semanas de entrenamiento bajo condiciones cuidadosamente monitoreadas. La duración total de este estudio fue de 20 semanas. Los sujetos fueron evaluados en 4 ocasiones diferentes usando protocolos idénticos. La evaluación inicial fue completada durante las primeras 4 semanas del estudio (entre las mediciones en la semana 4 y la semana 0) tiempo durante el cual no fue llevado a cabo ningún entrenamiento de la fuerza o resistencia, pero los sujetos mantuvieron sus actividades físicas recreacionales de costumbre (e.g., caminar, andar en bicicleta, y nadar). Esto fue seguido por un período de 16 semanas de entrenamiento de la fuerza experimental periodizado. El programa de entrenamiento de la fuerza usado en este estudio fue similar a aquel reportado previamente (17, 26) y fue una combinación de entrenamiento de la fuerza de alta intensidad y entrenamiento de la fuerza "explosiva". Las mediciones fueron repetidas durante el período de entrenamiento real a intervalos de 8 semanas (i.e., semanas 8 y 16). Fueron evaluados la fuerza máxima, LA sanguíneo, $W_{máx}$ alcanzada durante el ejercicio de ciclismo progresivo, y el área de sección cruzada muscular (CSA) del grupo muscular cuadriceps femoral (CSA_{QF}). Las concentraciones séricas en reposo de T, FT y C fueron usadas para examinar las adaptaciones hormonales anabólicas y catabólicas al entrenamiento de la fuerza. Los resultados de este estudio proveen un apoyo adicional para la necesidad del entrenamiento de la fuerza en hombres de mediana edad y ancianos para incrementos a largo plazo en la aptitud física muscular relacionada a la salud así como en el rendimiento en resistencia.

Sujetos

11 hombres de mediana edad (46 años [M46; rango 35-46 años]) y 11 ancianos (64 años [M64; rango 60-74 años]) se ofrecieron para participar en este estudio. Su edad, talla, masa corporal y grasa corporal fueron de 46±3 años, 175±3 cm, 86±11 kg, y 23±1%, respectivamente en el grupo M46, y 64±2 años, 167±4 cm, 81±10 kg, y 24±5 %, respectivamente, para el grupo M64. Ellos fueron reclutados por medio de publicidad y cartas personales de un club de aptitud física y recreacional privado. Todos los sujetos fueron informados acerca de los posibles riesgos y beneficios del proyecto que fue aprobado por el Comité Ético del Departamento de Salud (Gobierno de Navarra). Los sujetos firmaron un consentimiento por escrito antes de la participación en el estudio. Antes de la inclusión en el estudio, todos los sujetos completaron cuidadosamente una extensiva historia clínica (incluyendo información de la medicación en el momento del estudio) y electrocardiograma en reposo y en ejercicio máximo y mediciones de presión arterial. Las enfermedades cardiovasculares, neuromusculares, artríticas, pulmonares y otras enfermedades debilitantes, determinadas por una o todas las herramientas de la exploración médica, eran razones para exclusión del estudio. Todos los sujetos eran sanos, y ninguno estaba tomando medicaciones cardiovasculares. El cuestionario de actividad física usado para cuantificar el costo energético de la actividad física durante 4 semanas (Minesota Liesure Time Physical Activity Questionnaire) (39) reveló que todos los sujetos eran físicamente activos. Para mantenerse en forma, ellos habían participado en varias actividades físicas recreacionales como caminata, ciclismo, excursiones a campo traviesa, y en una menor medida, natación y fútbol. Sin embargo, ninguno de los sujetos tenía antecedentes regulares de entrenamiento de la fuerza o la resistencia o en ningún deporte competitivo de ninguna clase. Ninguno había estado implicado en ningún programa de aptitud física estructurado dentro de las últimas 3 semanas. En el grupo M64, todos vivían en sus casas y eran capaces de realizar las actividades de la vida diaria de manera independiente. No fue tomada ninguna medicación por los sujetos, que se hubiera esperado que afectara el rendimiento. Este estudio es una parte un proyecto de investigación más largo. Algunos de los resultados obtenidos con estos sujetos a partir de los dos grupos de edades han sido usados anteriormente para examinar los efectos del entrenamiento de la fuerza sobre el rendimiento de fuerza máxima y la potencia muscular de los músculos del tren inferior y superior (26).

Programa de Evaluaciones

Antes de las evaluaciones y el entrenamiento cada sujeto se familiarizó con los procedimientos de evaluación de la producción voluntaria de fuerza durante varias acciones submáximas y máximas. Además, fueron registradas varias contracciones de entrada en calor antes de las verdaderas acciones máximas de evaluación. Las evaluaciones de fuerza y resistencia fueron conducidas en dos sesiones diferentes separadas por 5 días. Durante la primera sesión de evaluación, cada sujeto fue evaluado para su 1 RM a partir de una posición de media sentadilla (1 RM_{HS}). En la segunda sesión de evaluación, cada sujeto realizó una evaluación máxima, incremental, de etapas múltiples de ciclismo en un cicloergómetro frenado mecánicamente. Fueron obtenidas muestras de sangre venosa entre las horas 08:00 y 09:00 para determinar las concentraciones de hormonas séricas. Las evaluaciones de fuerza y resistencia fueron realizadas para un sujeto dado a la

misma hora del día, tal como fue la primera sesión de evaluación. El entrenamiento fue integrado dentro del programa de evaluación semanal. Fue permitido un mínimo de 48 horas de descanso después de las últimas sesiones de entrenamiento de las semanas 8 y 16 y fue seguida la misma secuencia de evaluación.

Evaluación de la Fuerza

La fuerza máxima del tren inferior fue evaluada usando 1 RM a partir de 1 RM_{HS}. En la media sentadilla, los hombros estaban en contacto con la barra, y el ángulo de inicio de la rodilla fue de 90º. El sujeto realizaba una extensión de piernas concéntrica (tan rápido como fuera posible), comenzando desde la posición de flexión, hasta alcanzar la extensión completa de 180º contra la resistencia, determinada por el peso de los discos adicionados a ambos extremos de la barra. El tronco era mantenido tan derecho como fuera posible, y para seguridad todos los sujetos usaban un cinturón. La evaluación fue realizada en un aparato de sentadilla en el cual la barra estaba unida en sus dos extremos a cojinetes en dos barras verticales, lo que permitía solo movimientos verticales. La entrada en calor consistió de una serie de 5 repeticiones al 40-60% del máximo percibido. Luego, eran realizados 4-5 intentos hasta que el sujeto no fuerza capaz de extender las piernas hasta la posición requerida. La última extensión aceptable con la carga más alta posible fue determinada como 1 RM. La fuerza máxima presento un coeficiente de confiabilidad de 0.95 y un coeficiente de variación (CV) de 2%.

En la evaluación del rendimiento neuromuscular, fue dado un fuerte aliento verbal a cada sujeto para motivarlo para realizar cada acción de evaluación al máximo posible. El período de tiempo de descanso entre las acciones fue siempre de 1.5 minutos.

Área de Sección Cruzada Muscular y Composición Corporal

El área de sección cruzada muscular libre de hueso (CSA) del grupo muscular (recto femoral, vasto lateral, y vasto intermedio) cuadriceps femoral (QF) fue medida en la semana 0 y después del período experimental (semana 16) con un scanner ultrasónico (Toshiba SSA-250, Tokio, Japón) y un transductor convexo de 5-MHz. El CSA_{QF} fue medida en la tercera parte más baja entre el trocánter mayor y la línea lateral de la articulación de la rodilla. Fueron tomadas dos mediciones consecutivas del muslo derecho y luego los datos fueron promediados para los análisis posteriores. El CSA_{QF} fue luego calculada a partir de la imagen del sistema computarizado del aparato. El porcentaje de grasa en el cuerpo fue estimado a partir de las mediciones del grosor de los pliegues cutáneos (27). Las variables de masa muscular presentaron coeficientes de confiabilidad mayores que 0.74. El CV varió desde 1.4 hasta 4.3% para las circunferencia y CSA_{QF} medidas.

Evaluación de Ciclismo

La capacidad de resistencia fue medida en las semanas 0, 8 y 16 usando una evaluación máxima, incremental, de etapas múltiples de ciclismo en un cicloergómetro frenado mecánicamente (Monark Ergomedic 818E, Varberg, Suecia). Durante la evaluación de ejercicio, el sujeto colocaba los pies en las punteras de los pedales y pedaleaba a una tasa constante de 60 rpm, mientras eran monitoreados que la presión arterial y un electrocardiograma de 12 derivaciones. Cada sujeto comenzaba con ciclismo sin carga durante 3 min, y la carga era incrementada a razón de 30 W cada 3 min hasta el agotamiento volitibo o hasta que la frecuencia de pedaleo requerida no podía ser mantenida. Después de cada carga de trabajo, la evaluación era interrumpida por 60 segundos.

La frecuencia cardiaca fue registrada cada 15 segundos durante el ciclismo (Sport Tester, Polar Electro, Kempele, Finlandia) y promediada durante los últimos 60 segundos de cada carga de trabajo. Los sujetos fueron alentados verbalmente durante la evaluación. Antes del ejercicio e inmediatamente después de cada serie de ejercicio, fueron obtenidas muestras de capilares sanguíneos para la determinación de la concentración de lactato a partir del lóbulo de la oreja. Las muestras para la determinación del lactato sanguíneo total (100 µl) fueron desproteinizadas, almacenadas a 4 ºC, y analizadas dentro de los 5 días después de completar la evaluación. El analizador de lactato sanguíneo (YSI 1500, YSI Incorporated, Yellow Springs, OH) fue calibrado cada 5 dosajes de muestras sanguíneas con tres controles conocidos (5, 15, y 30 $mmol.L^{-1}$). Los puntos de datos individuales de los valores del lactato sanguíneo en ejercicio fueron graficados como una función continua versus el tiempo. La curva de lactato en ejercicio fue desarrollada con una función polinómica de grado dos. El rango del coeficiente de correlación individual con el uso de la función matemática descrita arriba fue $r=0.98-0.99$ ($p<0.001$). A partir de la ecuación que describía la curva de lactato en ejercicio, fueron interpoladas las cargas de trabajo asociadas con una concentración de lactato sanguíneo de 2 $mmol.L^{-1}$ (W_2) y 4 $mmol.\ L^{-1}$ (W_4). W_2 y W_4 han sido llamadas umbral aeróbico y anaeróbico, respectivamente, por algunos investigadores y se ha demostrado que son importantes determinantes de la capacidad de rendimiento de resistencia (44). Esta definición tiene la ventaja de ser objetiva y de este modo no esta sujeta a sesgos o a variabilidad introducida por diferentes investigadores (2).

La $W_{máx}$. de cada evaluación de ciclismo fue calculada usando la siguiente fórmula:

$$\mathbf{W_{máx} = W_{com} + t/180 \times \Delta W}$$

en la cual W_{com} es la última carga de trabajo completada, t el número de segundos en que fue sostenida la última carga no completada, y ΔW es el incremento de la carga final (30 W) (32). Los criterios usados para definir una verdadera $W_{máx}$. en el grupo M46 fueron los siguientes: (a) una frecuencia cardiaca final dentro de 10 lat./min del máximo predicho para la edad (220 lat./min – edad) y (b) un valor de concentración de lactato sanguíneo pico mayor a 8 mmol.L^{-1}(41). En la semana 0, todos los sujetos en el grupo M46 alcanzaron un valor de concentración de lactato sanguíneo pico mayor a 8 mmol. L^{-1} (10 de todo el grupo en las semanas 8 y 16, respectivamente), y 10 de todo el grupo de sujetos de mediana edad alcanzaron una frecuencia cardiaca final dentro de 10 lat./min del máximo predicho para la edad (7 de todo el grupo en las semanas 8 y 16, respectivamente). Los criterios del valor de concentración de lactato sanguíneo pico mayores que 8 mmol.L^{-1} no son válidos en el grupo M64, debido a que es sabido que el valor de lactato sanguíneo pico es menor en esta población (6). Sin embargo, el hecho que en la semana 0, 10 los participantes de todo el grupo de los ancianos alcanzaron una frecuencia cardiaca final dentro de los 10 lat./min del máximo predicho para la edad (9 de todo el grupo en las semanas 8 y 16, respectivamente) sugiere que fue alcanzada la verdadera $W_{máx}$ (6). La $W_{máx}$. fue elegida debido a que ha sido demostrado que en varones sedentarios sanos de 20-70 años de edad, el VO_2 máx. puede ser exactamente predicho a partir de la máxima tasa de trabajo alcanzada durante una evaluación de ejercicio gradual en cicloergómetro (42). Además, Kuipers et al. (32) encontraron que la variación día a día del VO_2 máx. (4-11%) excede la $W_{máx}$. sugiriendo que la $W_{máx}$. podría ser un parámetro más sensible que el VO_2 máx. para detectar diferencias en la potencia aeróbica máxima. En un estudio piloto, la confiabilidad intertest para la medición de $W_{máx}$., W_4 y W_2 fue evaluada realizando dos evaluaciones de ciclismo separadas por 4 semanas en 14 hombres de mediana edad y 11 ancianos. No fueron observadas diferencias significativas entre las mediciones de 4 semanas. Las variables de evaluación de ciclismo mostraron coeficientes de confiabilidad que variaban entre 0.90 y 0.98 en ambos grupos de edades. El CV para $W_{máx}$. fue 2.2 y 3.5% en los hombres de mediana edad y ancianos, respectivamente. El CV para W_4 y W_2 varió de 3.2 hasta 8.1% en ambos grupos de edades.

Métodos Analíticos

Las muestras de sangre en reposo fueron tomadas en las semanas -4 (semana 4 antes del inicio del entrenamiento) y en las semanas 0, 8, y 16 durante el entrenamiento. Los sujetos se reportaban al laboratorio y descansaban durante 10-15 minutos antes de la obtención de la muestra sanguínea dada. Las muestras de sangre venosa fueron obtenidas en reposo entre las 08:00 y las 09:00 horas a partir de la vena antecubital para determinar las concentraciones séricas de T, FT, y C. Las muestras sanguíneas fueron tomadas a la misma hora del día para reducir los efectos de la variación diurna en las concentraciones hormonales. La sangre fue extraída después de 12 horas de ayuno y después de 1 día de actividad física mínima. Las muestras recolectadas para los análisis hormonales fueron centrifugadas y el suero fue removido y congelado a -20 ºC para los análisis posteriores. Los análisis de C y T séricas fueron realizados por medio de radioinmunoanálisis. Las concentraciones de T y C séricas fueron medidas usando kits de reactivos de Diagnostic Product Corporation y de la corporación INCSTAR (Coat-A-Count Total testosterone TKTT11CS, Los Angeles, CA y GammaCoat Cortisol Radioimmunoassay Kit, Stillwater, MN). La sensibilidad de los análisis de T total y FT fue de 0.14 nmol.L^{-1} y 0.15 pg/ml, respectivamente. La sensibilidad del análisis de C fue de 0.21 mcg/dl. El coeficiente de variación intra-análisis fue de 5 y 4% para la T total y FT, respectivamente. El coeficiente de variación intra-análisis fue de 6.6 para el análisis de C. Todas las muestras fueron analizadas usando el mismo análisis para cada hormona, de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

Programa de Entrenamiento Periodizado de la Fuerza de Alta Intensidad y de la Fuerza Explosiva

Los sujetos participaron de un programa de entrenamiento de la fuerza supervisado de 16 semanas, con una frecuencia de entrenamiento de 2 días por semana. Cada sesión de entrenamiento incluía 2 ejercicios para los músculos extensores de las piernas (ejercicios de press de piernas bilateral y extensión de rodillas bilateral), 1 ejercicio para los músculos extensores de los brazos (press de banca) y 4-5 ejercicios para los principales grupos musculares del cuerpo (press de banca, polea al pecho, y/o press militar para el tren superior; crunch abdominal y/o rotación del torso y/u otro ejercicio para los extensores del tronco; y flexión de rodillas parado y/o ejercicios para aductores-abductores). Solo fueron usados ejercicios de carga variable en máquinas a través de todo el período de entrenamiento. Todos los ejercicios fueron realizaos usando acciones musculares concéntricas seguidas por acciones musculares excéntricas durante la fase de "descenso" del movimiento. Las cargas se basaron en el rendimiento concéntrico. La carga usada en este estudio fue determinada durante las sesiones de entrenamiento cada semana durante el período de entrenamiento de 16 semanas usando una repetición máxima.

Durante las primeras 8 semanas del período de entrenamiento, los sujetos entrenaron con cargas del 50-70% de la 1 RM individual. Los sujetos realizaron 10-15 repeticiones por serie y 3-4 series de cada ejercicio. Durante las últimas 8 semanas de entrenamiento, las cargas fueron de 50-60% y 70-80% a partir de las semanas 13-16. En los dos ejercicios para el músculo extensor de la pierna y en el press de banca, los sujetos realizaban ya sea 8-12 repeticiones por serie (con las cargas bajas) o 5-6 repeticiones por serie (cargas altas) y realizaban 3-5 series. En los otros 5 ejercicios, los sujetos realizaban 10-12 repeticiones por serie y realizaban 3-5 series. De este modo, además del diseño de entrenamiento de la fuerza de alta intensidad, fueron tenidos en cuenta los requerimientos básicos para el desarrollo de la fuerza explosiva

durante las últimas 8 semanas del período de entrenamiento (desde la semana 8 hasta la semana 16) haciendo que los sujetos realicen una parte de las series de extensión de rodilla y del press de banca con cargas que variaban desde 30 hasta 50% y desde 30 hasta 40% del máximo respectivamente. En esta sesión de entrenamiento, los sujetos realizaban 6-8 repeticiones por serie y 3-4 series de cada ejercicio, pero ellos ejecutaban todas estas repeticiones tan rápido como fuera posible. Un investigador supervisó cada sesión de entrenamiento para asegurar que fueran seguidos los procedimientos de entrenamiento apropiados. El investigador también registraba los datos de adherencia y de entrenamiento individual durante cada sesión de entrenamiento.

Durante el período de entrenamiento experimental de 16 semanas, los sujetos continuaron realizando actividades físicas como caminar o nadar 1-2 veces por semana como solían hacer antes del experimento.

Análisis Estadísticos

Fueron usados métodos estadísticos estándar para los cálculos de las medias y DS y los coeficientes de correlación momento producto de Pearson. La comparación estadística durante el período de control (desde la semana 4 hasta la 0) fue realizada por medio de test de Student apareados. Un test t para muestras independientes determinó las diferencias, si existían, en la fuerza inicial, la resistencia y las mediciones hormonales entre los dos grupos. Un análisis de varianza multivariado para mediciones repetidas fue usado para investigar los efectos del entrenamiento en el análisis dentro de los sujetos. Cuando fue apropiado, fueron llevadas a cabo comparaciones post hoc usando un test Scheffe. El ANCOVA fue usado para ajustar los valores post-entrenamiento para comparar los datos entre los grupos. Para este propósito, los valores pre-entrenamiento fueron usados como covariantes de modo que pudieran ser observados los efectos de la covarianza. Fueron usadas regresión múltiple y correlaciones parciales de primer orden (controlando para la $W_{máx}$. inicial) para determinar correlaciones significativas entre los cambios delta para las variables seleccionadas. Los cálculos de la potencia estadística variaron desde 0.75 hasta 0.80. El criterio $p \leq 0.05$ fue usado para la significancia estadística establecida.

RESULTADOS

CSA Muscular y Antropometría

Los resultados de las variables de CSA muscular y antropometría son presentados en la Tabla 1. Fueron observados incrementos significativos en el CSA en el músculo QF durante el período de entrenamiento de 16 semanas en el grupo M46 (13%) y M64 (11%). El incremento relativo en el CSA del grupo muscular QF durante el entrenamiento no difirió significativamente entre los dos grupos. El porcentaje de grasa corporal disminuyó significativamente solo desde la semana 8 a la 16 en los grupos M46 y M64, mientras que no fueron observados cambios significativos en la masa corporal después del entrenamiento para ningún grupo.

	Edad (años)	Talla (cm)	Masa Corporal (kg)			Grasa Corporal (%)			Área de sección cruzada del cuadriceps femoral (cm^2)	
			Semana 0	Semana 8	Semana 16	Semana 0	Semana 8	Semana 16	Semana 0	Semana 16
M46 (n=11)	46±3	175±3	86±11	85±11	84±12	23±1	22±4	21±4 #	48±8	54±9#
M64 (n=11)	64±2	167±4	81±10	81±3	80±11	24±5	24±5	22±4 # *	46±13	51±16#

***Tabla 1**. Características físicas de los hombres de mediana edad (M46) y ancianos (M64) antes (semana 0) y después del entrenamiento de la fuerza de 8 (semanas) y 16 semanas. †*

† Los valores son medias ± DS.

 # Diferencias significativas ($p<0.05$) a partir del valor correspondiente de la semana 0.

** Diferencias significativas ($p<0.05$) a partir del valor de la semana 8.*

	M46 (Media±DS)	M64 (Media±DS)
Máxima Carga de Trabajo (W)		
Semana 0	209±39	170±32
Semana 8	224±37 *	177.9±33 *
Semana 16	229±35 #	181±35 #
Carga de Trabajo a 2 mmol.L^{-1} (W)		
Semana 0	90.5±24	76.9±20
Semana 8	106.2±27 *	87±21 *
Semana 16	104.5±23 #	84.9±24
Carga de Trabajo a 4 mmol.L^{-1} (W)		
Semana 0	137.9±27	117.1±20
Semana 8	147.9±30 *	126.9±19 *
Semana 16	148.2±26 #	126.3±20 #
Máxima Concentración de Lactato Sanguíneo (mmol.L^{-1})		
Semana 0	10.3±1.8	8.5±1.5
Semana 8	11.1±2	8.3±1.8
Semana 16	11.6±2.3	8.6±1.9
Frecuencia Cardiaca Máxima (lat./min)		
Semana 0	177±33	162±15
Semana 8	178±12	159±14
Semana 16	176±12	160±14

***Tabla 2**. Varios índices de rendimiento de resistencia máxima y submáxima durante una evaluación máxima, incremental, de etapas múltiples de ciclismo en hombres de mediana edad (A) (M46) y ancianos (B) (M64), en las semanas 0, 8 y 16 durante el período de entrenamiento de la fuerza de 16 semanas. * Los valores son medias±DS.*

1 RM en Media Sentadilla Concéntrica Máxima

La fuerza máxima de 1 RM en media sentadilla se incremento ligeramente (3%; $p<0.03$) durante el período de control de 4 semanas (desde la semana 4 hasta la semana 0) en ambos grupos de edades. No fueron observadas diferencias significativas entre los grupos en el nivel de fuerza pre-entrenamiento para 1 RM en media sentadilla. Durante las 16 semanas de entrenamiento, fueron encontrados incrementos significativos de 45±6% (desde 113±26 kg hasta 163±27 kg; $p<0.001$) en el grupo M46 y de 41±16% (desde 100±24 kg hasta 136±28 kg; $p<0.001$) en el grupo M64 en 1 RM máxima concéntrica en media sentadilla. El incremento en 1 RM máxima concéntrica fue significativo durante las primeras 8 semanas de entrenamiento en el grupo M46 (24±6% [desde 100±24 kg hasta 126±28 kg; $p<0.001$]). El test ANCOVA demostró que el incremento en 1 RM máxima concéntrica en media sentadilla observado durante el período de entrenamiento de 16 semanas fue significativamente mayor ($p<0.05$) en el grupo M46 que en el grupo M64. Esta diferencia ocurrió principalmente durante las últimas 8 semanas de entrenamiento ($p<0.02$ entre las semanas 8 y 16) debido a que en la fase temprana de entrenamiento (desde la semana 0 hasta la 8) el incremento en 1 RM en media sentadilla fue similar en ambos grupos.

Evaluación de Ejercicio en Cicloergómetro

El grupo M46 mostró valores más altos ($p<0.05$) que el grupo M64 en la $W_{máx}$. pre-entrenamiento. Durante las 16 semanas de entrenamiento, fueron encontrados incrementos significativos de 11±10% ($p<0.001$) en el grupo M46 y 6±6% ($p<0.001$) en el grupo M64 en la $W_{máx}$.. En incremento en la $W_{máx}$ ocurrió principalmente durante las primeras 8 semanas de entrenamiento (8±7% en el grupo M46, $p<0.001$; 6±6% en el grupo M64, $p<0.01$). El test ANCOVA mostró que el incremento en la $W_{máx}$ observada durante el período de entrenamiento de 16 semanas fue significativamente mayor ($p<0.05$) en el grupo M46 que en el grupo M64 (Tabla 2).

La Figura 1 muestra la forma de la curva concentración promedio de lactato sanguíneo-carga de trabajo, observada durante el período experimental en los dos grupos. Después de las primeras 8 semanas del período de entrenamiento, la concentración de lactato sanguíneo durante el ejercicio de ciclismo submáximo disminuyó con el incremento de las cargas de trabajo en ambos grupos. Así, fueron observadas disminuciones significativas ($p<0.001$) en las concentraciones de lactato sanguíneo, después de las primeras 8 semanas de entrenamiento a 90, 120, y 150 W ($p<0.01$) en el grupo M46 y a

60, 90 y 120 W ($p<0.05$-0.01) en el grupo M64. Durante las subsecuentes 8 semanas de entrenamiento, no fueron observados cambios posteriores en la concentración de lactato sanguíneo en ninguna carga de trabajo en cualquiera de los grupos. Cuando la carga de trabajo fue expresada relativa a la CSA muscular y CSA_{QF} ($W.cm^{-2}$), las diferencias en la respuesta del lactato sanguíneo submáximo al ejercicio de ciclismo durante el período de entrenamiento desapareció en ambos grupos (Figura 2).

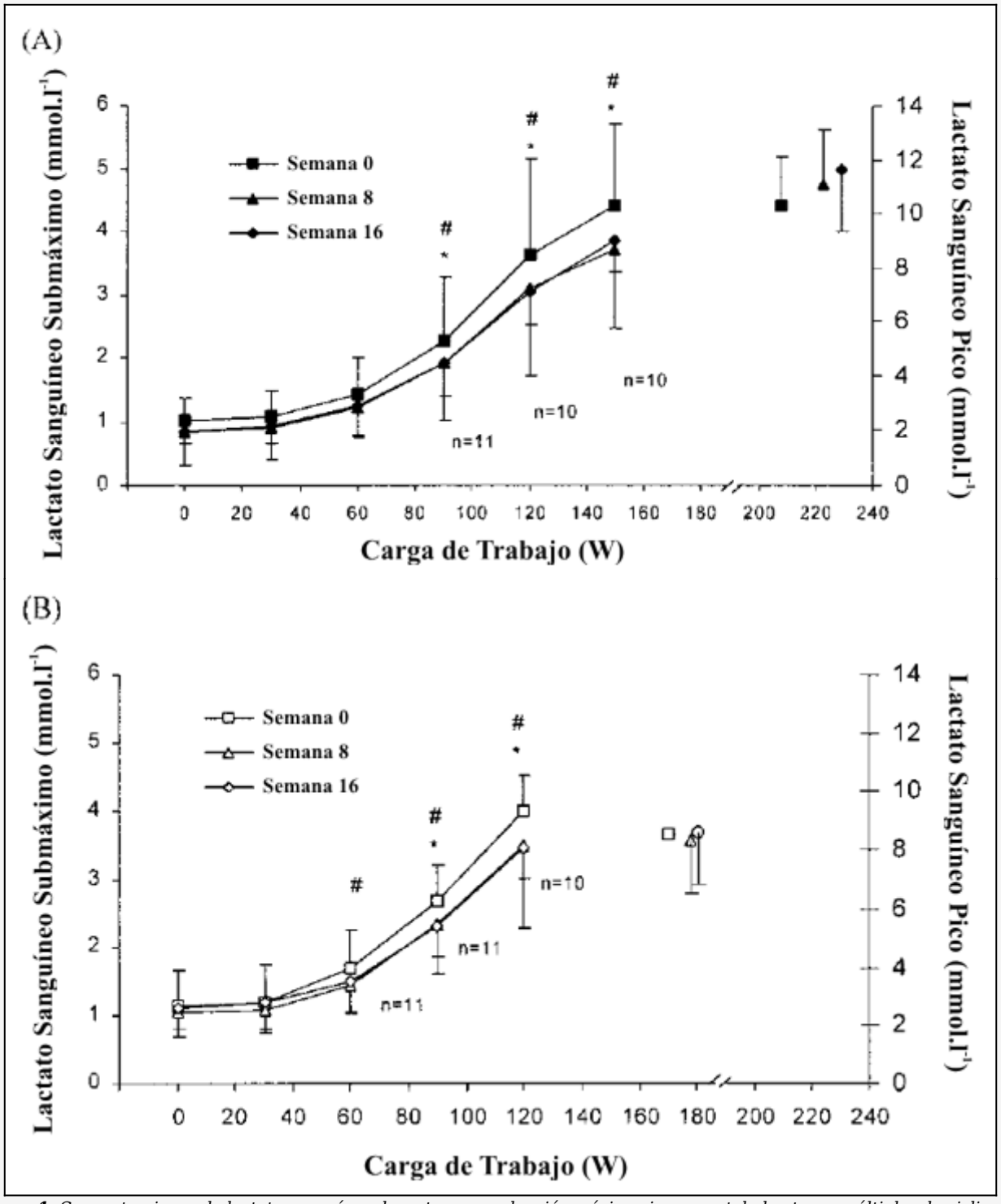


Figura 1. *Concentraciones de lactato sanguíneo durante una evaluación máxima, incremental, de etapas múltiples de ciclismo a cargas de trabajo submáximas y máximas en valores absolutos en hombres de mediana edad (a) (M46) y ancianos (b) (M64) en las semanas 0, 8, y 16 durante el período de entrenamiento de la fuerza de 16 semanas. # Significativamente diferente ($p<0.05$) entre las semanas 0 y 8; * Significativamente diferente ($p<0.05$) entre las semanas 0 y 16. Los valores son medias±DS.*

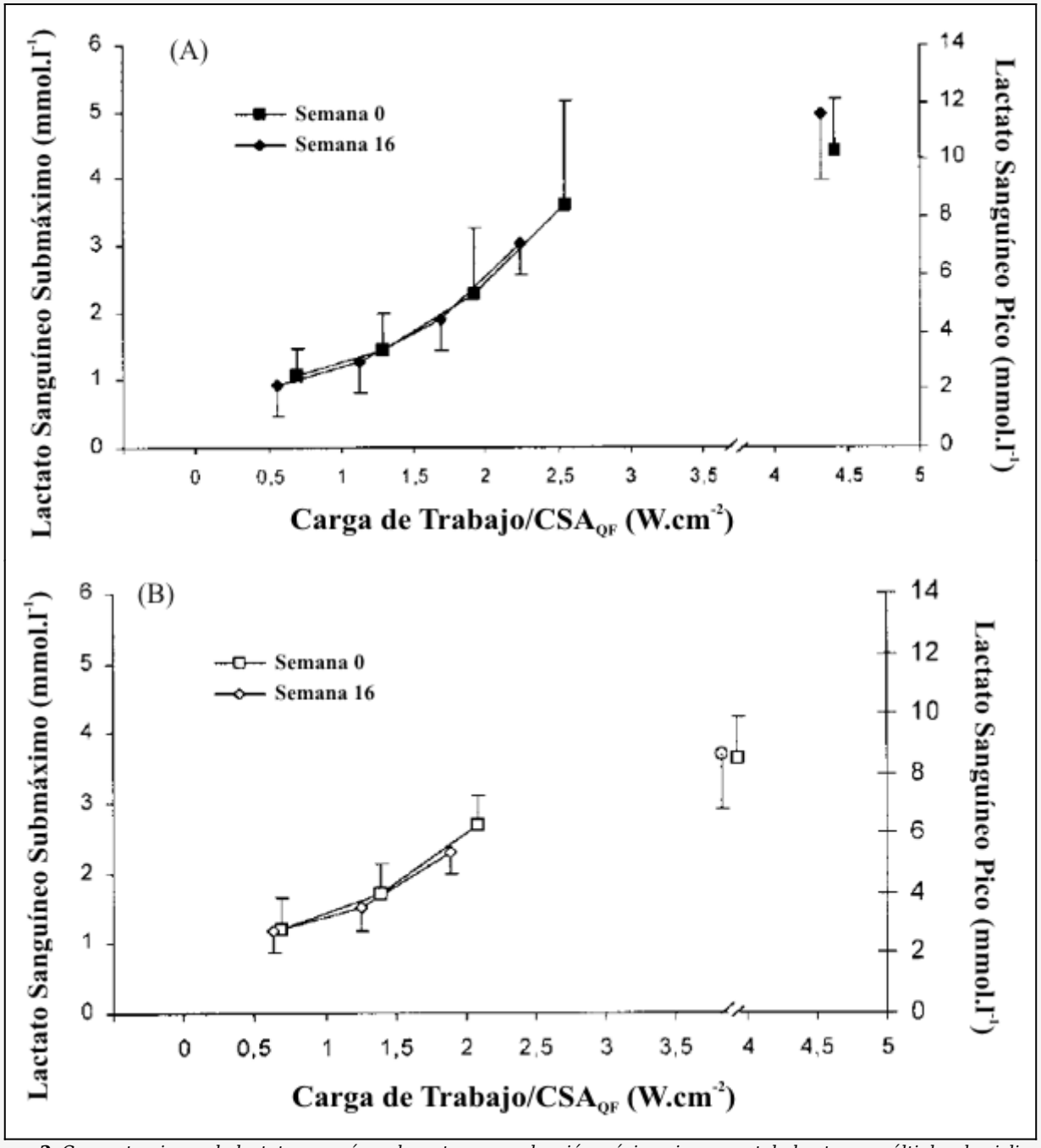


***Figura 2**. Concentraciones de lactato sanguíneo durante una evaluación máxima, incremental, de etapas múltiples de ciclismo a cargas de trabajo submáximas y máximas normalizadas por área de sección cruzada de grupo muscular cuadriceps femoral en sujetos de mediana edad (A) (M46) y ancianos (B) (M64) en las semanas 0, 8, y 16 durante el período de entrenamiento de la fuerza de 16 semanas. Los valores son medias±DS.*

Los datos de varios índices máximos y submáximos de rendimiento de ciclismo son presentados en la Tabla 2. No fueron observadas diferencias significativas entre los grupos en las cargas de trabajo pre-entrenamiento, expresadas en watts, que provocaron una concentración de lactato sanguíneo de cerca de 2 mmol.L^{-1} (W_2) y 4 mmol.L^{-1} (W_4). Las intensidades de entrenamiento correspondientes a W_2 y W_4 fueron marcadamente más altas después del período de entrenamiento de 16 semanas. Por ejemplo, durante las 16 semanas de entrenamiento las cargas de trabajo a W_2 y W_4 se incrementaron en 19±17% ($p<0.001$) y 8±8% ($p<0.01$), respectivamente, en el grupo M46 y en un 9±9% (no significativo) y 8±7% ($p<0.01$), respectivamente en el grupo M64. De manera similar a la $W_{máx}$ el incremento en W_2 y W_4 ocurrió principalmente durante las primeras 8 semanas de entrenamiento. El test ANCOVA no mostró diferencias entre los grupos en el incremento en (W_2) y (W_4) durante el período de entrenamiento de 16 semanas. No fueron observados cambios significativos en los valores máximos de las concentraciones de lactato sanguíneo y en la frecuencia cardiaca durante el período de

entrenamiento de 16 semanas en ambos grupos (Tabla 2). Durante el período de entrenamiento de 16 semanas, no fueron observados cambios significativos en el porcentaje de W_4 relativo a la $W_{máx}$.

Concentraciones Basales de Hormonas Séricas

No fueron observadas diferencias significativas entre los grupos en las concentraciones séricas de T, FT y C pre-entrenamiento en reposo. Las concentraciones séricas hormonales de T, FT, y C permanecieron inalteradas durante el período de control de 4 semanas en ambos grupos. Durante el período de entrenamiento de 16 semanas, no fueron observados cambios significativos en T en cualquiera de los grupos. Para C, fue observada una disminución significativa ($p<0.05$) en M64 durante las últimas 8 semanas de entrenamiento, mientras que en M46, C permaneció sin cambios a través de todo el período de entrenamiento. El test ANCOVA mostró que durante el período de entrenamiento de 16 semanas, las concentraciones de FT séricas mostraron una mayor disminución en el grupo M64 que en el grupo M46 ($p<0.05$), principalmente durante las últimas 8 semanas de entrenamiento.

Los datos muestran que fueron observadas correlaciones estadísticamente significativas en el grupo M46 y M64 entre los cambios inducidos por el entrenamiento observados en la $W_{máx}$ durante la evaluación de ciclismo y las concentraciones de hormonas séricas. Así, en todos los sujetos, los cambios individuales observados en la $W_{máx}$ durante el período de entrenamiento de 16 semanas correlacionó significativamente con los cambios individuales observados en el índica T sérica:C (Figura 3 A) y el índice FT sérica:C (Figura 3 B). En el grupo M64 solo, las respectivas correlaciones entre los cambios en $W_{máx}$ y en T, C y FT, y los índices de T total:C fueron significativos ($r=0.62$, $r=-0.75$, $r=0.78$, y $r=0.65$; $p<0.05$-0.01, respectivamente), mientras que el grupo M46, los respectivos valores de correlaciones no alcanzaron niveles de significancia estadística. En el grupo M64, el análisis de regresión múltiple usando los cambios individuales en $W_{máx}$ durante el período de entrenamiento de 16 semanas como variable independiente, mostró que los cambios individuales observados en el índice T:C ($R^2=0.62$; $p<0.01$) predijeron un 62% de la varianza en la $W_{máx}$ durante el período de entrenamiento de la fuerza.

En el grupo M46, fue observada una correlación parcial estadísticamente significativa (controlando para la $W_{máx}$ inicial) entre los niveles iniciales de T sérica e índice T:C y los cambios individuales observados en la $W_{máx}$ durante las primeras 8 semanas ($r=0.81$ y $r=0.7$; $p<0.01$, respectivamente) y el período de entrenamiento de 16 semanas ($r=0.81$; $p<0.01$ con T al mes 0) (Figura 4).

DISCUSIÓN

El principal resultado de este estudio demostró que el entrenamiento de fuerza de 16 semanas progresivo que conduce a grandes ganancias de la fuerza máxima del tren inferior (41-45%) en hombres de mediana edad y ancianos proporciona un estímulo de entrenamiento moderado (6-11%), pero estadísticamente significativo para mejorar la $W_{máx}$ durante el ciclismo en las primeras 8 semanas de entrenamiento. Estas 8 semanas iniciales de entrenamiento de la fuerza implicaron cargas ligeras a moderadas (40-70% de 1 RM), pero fueron realizadas usando un alto número de repeticiones (10-15). Estudios previos sobre el efecto del entrenamiento de la fuerza en humanos no han demostrado mejoras (1, 22-24, 29, 31), o han demostrado pequeños incrementos en el consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.) (11-13, 21, 23, 29, 45) y $W_{máx}$ (21, 28), lo cual puede ser considerado como una variable de predicción precisa del VO_2 máx.

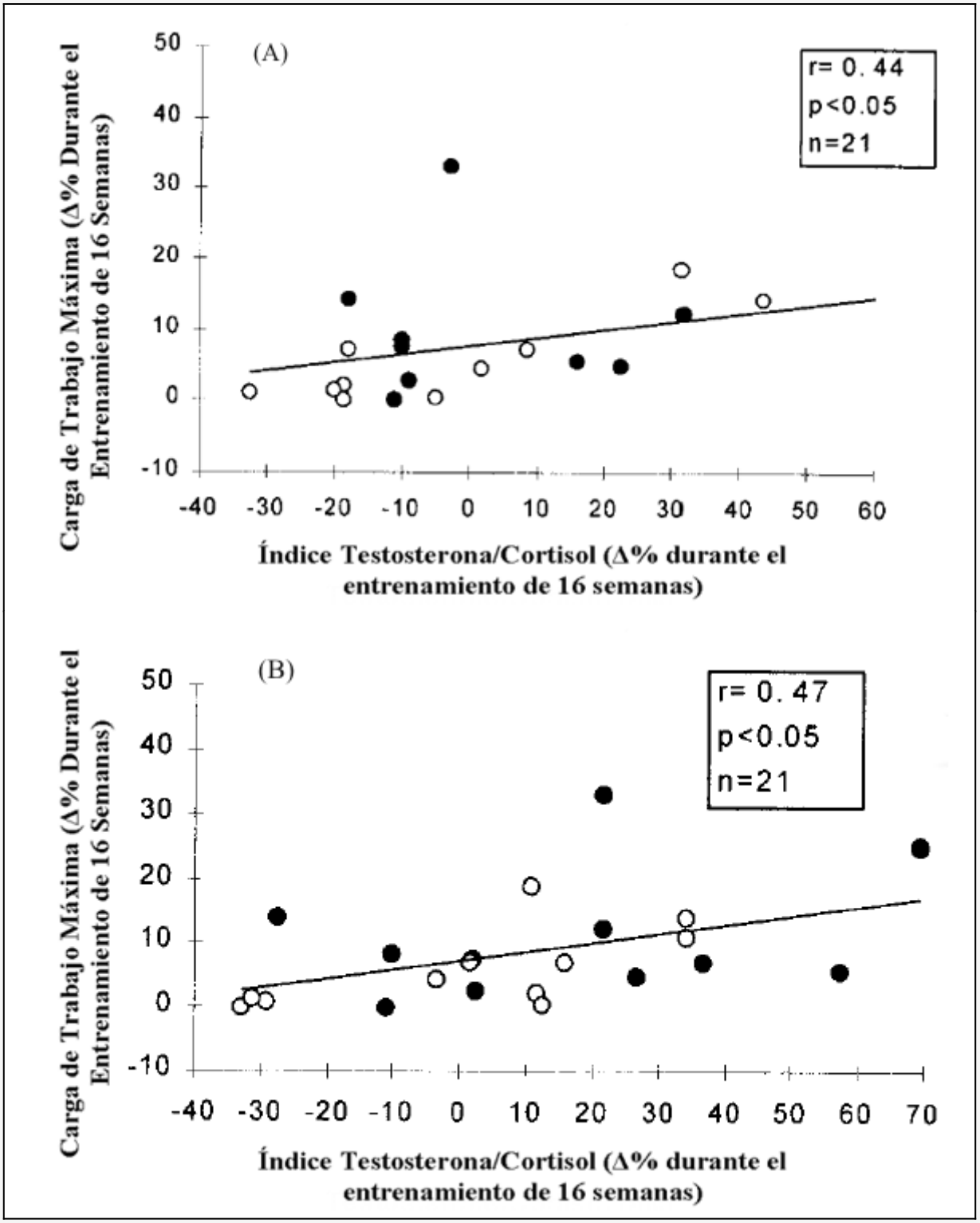


Figura 3. *Correlaciones entre los cambios individuales en la carga de trabajo máxima y los cambios individuales en el índice testosterona sérica total-cortisol (C), en el índice testosterona libre-C (B) y aquellos durante el período de entrenamiento de 16 semanas en el grupo entero de hombres de mediana edad (M46) y ancianos (M64).*

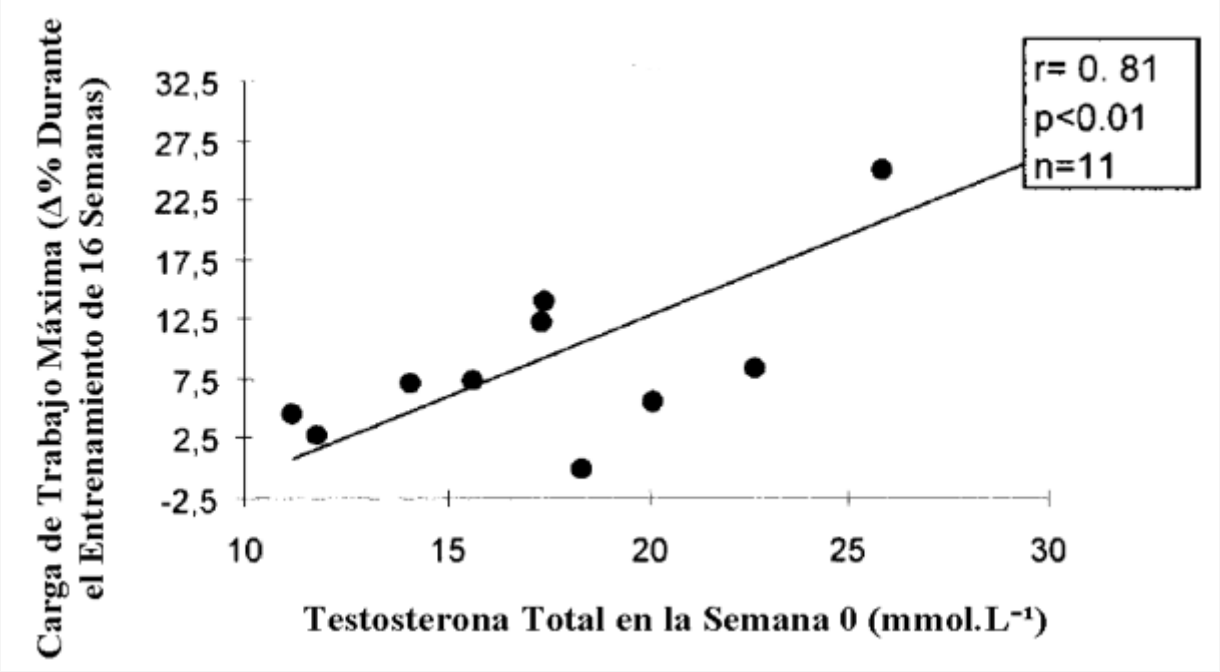


***Figura 4**. Correlación entre los niveles iniciales individuales de testosterona total en la semana 0 y los cambios individuales en la carga de trabajo máxima durante el período de entrenamiento de 16 semanas en hombres de mediana edad (M46).*

Es difícil comparar los resultados de varios estudios, los cuales difieren marcadamente en un número de factores incluyendo el modo, frecuencia, duración e intensidad del entrenamiento, historia de entrenamiento y edad de los participantes, horarios y días de entrenamiento, y selección de variables dependientes (34). Sin embargo, en sujetos previamente desentrenados, parece que el tipo de entrenamiento de la fuerza y la edad de los sujetos tiene diferentes efectos sobre el VO_2 máx. y la $W_{máx}$. Así, en hombres jóvenes previamente desentrenados que realizan entrenamiento de la fuerza que involucre resistencias bajas (40-55% de 1 RM) con un alto número de repeticiones (10-15) por serie, la mayoría de los autores encontró pequeñas mejoras en el VO_2 máx. absoluto y el tiempo hasta el agotamiento (12, 13, 29, 45). Sin embargo, cuando hombres jóvenes y de mediana edad, desentrenados realizaron programas de entrenamiento de la fuerza de alta intensidad tradicionales que involucran altas cargas (entre el 70 y 100% de 1 RM) y pocas repeticiones (1-10), no pudieron ser observados incrementos en el VO_2 máx. o la $W_{máx}$ (1, 20, 22-24, 31, 36). Los hombres ancianos responden al entrenamiento de la fuerza de alta intensidad de manera diferente a los hombres jóvenes, debido a que los ancianos son capaces de incrementar la capacidad de algunos componentes del sistema de transporte de oxígeno, conduciendo a pequeños incrementos en el VO_2 máx. (11, 21) y $W_{máx}$ (21). Los resultados de este estudio coinciden con aquellos de estudios anteriores, debido a que fueron observados incrementos moderados en la $W_{máx}$ durante el ciclismo en hombres de mediana edad previamente desentrenados, después de 8 semanas de entrenamiento de la fuerza, el cual implico cargas de bajas a moderadas (40-70% de 1 RM) realizadas con un alto número de repeticiones (10-15). Además, para nuestro conocimiento, este es el primer estudio que demostró que el presente régimen de entrenamiento de la fuerza de moderada carga, pero de altas repeticiones incrementa la $W_{máx}$ durante el ciclismo en ancianos previamente desentrenados.

Además del incremento observado en $W_{máx}$, las primeras 8 semanas de entrenamiento de la fuerza incrementaron la carga de trabajo submáxima requerida para provocar un nivel de lactato sanguíneo de 4 $mmol.L^{-1}$ (W_4) y resultó en menores niveles de lactato sanguíneo durante el ejercicio submáximo en los hombres de mediana edad y ancianos. Interesantemente, la carga de trabajo que produjo un nivel de lactato sanguíneo de 4 $mmol.L^{-1}$ ocurrió al mismo porcentaje de la $W_{máx}$ después del entrenamiento. Ha sido sugerido que la intensidad del ejercicio requerida para producir un nivel submáximo dado de lactato sanguíneo y VO_2 máx. es determinada por diferentes factores. El VO_2 máx. es principalmente dependiente de factores cardiovasculares centrales, como el gasto cardiaco y el volumen de eyección sistólico, y la carga de trabajo submáxima produce un nivel de lactato dado (i.e., W_4) siendo principalmente dependiente de factores periféricos, como la actividad enzimática del músculo esquelético o el número de mitocondrias (40, 44). No se sabe si las adaptaciones "del tipo aeróbicas" (incremento en la $W_{máx}$ y W_4) producidas en los hombres de mediana edad y ancianos durante las primeras 8 semanas del presente estudio son de naturaleza periférica o central, debido a que el incremento observado en W_4 (8%) en ambos grupos fue similar en magnitud al incremento observado en $W_{máx}$ (6-11%). Sin embargo, varias razones sugieren que estas adaptaciones son principalmente de naturaleza periférica: (a) Frontera et al. (11) sugirieron que la mejora significativa en la capacidad de todo el cuerpo para el uso del oxígeno durante la evaluación de

VO_2 máx. en ciclismo observada después del entrenamiento de la fuerza, ocurre principalmente en el nivel muscular en el músculo vasto lateral después del entrenamiento de la fuerza. (b) Varios autores no encontraron un incremento en el máximo consumo de oxígeno después del entrenamiento de la fuerza, pero encontraron mejoras en el rendimiento de resistencia de corta (22, 23) y larga (22, 36) duración, el cual se ha demostrado que esta fuertemente relacionado a W_4 (8, 9, 15). (c) El incremento significativo en el VO_2 máx. observado en hombres jóvenes y ancianos previamente desentrenados, después de varias semanas de entrenamiento de la fuerza (11, 13, 23, 37) puede resultar principalmente de cambios en la masa muscular y no de mejoras en la habilidad del individuo de transportar el oxígeno a los músculos que trabajan. La mejora en los valores de VO_2 máx. absoluto desapareció cuando la misma fue expresada relativa al peso corporal (11, 23), el peso corporal magro (13), o el peso libre de grasa (37). (d) Han sido encontradas respuestas similares en este estudio en ambos grupos durante el período de entrenamiento en el LA sanguíneo durante el ejercicio de ciclismo submáximo cuando la carga de trabajo fue expresada relativa a la CSA muscular. Esto sugiere que la demanda de energía aeróbica por unidad de tejido muscular es probablemente similar después del entrenamiento de la fuerza. Estas observaciones sugieren que el entrenamiento de la fuerza produce una variedad de adaptaciones de tipo aeróbicas que fueron de naturaleza principalmente periféricas.

El incremento en W_4 después del entrenamiento ha sido interpretado como una medición del incremento en la resistencia submáxima debido a que varios estudios han demostrado que la intensidad del ejercicio requerida para producir un nivel dado de lactato sanguíneo submáximo esta fuertemente correlacionada al rendimiento de resistencia (8, 9, 15). No es sabido como el entrenamiento de la fuerza podría incrementar el rendimiento de resistencia en ciclismo. Varios autores sugirieron que el incremento en la fuerza del cuadriceps observada después del entrenamiento de la fuerza podría incrementar el rendimiento de resistencia en ciclismo por medio de una reducción en el porcentaje de tensión pico requerida para cada empuje del pedal (22), por medio de la reducción de la oclusión del flujo sanguíneo durante la contracción (36) y por medio del incremento de la densidad de los capilares por fibra y de la actividad de la citrato sintetasa en el músculo cuadriceps (11). Además, el incremento de la actividad agonista o los cambios en el grado de coactivación agonista-antagonista, o ambos, reportados con el entrenamiento de la fuerza pueden explicar también, en alguna medida, una carga submáxima sostenida de mayor eficiencia (5, 17).

Durante las últimas 8 semanas del programa de entrenamiento de la fuerza de 16 semanas, no fueron observados incrementos posteriores en la $W_{máx.}$ y W_4 en hombres de mediana edad o ancianos. Los diferentes protocolos de entrenamiento de la fuerza usados durante las últimas 8 semanas de entrenamiento, que implicaron cargas más altas (60-80% de 1 RM) y menor número de repeticiones (5-12), en comparación con aquel usado durante las primeras 8 semanas de entrenamiento (40-70% de 1 RM, 10-15 repeticiones) no pudieron explicar la ausencia de mejora en el rendimiento de ciclismo observado durante las últimas 8 semanas de entrenamiento de la fuerza. Una explicación alternativa podría ser el estado de entrenamiento de los sujetos. Ha sido demostrado que el entrenamiento de la fuerza es efectivo para incrementar la capacidad de trabajo aeróbica en sujetos previamente desentrenados, pero no en sujetos entrenados (29). Puede ser especulado que los sujetos de mediana edad y ancianos pueden beneficiarse a partir de un incremento en el rendimiento aeróbico con el entrenamiento de la fuerza cuando ellos son previamente desentrenados (las primeras 8 semanas), pero no cuando están entrenados en entrenamiento de la fuerza (últimas 8 semanas).

Un hallazgo extraordinario de este estudio fue que el incremento individual en la carga de trabajo máxima en ciclismo ($W_{máx.}$) durante el período de entrenamiento de la fuerza de 16 semanas correlacionó con los cambios individuales en los índices de T sérica total:C, y FT sérica:C en todos los sujetos (Figura 3). Lo mismo ocurrió para los cambios en la T y C séricas y los cambios en la carga de trabajo máxima en ciclismo en el grupo de los ancianos solos. Además, los niveles individuales iniciales de T sérica total correlacionaron con los cambios en la carga de trabajo máxima en ciclismo en el grupo de mediana edad (Figura 4). Los hallazgos indican que los hombres que desarrollaron una mejora en el ambiente anabólico durante las 16 semanas de entrenamiento de la fuerza mostraron un mayor incremento en $W_{máx.}$, que aquellos con menores incrementos o para no mencionar aquellos con aún cierta disminución en su ambiente anabólico, especialmente los ancianos. Esta observación sugiere que un bajo nivel de la hormona anabólica T puede ser un factor limitante en el desarrollo de la resistencia durante el entrenamiento de fuerza prolongado, especialmente en ancianos. Además, los hombres de mediana edad con concentraciones iniciales altas de hormonas anabólicas mostraron un mayor incremento en la $W_{máx.}$ durante el período de entrenamiento de 16 semanas que aquellos con niveles basales más bajos. Ha sido demostrado que los cambios inducidos por el entrenamiento de la fuerza en el índice T sérica:C que tienen un correlación significativa con los cambios en el rendimiento de fuerza en el hombre (19). Las altas correlaciones observadas entre las concentraciones séricas de hormonas anabólicas y los cambios en el ejercicio de ciclismo podrían ser considerados como un hallazgo inesperado, debido a que el ciclismo es una evaluación no específica para medir los efectos del entrenamiento de la fuerza. Sin embargo, Kraemer et al. (31) encontraron que una evaluación de ejercicio progresivo discontinuo puede ser apropiada para estudiar las adaptaciones hormonales a un programa de entrenamiento de la fuerza, debido a que este tipo de ejercicios produce grandes cambios en los niveles séricos de T y C (14, 28, 31), sugiriendo un incremento de la secreción hormonal, y debido a que después de varias semanas de entrenamiento de la fuerza, hay una respuesta hormonal diferencial a este tipo de ejercicio no específico. Nosotros no fuimos capaces de medir respuestas

hormonales agudas al ejercicio de ciclismo, pero determinamos las concentraciones basales de las hormonas examinadas. No obstante, las correlaciones encontradas en este estudio entre varios índices de la evaluación de ciclismo y las concentraciones basales de hormonas séricas después del entrenamiento de la fuerza, sugieren que el ciclismo incremental máximo podría ser usado como una evaluación adicional para detectar respuestas anabólicas-catabólicas al entrenamiento de fuerza prolongado en hombres de mediana edad y ancianos.

Los resultados de este estudio indican que un programa de entrenamiento de la fuerza de alta intensidad, progresivo de 16 semanas de duración provee un estímulo de entrenamiento moderado, pero estadísticamente significativo para mejorar la $W_{máx}$. y la carga de trabajo submáxima requerida para provocar un nivel de lactato sanguíneo de 4 $mmol.L^{-1}$ (W_4) durante una evaluación de ejercicio de ciclismo progresiva y discontinua en hombres de mediana edad y ancianos. Las ganancias en $W_{máx}$. y W_4 fueron similares en ambos grupos de sujetos y ocurrieron principalmente durante las primeras 8 semanas de entrenamiento de la fuerza. Las correlaciones encontradas en este estudio entre varios índices de la evaluación de ciclismo y las concentraciones séricas de hormonas anabólicas después del entrenamiento de la fuerza, sugieren que el ciclismo incremental máximo podría ser usado como una evaluación adicional para detectar respuestas anabólicas-catabólicas al entrenamiento en hombres de mediana edad y ancianos.

Aplicaciones Prácticas

Las estrategias de los programas de entrenamiento para mejorar la calidad de vida de los individuos ancianos se han vuelto más importantes ya que la población anciana continua creciendo. Las presentes observaciones pueden tener importante relevancia práctica para la construcción óptima de los programas de entrenamiento de la fuerza en hombres de mediana edad y ancianos, debido a que la fuerza muscular, la habilidad para desarrollar fuerza rápidamente y el rendimiento de resistencia son componentes de la aptitud física relacionados con la salud que contribuyen con varias actividades de la vida diaria, como subir escaleras, caminar, realizar esfuerzos submáximos y preservar el estilo de vida independiente. En general, durante la fase inicial del entrenamiento de la fuerza de corta duración (i.e., 8 semanas de entrenamiento, 2 días por semana, 3-5 series con el 50-70% de 1 RM), ocurren grandes incrementos en la fuerza máxima (25%), en la masa muscular (11-13%), y en el rendimiento de resistencia (6-11%) en respuesta a las demandas externas del estímulo de entrenamiento en hombres de mediana edad y ancianos. Este tipo de entrenamiento de la fuerza de corta duración parece ser la solución para los propósitos preventivos para inducir impresionantes ganancias de la fuerza, aumento de la CSA muscular, y mejoras moderadas en el rendimiento de resistencia. Sin embargo, después del período de entrenamiento inicial de 8 semanas, cuando la intensidad o frecuencia totales, o ambas, del entrenamiento se incrementaron, fue observada una disminución de la tasa de ganancia o una disminución del nivel de fuerza máxima y un plateau en el rendimiento de resistencia en los hombres ancianos en comparación con los hombres de mediana edad. Esto puede estar asociado con una mayor disminución en los niveles de FT sérica en los ancianos que en los hombres de mediana edad. Los sujetos ancianos podrían ser más sensibles a la duración o a la intensidad del entrenamiento, o a ambas, que los sujetos de mediana edad. Es posible que durante el entrenamiento de fuerza prolongado, el desarrollo de la fuerza máxima y del rendimiento de resistencia en los sujetos ancianos estuviera limitado en magnitud debido al deterioro en la plasticidad del sistema endocrino observada con el envejecimiento. De este modo, pueden ser necesitadas estrategias de entrenamiento alternadas después de 8 semanas de entrenamiento de la fuerza para mejorar el rendimiento de un individuo en actividades dinámicas que requieren esfuerzos submáximos.

Agradecimientos: Este estudio fue apoyado por becas del Instituto Navarro de Deporte y Juventud y por el Departamento de Salud. Gobierno de Navarra, España.

Dirección para Correspondencia: Dr. Mikel Izquierdo, mizquierdo@jet.es

REFERENCIAS

1. ALLEN, T.E., R.J. BYRD, AND D.P. SMITH (1979). Hemodynamic consequences of circuit weight training. *Res. Q. 47:299306*
2. ALLEN, W., D.R. SEALS, B.F. HURLEY, A.A. EHSANI, AND J.M. HAGBERG (1985). Lactate threshold and distance running performance in young and older endurance athletes. *J. Appl. Physiol. 58:12811284*
3. AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE (1998). ACSM guidelines on exercise and physical activity for older adults. *Med. Sci. Sports Exerc. 30:9921008*
4. ASTRAND, I., P.O. ASTRAND, I. HALLBACK, AND A. KILBOM (1973). Reduction in maximal oxygen uptake with age. *J. Appl. Physiol. 35:649654*
5. BEHM, D.G., AND D.M. ST-PIERRE (1988). The effects of strength training and disuse on the mechanisms of fatigue. *Sports Med. 25: 173189*
6. BLAIR, S.N., P. PAINTER, R.R. PATE, L.K. SMITH, AND C.B. TAYLOR (eds.) (1988). Resource Manual for Guidelines for Exercise

Testing and Prescription. American College of Sports Medicine. *Philadelphia: Lea & Febiger. pp. 414–420*
7. COOPER, C., D.R. TAAFFE, D. GUIDO, E. PACKER, L. HOLLOWAY, AND R. MARCUS (1998). Relationship of chronic endurance exercise to the somatotropic and sex hormone status of older men. *Eur. J. Endocrinol. 138:517*
8. COSTILL, D.L., H. THOMASON, AND E. ROBERTS (1973). Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Med. Sci. Sports Exerc. 5:248–252*
9. COYLE, E.F., A.R. COGGAN, M.K. HOOPER, AND T.J. WALTERS (1988). Determinants of endurance in well-trained cyclists. *J. Appl. Physiol. 64:2622–2630*
10. FLEG, J.L., AND E.G. LAKATTA (1988). Role of muscle loss in the age associated reduction in V02max. *J. Appl. Physiol. 65:1147–1151*
11. GETTMAN, L.R., J.J. AYRES, M. POLLOCK, AND A. JACKSON (1978). Effect of circuit weight training on strength, cardiorespiratory function, and body composition of adult men. *Med. Sci. Sports Exerc. 10:171–176*
12. GETTMAN, L.R., L.A. CULTER, AND T.A. STRATHMAN (1980). Physiologic changes after 20 weeks of isotonic vs. isokinetic circuit training. *J. Sports Med. Phys. Fitness 20:265–274*
13. HACKNEY, A.C., M.C. PREMO, AND R.G. MCMURRAY (1995). Influence of aerobic versus anaerobic exercise on the relationship between reproductive hormones in men. *J. Sports Sci. 13:305–311*
14. HAGBERG, J.M., AND E.F. COYLE (1983). Physiological determinants of endurance performance as studied in competitive racewalkers. *Med. Sci. Sports Exerc. 15:287–289*
15. HENNESSY, L.C., AND A.W. WATSON (1994). The interference effects of training for strength and endurance simultaneously. *J. Strength Cond. Res. 8(1):12–19*
16. HEPPLE, R.T., S.L.M. MACKINNON, J.M. GOODMAN, S.G. THOMAS, AND M.J. PLYLEY (1997). Resistance and aerobic training in older men: Effects on VO2 peak and the capillary supply to skeletal muscle. *J. Appl. Physiol. 82:1305–1310*
17. HICKSON, R.C., B.A. DVORAK, E.M. GOROSTIAGA, T.T. KUROWSKI, AND C. FOSTER (1988). Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *J. Appl. Physiol. 65:2285–2290*
18. HICKSON, R.C., M.A. ROSENKOETTER, AND M.M. BROWN (1980). Strength training effects on aerobic power and short-term endurance. *Med. Sci. Sports Exerc. 12:336–339*
19. HURLEY, B.F., D.R. SEALS, A.A. EHSANI, L. CARTIER, G.P. DALSKY, J.M. HAGBERG, AND J.O. HOLLOSZY (1984). Effects of high-intensity strength training on cardiovascular function. *Med. Sci. Sports Exerc. 16:483–488*
20. JACKSON, A.G., AND M.L. POLLOCK (1977). Prediction accuracy of body density, lean body weigth and total body volume equations. *Med. Sci. Sports Exerc. 9:197–201*
21. JENSEN, J., H. OFTEBRO, B. BREIGAN, A. JOHNSSON, K. OHLIN, H.D. MEE, S.B. STROMME, AND H.A. DAHL (1991). Comparison of changes in testosterone concentrations after strength and endurance exercise in well trained men. *Eur. J. Appl. Physiol. 63:467–471*
22. KIMURA, Y., H. ITOW, AND S. YAMAZAKI (1981). Effects of circuit weight training on VO2 max and body composition of trained and untrained college men. *J. Physiol. Soc. Jpn. 43:593–596*
23. 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. 78:976–989*
24. KUIPERS, H., F.T.J. VERSTAPPEN, H.A. KEIZER, P. GEURTEN, AND G. VAN KRANENBURG (1985). Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiological correlates. *Int. J. Sports Med. 6:197–201*
25. LARSSON, L (1978). Morphological and functional characteristics of the aging skeletal muscle in man: A cross-sectional study. *Acta Physiol. Scand. Suppl. 457:1–36*
26. LEVERITT, M., P.J. ABERNETHY, B.K. BARRY, AND P.A. LOGAN (1999). Concurrent strength and endurance training: A review. *Sports Med. 28:413–427*
27. LEXELL, J (1993). Ageing and human muscle: Observations fromsweden. *Can. J. Appl. Physiol. 18(1):2–18*
28. MARCINIK, E.J., J. POTTS, W. SCHLABACH, P. DAWSON, AND B.F. HURLEY (1991). Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Med. Sci. Sports Exerc. 23:739–743*
29. 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 Exerc. 27:429–436*
30. POSNER, J.D., K.M. GORMAN, H.S. KLEIN, AND C.J. CLINE (1987). Ventilatory threshold: Measurement and variation with age. *J. Appl. Physiol. 63:1519–1525*
31. REIFF, G.G., H.J. MONTOYE, R.D. REMINGTON, J.A. NAPIER, H.L. METZNER, AND H.H. EPSTEIN (1967). Assessment of physical activity by questionnaire and interview. *Assessment of physical activity by questionnaire and interview. J. Sports Med. Phys. Fitness 7:1–32*
32. RUSKO, H., P. RAHKILA, AND E. KARVINEN (1980). Anaerobic threshold, skeletal muscle enzymes and fiber composition in young female cross-country skiers. *Acta Physiol. Scand. 108:263–268*
33. SKELTON, D.A., C.A. GREIG, J.M. DAVIES, AND A. YOUNG (1994). Strength power and related functional ability of healthy people aged 64–89 years. *Age Ageing 23:371–377*
34. STORER, T.W., J.A. DAVIS, AND V.J. CAIOZZO (1990). Accurate prediction of VO2max in cycle ergometry. *Med. Sci. Sports Exerc. 22:704–712*
35. THOMAS, S.G., D.A. CUNNINGHAM, J. THOMPSON, AND P.A. RECHNITZER (1985). Exercise training and ventilation threshold in elderly. *J. Appl. Physiol. 59:1472–1476*
36. WELTMAN, A (1995). The Blood Lactate Response to Exercise. *Champaign: Human Kinetics*
37. WILMORE, J.H., R.B. PARR, R.N. GIRANDOLA, P. WARD, AND P.A. VODAK (1978). Physiological alterations consequent to circuit weight training. *Med. Sci. Sports Exerc. 10:79–84*

Cita Original

Mikel Izquierdo, Keijo Häkkinen, Javier Ibañez, Alazne Antón, Miriam Garrués, Maite Ruesta and Esteban M. Gorostiaga.Effects of strength training on submaximal an maximal endurance performance capacity in middle-aged and older men. J. Strength Cond. Res 17 (1): 129-139, 2003.