

Monograph

Cambios en la Morfología Muscular, Actividad Electromiográfica, y en las Características de Producción de Fuerza durante el Entrenamiento Progresivo de Sobrecarga, en Hombres Jóvenes y Ancianos

Keijo Häkkinen¹, Robert U Newton², Bradley C Nindl³, Jeff S Volek³, Matthew McCormick³, Lincoln A Gotshalk³, Scott E Gordon³, Wayne W Campbell³, William J Evans³ y Arja Häkkinen⁴

¹Centro de Investigación Neuromuscular y Departamento de Biología de la Actividad Física Universidad de Jyväskylä, Finlandia.

²Facultad de Ciencias del Ejercicio y Administración Deportiva, Universidad Southern Cross, Australia.

³Laboratorio de Medicina Deportiva, Universidad Estatal de Pennsylvania, E.E.U.U. Departamento de Fisiología, hospital central, Jyväskylä, Finlandia.

RESUMEN

Los efectos de 10 semanas de un programa de entrenamiento progresivo de fuerza, compuesto por una combinación de ejercicios para el incremento de la masa muscular, fuerza máxima pico y fuerza explosiva (producción de fuerza rápida), fueron estudiados en 8 sujetos jóvenes (HJ) ($29 \pm$ años) y 10 sujetos ancianos (HM) (61 ± 4 años). Se evaluó la actividad electromiográfica, la máxima fuerza isométrica bilateral pico, y la tasa máxima de desarrollo de la fuerza (TDF) de los extensores de la rodilla, el área transversal del músculo (ATM) del cuádriceps femoral (CF), la proporción de fibras musculares y las áreas por fibra muscular (Tipos I, IIa, IIb y IIab) en el vasto lateral. Los valores de fuerza máxima y explosiva se mantuvieron sin alteraciones, en ambos grupos, durante un período de 3 semanas de control, sin un entrenamiento precedente al período de entrenamiento de la fuerza. Después de las 10 semanas de entrenamiento de fuerza, la máxima fuerza isométrica bilateral pico se incrementó desde 1311 ± 123 N, en un 15,6 % ($p < 0.05$) en el grupo HJ, y desde 976 ± 168 N, en un 16,5 % en el grupo HM. Los valores pre-entrenamiento de TDF de los extensores de la rodilla fueron de 4.049 ± 7.91 N/s para el grupo HJ, y de 2.536 ± 1.197 N/s en HM y los mismos se mantuvieron sin cambios. Ambos grupos mostraron un significativo incremento ($p < 0.05$) en el promedio de la IEMG máxima en los músculos vastos laterales. El ATM del CF se incrementó desde 90.3 ± 7.9 cm², en un 12,2 % en HJ ($P < 0.05$), y desde 74.7 ± 7.8 cm², en un 8,5 % en HM ($P < 0.001$). Durante el entrenamiento no se registraron cambios ocurridos en la distribución de fibras tipo I, mientras que la proporción del Tipo IIab se incrementó del 2% al 6 % ($p < 0.05$) en HJ. En contraste, las fibras de Tipo IIb disminuyeron, tanto en el grupo HJ (del 25% al 16 % - $p < 0.01$) como en el grupo HM (del 15% al 6 % - $p < 0.05$). El área media de las fibras Tipo I se incrementó después de dos semanas de entrenamiento tanto en el grupo HJ ($p < 0.01$) como en el grupo HM ($p < 0.05$), así como el área de las fibras Tipo IIa (ambos grupos, $p < 0.01$). Los valores del porcentaje de fibras Tipo I se correlacionaron inversamente con los cambios individuales registrados en el ATM del CF, durante el período de entrenamiento ($r = 0.56$, $p < 0.05$). Los resultados obtenidos sugieren que, tanto los mecanismos

neurales de adaptación como la capacidad del músculo esquelético en desarrollar hipertrofia inducida por el entrenamiento, aún en personas mayores de edad, explican las ganancias observadas en la fuerza máxima en hombres ancianos, mientras que la capacidad de producción de fuerza rápida, registrada durante la acción de isométrica de la rodilla, se mantuvo sin cambios durante el presente programa de entrenamiento mixto de la fuerza.

INTRODUCCION

La fuerza muscular del ser humano disminuye durante el proceso de envejecimiento, especialmente desde la sexta década de vida, tanto en hombres como en mujeres (30, 37, 47, 64, 65). La disminución en la fuerza puede explicarse en gran parte por la reducción en la masa muscular que, se cree, está mediada por una reducción en el tamaño y/o una pérdida de fibras individuales, especialmente de tipo II (3, 18, 20, 38, 39, 49). El envejecimiento también está asociado con una notable disminución en las características de fuerza explosiva del sistema neuromuscular determinada ya sea utilizando acciones dinámicas (8, 25, 61) o como la máxima tasa de producción de fuerza isométrica rápida (14, 30, 61, 64). Sin embargo, es difícil de interpretar hasta qué punto las disminuciones en la fuerza máxima y explosiva podrían explicarse solamente por cambios estructurales o por una disminución relacionada con la edad en la activación voluntaria máxima y/o la tasa máxima de activación de los músculos y/o cambios en el patrón de activación agonista-antagonista (25, 30, 49, 67).

Por el contrario, el entrenamiento sistemático de sobrecarga, tanto en personas jóvenes como en mayores, puede producir incrementos sustanciales en la fuerza, resultantes de considerables adaptaciones neurológicas, especialmente durante las primeras semanas de entrenamiento (29, 34, 45). El entrenamiento de la fuerza, en hombres y mujeres mayores, puede llevar a una mayor activación de los músculos agonistas (27, 45). Los efectos de aprendizaje inducidos por el entrenamiento (27) en términos de una menor coactivación de los músculos antagonistas (28) y/o una óptima activación de los sinergistas, también podría ser importante para mejorar la producción neta de la fuerza de los agonistas. Los datos recientes (23, 29, 50) muestran que el desarrollo de la fuerza durante el entrenamiento de sobrecarga, aún en personas mayores, podría incluir una considerable contribución de la hipertrofia muscular, cuando son suficientes tanto la intensidad total de entrenamiento como la duración del período del mismo (13, 20, 21, 23, 50, 63). No se sabe, de manera concluyente, hasta qué punto la distribución de las fibras musculares estaría relacionada con el grado de hipertrofia inducida por el entrenamiento y/o con el desarrollo de la fuerza. Si bien en sujetos jóvenes puede generarse una conversión de las sub-unidades de fibras rápidas en el músculo esquelético luego del entrenamiento de sobrecarga (1, 36, 58-60), es poco probable que dicho entrenamiento pudiera alterar las proporciones de fibras de Tipo I y II (42). Además de la fuerza máxima de los músculos, el rol de las características de la fuerza explosiva, especialmente de los músculos extensores de la rodilla, también es importante para distintas actividades físicas funcionales en los mayores, como por ejemplo subir escaleras, caminar y prevenir caídas (4). El típico entrenamiento de la fuerza de alta intensidad, que utiliza cargas altas a velocidades lentas, tiende a producir (también en personas mayores) una mayor fuerza máxima, con cambios menores en las características explosivas de los músculos entrenados (23). Es probable que para inducir aumentos en la capacidad de fuerza explosiva, el entrenamiento de la fuerza debería estar combinado con ejercicios de tipo explosivo, poniendo énfasis en las velocidades más altas de acción de los ejercicios realizados (27). En realidad, se ha mostrado que este tipo de entrenamiento de sobrecarga, combinando ejercicios de fuerza máxima y explosiva, produce en las personas mayores aumentos en la fuerza máxima y en las primeras porciones de la fuerza de la curva fuerza isométrica/tiempo (27), o en la producción de fuerza explosiva rápida durante movimientos musculares concéntricos (28).

Debido a que la optimización de la hipertrofia muscular inducida por el entrenamiento y el desarrollo de la fuerza máxima requieren protocolos de entrenamiento levemente diferentes, sin mencionar la gran especificidad necesaria para el desarrollo de la fuerza explosiva, este estudio examinó los efectos de un programa progresivo de entrenamiento de sobrecarga de 10 semanas de duración, cuyas variables fueron manipuladas para entrenar en forma simultánea 3 dimensiones de características musculares: hipertrofia, fuerza máxima, y fuerza explosiva. Nuestra hipótesis fue que tal programa produciría, por lo tanto, no solo una mayor activación neurológica e hipertrofia de los músculos entrenados (contribuyendo al desarrollo de la fuerza), sino también un aumento en la capacidad del sistema neuromuscular de producir fuerza rápida, tanto en hombres jóvenes como en los sujetos mayores.

METODOS

Sujetos. Dieciocho hombres sanos fueron distribuidos en 2 grupos por edades: 8 hombres jóvenes (HJ; 29 ± 5 años) y 10 hombres mayores (HM; 61 ± 4 años) que se ofrecieron voluntariamente como sujetos para este estudio. Se les informó

cuidadosamente a los sujetos acerca del diseño del estudio, y posibles riesgos y malestares que se podrían ocasionar. De allí en más, los sujetos firmaron un consentimiento por escrito antes de participar en el proyecto. El estudio se llevó a cabo de acuerdo a la declaración de Helsinki y fue aprobado por el Comité Institucional de Revisión para el Uso de Sujetos Humanos de la Universidad Estatal de Pennsylvania. El control médico y la cuantificación de la actividad física (a través de un cuestionario elaborado para este estudio) revelaron que todos los sujetos eran sanos y que realizaban actividad física en forma regular. Para mantenerse en buena forma física habían participado durante los últimos años (1-3 veces por semana) en distintas actividades recreacionales tales como caminata, trote (*"jogging"*), aerobics, o ciclismo, pero ninguno de los sujetos tenía antecedentes en el entrenamiento regular de sobrecarga, o en deportes competitivos de ninguna clase, ni estuvieron tomando ninguna medicación durante el estudio. En la Tabla 1 se presentan las características físicas de los hombres jóvenes y los hombres mayores, antes y después del entrenamiento de la fuerza.

| | Jóvenes (n=8) | | Mayores (n=10) | |
|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | Pre-entrenamiento | Post-entrenamiento | Pre-entrenamiento | Post-entrenamiento |
| Edad (años) | 29.2 ± 5.0 | - | 60.8 ± 4.0 | - |
| Altura (cm) | 179.8 ± 7.7 | - | 176.7 ± 6.9 | - |
| Peso corporal(kg) | 87.4 ± 12.5 | 90.4 ± 13.8 | 85.2 ± 12.7 | 86.0 ± 14.0 |
| | 15.7 ± 6.7 | 17.7 ± 5.3 | 49.9 ± 4.6 | 21.4 ± 3.7 |

Tabla 1. Características físicas (media ± DE) de hombres jóvenes (HJ) y hombres mayores (HM), antes y después de 10 semanas de entrenamiento de sobrecarga

Diseño experimental. La duración total del período experimental fue de 13 semanas. Los sujetos fueron evaluados en 5 ocasiones diferentes, utilizando idénticos protocolos. Las primeras 3 semanas del período de estudio fueron utilizadas como un período de control durante el cual no se llevo a cabo entrenamiento se sobrecarga sino que los sujetos mantuvieron sus actividades físicas normales. De allí en adelante, los sujetos empezaron con un período de entrenamiento experimental de sobrecarga supervisado, durante 10 semanas. Las evaluaciones se utilizaron durante el período control y de entrenamiento experimental real en las semanas -3, 0, 3, 6 y 10.

Evaluación. Los sujetos fueron cuidadosamente familiarizados con los procedimientos de evaluación de la fuerza voluntaria máxima de los músculos de las piernas en la semana -3, realizando diversas pruebas submáximas y máximas, antes de llevar a cabo los tests máximo. Esto se realizó para asegurar que todos los sujetos pudiesen ser capaces de activar totalmente sus músculos en los movimientos experimentales. La fuerza isométrica rápida y la tasa máxima de desarrollo de la fuerza isométrica (TDF, utilizada como medición de la fuerza explosiva en una acción isométrica rápida) de los extensores de la rodilla, fueron evaluadas mediante la utilización de un dinamómetro (versión modificada del dispositivo Cybex, Ronkonkoma, NY, USA). Para estos tests los sujetos se sentaron con las rodillas en flexión de 90° y 110° respectivamente. La producción de fuerza fue registrada utilizando transductores de fuerza en serie (Entran, NJ, USA). Para la realización de los tests se les pidió a los sujetos que ejercieran la mayor fuerza posible, lo más rápido posible durante un período de 2.5 a 5.0 segundos. Cada sujeto completó 3 a 4 series máximas (se les permitió una recuperación de 2 minutos entre las series) hasta que no se produjeran mayores incrementos en la fuerza pico. La fuerza pico fue definida como el valor más alto de fuerza (N) registrado durante la extensión bilateral de rodillas. El análisis de la curva fuerza - tiempo incluyó el cálculo de la tasa máxima de desarrollo de la fuerza (TDF; N/s) (65). La TDF fue definida como el mayor incremento en la fuerza durante un período de 50 milisegundos, calculado en cualquier parte de la curva.

Se registró la actividad electromiográfica (EMG) durante los movimientos bilaterales e isométricos de extensión de rodilla en el vasto lateral (VL) y medio (VM) de las piernas derecha e izquierda. Se colocaron dos electrodos de EMG de superficie con placas de plata/cloruro de plata (previa aplicación de gel conductor), separados cada 2 cm, en la parte más saliente de cada músculo en la posición aproximada del área de la placa motora, y un tercer electrodo fue adherido al maleolo lateral. Los electrodos fueron alineados en paralelo con las fibras de los músculos bajo investigación. Antes de la aplicación del electrodo, cada sitio fue rasurado y limpiado con alcohol, luego de lo cual los electrodos fueron suavemente adheridos. Las posiciones de los electrodos fueron situadas con un marcador. A medida que las marcas se borraban eran seguidas cuidadosamente y remarcadas, para mantenerlas visibles a lo largo de todo el período experimental de 13 semanas. Esto aseguro la misma ubicación de electrodos en cada test. Las señales fueron amplificadas utilizando un amplificador EMG noraxon (noraxon, Phoenix, AZ, EEUU), y las señales mioelectricas amplificadas así como los resultados de los transtuctores de fuerza fueron recolectados a 500 HZ por un canal, usando un programa de Windows 3.1180486DX y una tarjeta analógica-digital DT21-EZ (Data Translation, Marlboro, MA, EEUU). Los datos de la EMG digitalizados fueron almacenados junto con los registros de la fuerza isométrica en el disco de una computadora para posteriores análisis. Se calculó la EMG

promedio a través de rectificación de la onda total seguida por la integración (IEMG) durante la fase de fuerza pico (500-1500ms) de la acción isométrica máxima (para calcular la IEMG máxima) para cada músculo por separado; luego los valores fueron promediados para futuros análisis.

El área transversal de los músculos del muslo (libre de hueso) (ATMM) del la pierna dominante fue evaluada antes y después de 10 semanas de entrenamiento de sobrecarga, utilizando un imán de conducción de RMN 0.5-Tesla (Picker Internacional, Highland Heights, OH, EEUU) con software MR6B. Las imágenes fueron obtenidas por tiempo de relajación longitudinal (T1). El peso de T1 fue con tiempo de repetición (TR) de 500ms, y tiempo ecualizado (TE) de 13 ms. La absorción de potencia de radio frecuencia (RF, a 90°) fue de 0.028 watts/kg. El análisis del ATMM fue determinado a partir de la Resonancia Magnética Nuclear (RMN) utilizando una técnica que permite la mayor delineación y distinción entre músculos, y se ha mostrado que es más sensible que la TC para determinar los cambios en el tamaño muscular (16). Una vez que los sujetos estaban ubicados dentro del campo magnético, el muslo de la pierna dominante era sostenido bajo la rodilla de manera que estuviera paralelo a la camilla de la RMN, y los pies eran sujetados juntos para prevenir la rotación. Se obtuvieron imágenes sagitales del muslo, y se colocó una cuadrícula sobre las imágenes sagitales; luego se obtuvieron las imágenes transaxiales. Se obtuvieron 15 imágenes transaxiales equidistantemente entre la base de la cabeza del fémur y la unión del muslo con la rodilla, en la parte media.

Todas las imágenes de RMN fueron introducidas en una computadora Macintosh para el cálculo de AT muscular utilizando el programa de imágenes NIH (ikosan 1-55.20) (36). Para el ATMM se utilizó la porción 8 (siendo la porción 1 la base de la cabeza femoral). El área transversal (medida en cm^2) fue determinada marcando a lo largo del borde de cada músculo del cuádriceps femoral. Se utilizaron 200 marcaciones iniciales con la mano dominante para establecer la validez del investigador de acuerdo a los métodos de Blomstrand et al (6). El mismo investigador realizó todas las evaluaciones para un mismo sujeto con un coeficiente de confiabilidad intra-clase de $r = 0.99$.

Se llevó a cabo la validación inter-investigador para la magnitud absoluta de las mediciones de tamaño, y se observó un coeficiente de correlación intra-clase de $r = 0.98$. Por lo tanto, la magnitud de cada medición fue considerada dentro de la precisión para estos métodos, establecidos para la tecnología (6). La RMN fue llevada a cabo antes de la biopsia, y sin realizar ejercicios en las 48 horas antes de registro de las imágenes, para limitar el daño muscular. Para los test pre y post-entrenamiento se mantuvieron las mismas condiciones.

Se obtuvieron biopsias musculares antes del comienzo del entrenamiento, y aproximadamente 72 horas después de la última sesión de entrenamiento. Las muestras se obtuvieron de la porción superficial del vasto lateral de la pierna dominante utilizando la técnica de biopsia de Bergström (7) con aguja percutánea por succión (cerca de 100 ml), modificada por Evans et al (19). Debido a la posible variación en la distribución de los tipos de fibra desde los sitios superficial a profundo y proximal a distal, se tuvo especial cuidado en extraer tejido desde aproximadamente la misma ubicación, utilizando la cicatriz de la biopsia anterior (aproximadamente 0.5 cm de la cicatriz). Además, se tuvo cuidado en apuntar los problemas ante las diferentes biopsias (7, 38, 55) y utilizar un procedimiento similar a uno previamente publicado (55, 57). Las muestras de tejido muscular fueron congeladas en isopentano enfriado a -159°C con nitrógeno líquido, y almacenadas a -85°C hasta su análisis. Las áreas transversales seriales (12 cm de grosor) fueron cortadas con un criostato (American Optical, Buffalo, NY, EEUU) a -20°C para los análisis histoquímicos.

Las muestras pre y post-entrenamiento fueron analizadas histoquímicamente con el mismo tipo de tinte para evitar variancias entre ensayos. En nuestro laboratorio, los datos de biopsias repetidas (aleatoriamente realizadas) no mostraron variaciones significativas en las distribuciones del tipo de fibra. Se utilizó tinte histoquímico para la adenosin-trifosfatasa (ATPasa) miofibrilar para clasificar las fibras de tipo I y II, así como para los subtipos Ia, IIab y IIb de acuerdo a Staron (60). Los análisis histoquímicos utilizados para la clasificación de los tipos de fibra consistieron en evaluaciones de la ATPasa en el medio de pre-incubación (59, 60). Se calcularon los porcentajes de los tipos de fibras a partir del número de fibras (900 ± 100) en las secciones del tejido muscular, y se calcularon las áreas de 150 fibras, y un mínimo de 50 para fibras de tipo IIb post-entrenamiento cuando existían cantidades bajas de estas fibras. Las fibras fueron analizadas con un programa del Instituto Nacional de Salud (INS) (NIH Image 1.55b 20) y una computadora Macintosh Cuadra 800 interconectada a un microscopio Olympus BH-2. Los perímetros de todas las fibras de cada tipo de fibra muscular fueron medidos individualmente.

Todas las mediciones antropométricas fueron obtenidas por el mismo investigador, en la parte derecha del cuerpo del sujeto. Se midieron los pliegues cutáneos con un calibre Harpenden (H.E.Morse Co., presión constante de 10gr/mm) en el tórax, axial medial, abdomen, suprailíaco, subescapular, tríceps, y muslo, siguiendo los procedimientos descritos por Lohman et al (41). Se llevaron a cabo series repetidas, hasta obtenerse 2 mediciones con diferencia de 1 mm, utilizándose la media de estas dos mediciones. Se utilizó la ecuación para 7 sitios de Jackson y Pollock (33) para estimar la densidad corporal, y el porcentaje graso fue calculado posteriormente utilizando la ecuación de Siri (54).

Entrenamiento Experimental de Sobrecarga. Los sujetos participaron 3 veces por semana en un programa supervisado de

entrenamiento de sobrecarga, durante un período de 10 semanas, cada sesión de entrenamiento incluía un ejercicio sentadillas, ejercicios de extensión (en una posición de sentado) y flexión de rodilla (acostado en un banco), extensión y flexión del tronco usando pesas libres, y/o un ejercicio de press de banca (usando una maquina de press de banca) o un ejercicio de elevación de pantorrilla (en una posición de parado con la carga en los hombros). Los ejercicios utilizados para los músculos del muslo y pantorrilla siempre se realizaban en primer lugar, seguidos por los ejercicios para la musculatura de la extremidad superior y tronco. Durante cada semana, los días eran divididos en un "día de hipertrofia", o un "día de fuerza" y un "día de potencia". Específicamente, en una sesión de la semana, los sujetos realizaban series de 8-10 RM (repetición máxima), en otra sesión hacían series de 3-5 RM, y para la tercera sesión los sujetos realizaban los ejercicios de sentadillas y extensión de rodillas con cargas mas bajas (representando la carga de 15 RM); sin embargo, las velocidades de movimiento de cada repetición se mantenían las mas altas posibles (entrenamiento de la fuerza explosiva) durante 6-8 repeticiones por serie. Los pesos fueron aumentados en cualquier momento durante el transcurso del entrenamiento, cuando el sujeto era capaz de realizar una serie determinada con mas de diez repeticiones (día de hipertrofia) o mas de cinco repeticiones (días de fuerza).

Todos los ejercicios fueron realizados utilizando movimientos musculares concéntricos seguidos por movimientos excéntricos, durante la fase de "disminución" del movimiento. El número de series aumento progresivamente durante el curso del entrenamiento desde 3 (durante las semanas iniciales) hasta 6 (durante las últimas semanas) de acuerdo al ejercicio y al día de entrenamiento. Por lo tanto, el volumen total del entrenamiento aumento progresivamente a lo largo de 10 semanas.

Durante el período experimental de entrenamiento de 10 semanas los sujetos continuaron realizando actividades físicas tales como caminatas, trote o ciclismo, 1 a 2 veces por semana, en forma similar a lo que estaban acostumbrados antes de este experimento.

Análisis Estadísticos. Se utilizaron métodos estadísticos estándar para el cálculo de las medidas, desvíos estándar (DE), errores estándar (EE), y coeficiente de correlación de Pearson. Los datos fueron luego analizados utilizando el análisis de varianza multivariable (MANOVA) para medidas repetidas. Cuando se considero apropiado, se utilizaron pruebas t de probabilidad ajustada para comparaciones apareadas. Se utilizo el criterio de $p < 0.05$ para establecer significancia estadística.

RESULTADOS

El peso corporal y el porcentaje graso permanecieron estadísticamente sin cambios durante el período experimental en ambos grupos de sujetos (Tabla 1).

Máxima Fuerza Isométrica durante la Extensión de Rodillas, TDF e IEMG. La fuerza isométrica bilateral máxima de 1368 ± 151 N (media y DE), en la semana -3 por los sujetos del grupo HJ fue significativa mayor ($p < 0.01$) que la de 1013 ± 185 N registrada por los sujetos del grupo HM. Los valores de fuerza máxima permanecieron estadísticamente sin cambios durante el período de control de 3 semanas, en ambos grupos (Figura 1). Se observaron incrementos significativos desde 1311 ± 123 N hasta 1504 N (15.6%) ($p < 0.05$) en HJ, y desde 976 ± 168 N hasta 1132 ± 218 N (16.5%) ($p < 0.01$) en HM en la fuerza máxima, durante las 10 semanas de entrenamiento. Los cambios no difirieron significativamente entre los grupos. Los valores iniciales de la TDF de 4.440 ± 743 (EE) N/s en HJ, y de 2819 ± 398 N/s en HM (HJ vs. HM; $p < 0.001$) permanecieron estadísticamente sin cambios, tanto durante el período de control como durante el entrenamiento de sobrecarga, en ambos grupos. Ningún grupo mostró cambios estadísticamente significativos durante el período de control en la IEMG máxima del VL y VM en las acciones isométricas (Figura 2). El entrenamiento de 10 semanas produjo incrementos significativos en la IEMG promedio de los músculos, tanto en HJ ($p < 0.05$) como en HM ($p < 0.05$). Los cambios no definieron significativamente en los grupos. Además, el incremento durante las ultimas 4 semanas de entrenamiento fue significativo ($p < 0.05$) para el grupo total de sujetos (HJ y HM combinados).

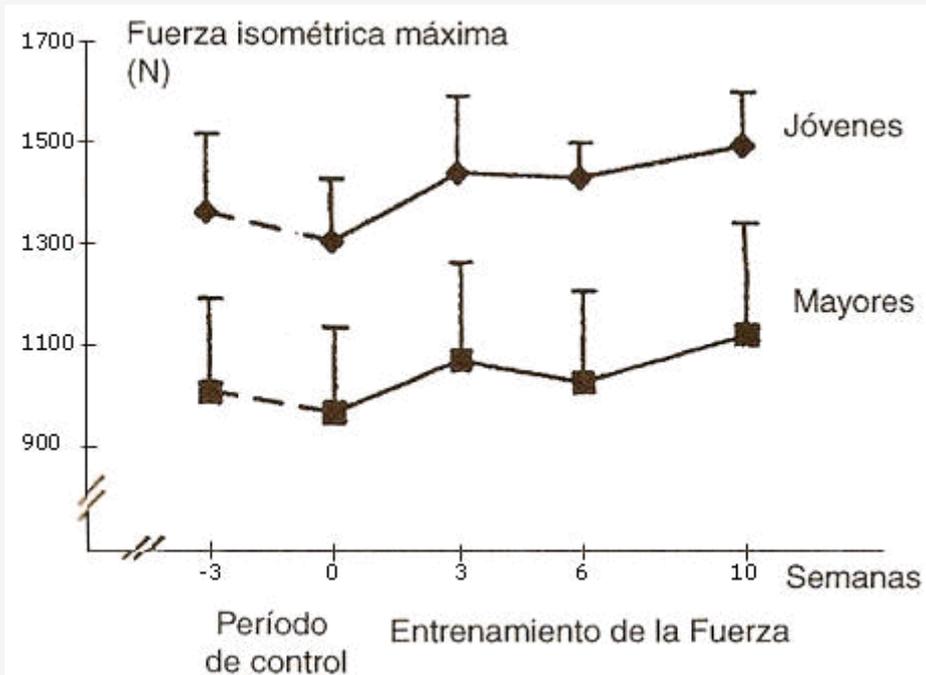


Figura 1. Media (\pm DE) de la fuerza isométrica voluntaria máxima de la extensión bilateral de rodilla, en hombres jóvenes ($n=8$) y mayores ($n=10$), durante el período de control de 3 semanas y durante el período de entrenamiento de sobrecarga de 10 semanas ($p < 0.05$ en HJ entre las semanas 0 y 10 y $p < 0.05$ en HM entre las semanas 0 y 10).

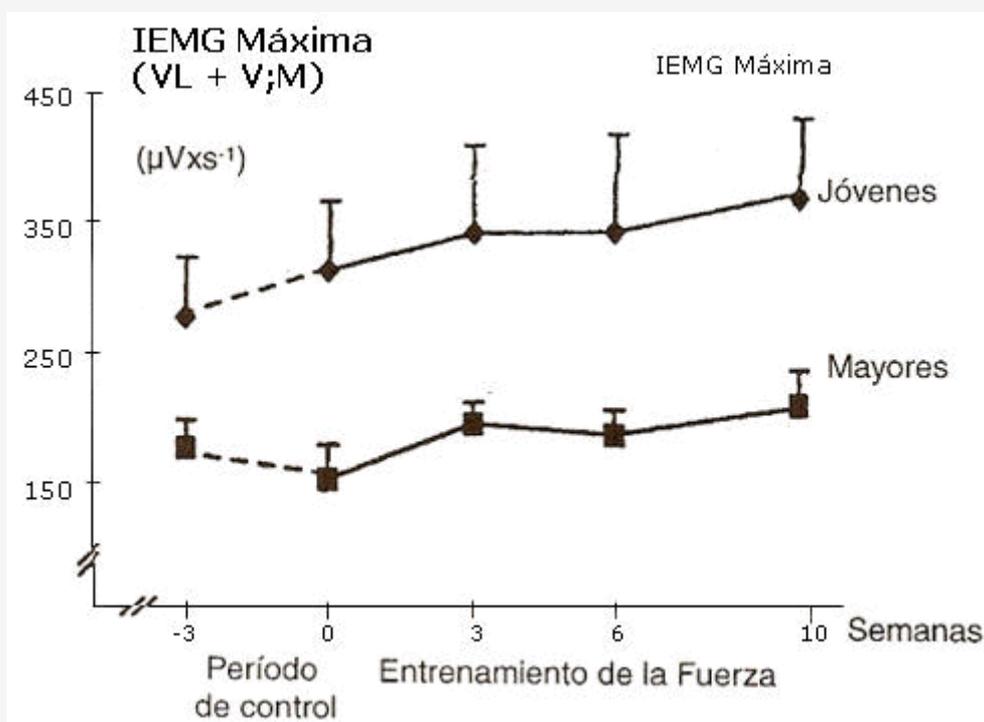


Figura 2. Promedio (\pm DE) de la máxima actividad electromiográfica integrada (IEMG promedio para el vasto lateral y medio de ambas piernas) en la extensión isométrica bilateral y máxima voluntaria de rodilla, en hombre jóvenes ($n=8$) y mayores ($n=10$) durante el período de control de 3 semanas y el período de 10 semanas de entrenamiento de la fuerza ($p < 0.05$ en HJ entre las semanas 0 y 10 y $p < 0.05$ en HM entre las semanas 0 y 10).

AT muscular. El valor pre-entrenamiento de 90.3 ± 7.9 (DE) cm^2 en el área transversal del cuádriceps femoral en HJ fue significativamente mayor ($p < 0.001$) que los 74.7 ± 7.8 cm^2 registrados para HM. Los valores individuales del AT muscular tuvieron una correlación significativa con los valores individuales pre-entrenamiento para la fuerza isométrica en HM ($r = 0.64$, $p < 0.05$) y en el grupo total de sujetos (HJ y HM) ($r = 0.59$, $p < 0.01$) pero no en HJ ($r = -0.07$, NS). Para músculos individuales, las áreas transversales del vaso lateral, medio, e intermedio, y el recto femoral aumentaron significativamente durante las 10 semanas de entrenamiento, tanto en HJ (valores de p entre 0.001 y 0.05), como en HM (valores p entre 0.001 y 0.05) (Figura 3). Los cambios no difirieron significativamente entre los grupos. El aumento relativo promedio en el área transversal del CF total fue del 12.2% ($p < 0.01$) para HJ, y del 8.5% ($p < 0.001$) para HM, pero los cambios fueron significativamente diferentes entre los grupos. Los valores medios pre y post-entrenamiento para la fuerza máxima por AT del CF total fueron de 13.9 ± 2.9 $\text{N}\cdot\text{cm}^2$ y 15.1 ± 1.5 $\text{N}\cdot\text{cm}^2$ (NS) en HJ, y de 13.1 ± 1.6 y 14.1 ± 2.6 $\text{N}\cdot\text{cm}^2$ (NS) en HM. En el grupo total de sujetos (HJ y HM); el valor respectivo aumento durante el entrenamiento de 13.4 ± 2.2 a 14.5 ± 2.3 $\text{N}\cdot\text{cm}^2$ ($p < 0.05$).

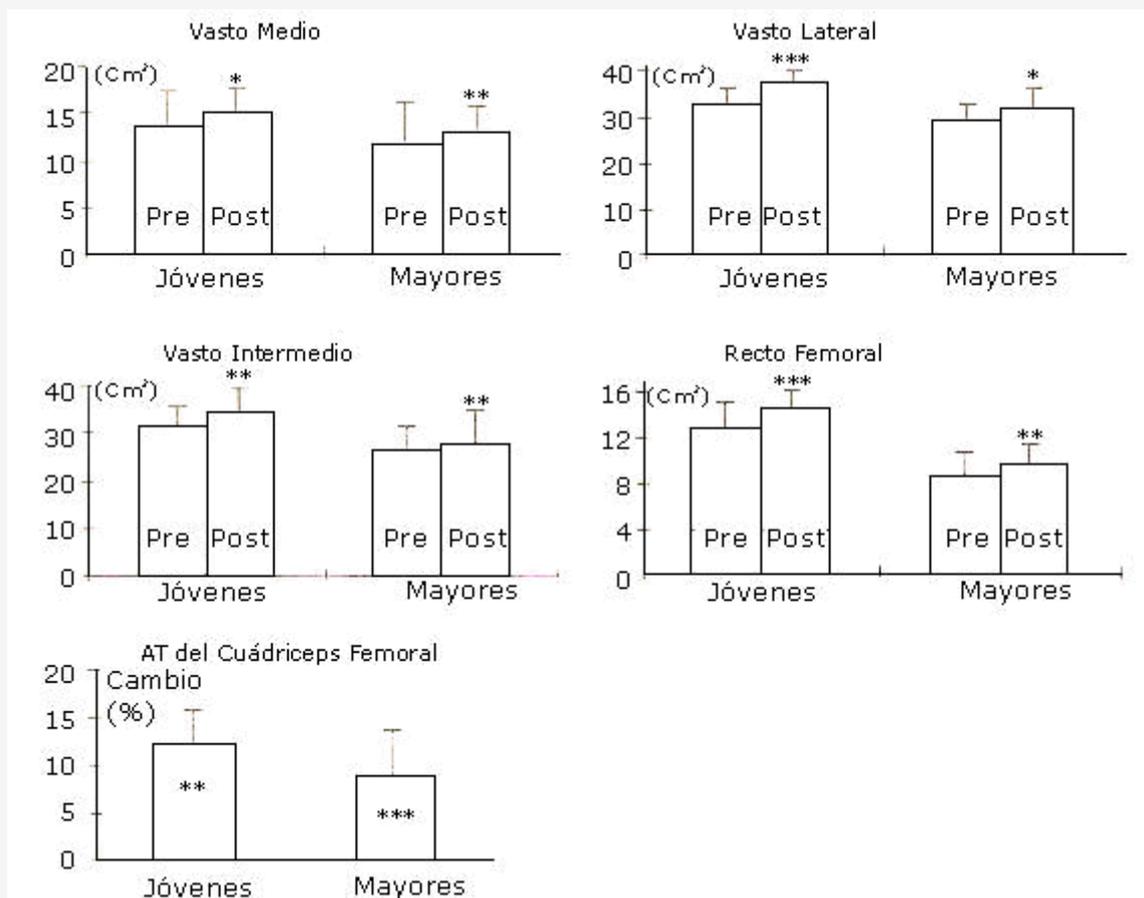


Figura 3. Áreas transversales promedio (\pm DE) de los músculos individuales del grupo del cuádriceps femoral, y el cambio relativo en el área total del cuádriceps femoral, antes (pre) y después (post) del período de 10 semanas de entrenamiento de la fuerza, en hombres jóvenes ($n=8$) y mayores ($n=10$) (* $p < 0.05$; *** $p < 0.001$).

Características de las Fibras Musculares. Los valores porcentuales de la distribución de fibras musculares del vasto lateral no difirieron significativamente entre HJ y HM, ni antes ni después del período de entrenamiento excepto para las fibras de tipo IIb, donde HJ mostraron valores más elevados ($p < 0.05$) que HM en ambos momentos (Tabla 2). No se observaron cambios estadísticamente significativos en la distribución de fibras I durante el período de entrenamiento ni en HJ ni en HM. La proporción relativa de fibras tipo IIa se incrementó desde el 2% al 6% ($p < 0.05$) en HJ, y en las fibras IIb disminuyó, tanto en HJ de 25% a 16% ($p < 0.01$) como en HM de 15% a 6% ($p < 0.05$).

Los valores porcentuales individuales para las fibras de tipo I obtuvieron una correlación significativa con los cambios individuales registrados durante el entrenamiento en el área transversal del cuádriceps ($r = -0.56$, $p < 0.05$) (Figura 4). El coeficiente de correlación respectivo en relación a los cambios en el área transversal del vasto lateral también fue

significativo ($r = -0.05$, $p < 0.05$). Los valores porcentuales individuales para las fibras de tipo I no tuvieron una correlación significativa con los cambios en la fuerza isométrica máxima ($r = 0.21$, NS) o en la fuerza explosiva ($r = 0.19$, NS).

En el pre-entrenamiento, HJ mostró una mayor ($p < 0.05$) área promedio en las fibras de tipo IIa que HM, sin observarse diferencias significativas en las áreas promedio de los otros tipos de fibras (Tabla 3). El área promedio de las fibras de tipo I aumento después de 10 semanas de entrenamiento en HJ ($p < 0.05$), y lo mismo ocurrió con las fibras de tipo IIa, tanto en HJ ($p < 0.01$) como en HM ($p < 0.01$).

| | Jóvenes (n=8) | | Mayores (n=6) | |
|-----------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | Pre-entrenamiento | Post-entrenamiento | Pre-entrenamiento | Post-entrenamiento |
| Tipo I (%) | 41±15 | 41±9 | 48±9 | 46±13 |
| Tipo IIa (%) | 32±12 | 31±15 | 35±13 | 44±13 |
| Tipo IIab (%) | 2±1 | 6±7(*) | 2±1 | 4±3 |
| (jóvenes n=7; Mayores n=4) | | | | |
| Tipo IIb (%) | 25±7(+) | 16±8(**)(†) | 15±12 | 6±6(*) |

Tabla 2. Promedio ± DE en la distribución de fibras del vasto lateral, antes y después de un período de 10 semanas de entrenamiento de la fuerza, en hombres jóvenes y mayores. (*) $p < 0.05$; (**) $p < 0.01$, diferencias significativas pre-post entrenamiento, (†) $p < 0.05$, diferencia significativa con el grupo de mayores, en ese momento

| | Jóvenes (n=8) | | Mayores (n=6) | |
|-----------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | Pre-entrenamiento | Post-entrenamiento | Pre-entrenamiento | Post-entrenamiento |
| Tipo I (um ²) | 3.757 ± 704 | 4.618 ± 831 (***) | 4.091 ± 1.354 | 5.044 ± 862(*) |
| Tipo IIa (um ²) | 4.594 ± 518 (*) | 5.775 ± 1.087(**) | 3.879 ± 323 | 5.337 ± 851(**) |
| Tipo IIab (um ²) | 4.883 ± 1.526 | 4.027 ± 962 | 4.209 ± 889 | 5.200 ± 918 |
| (Jóvenes n=7; Mayores n=4) | | | | |
| Tipo IIb (um ²) | 4.146 ± 849 | 4.713 ± 1.047 | 4.222 ± 1.566 | 5.027 ± 774 |

Tabla 3. Promedio ± DE de las áreas de fibras de vasto lateral, antes y después de un período de 10 semanas de entrenamiento de la fuerza, en hombres jóvenes y mayores. (*) $p < 0.05$; (**) $p < 0.01$, diferencias significativas pre-post entrenamiento (†) $p < 0.05$, diferencia significativa con el grupo de mayores, en ese momento

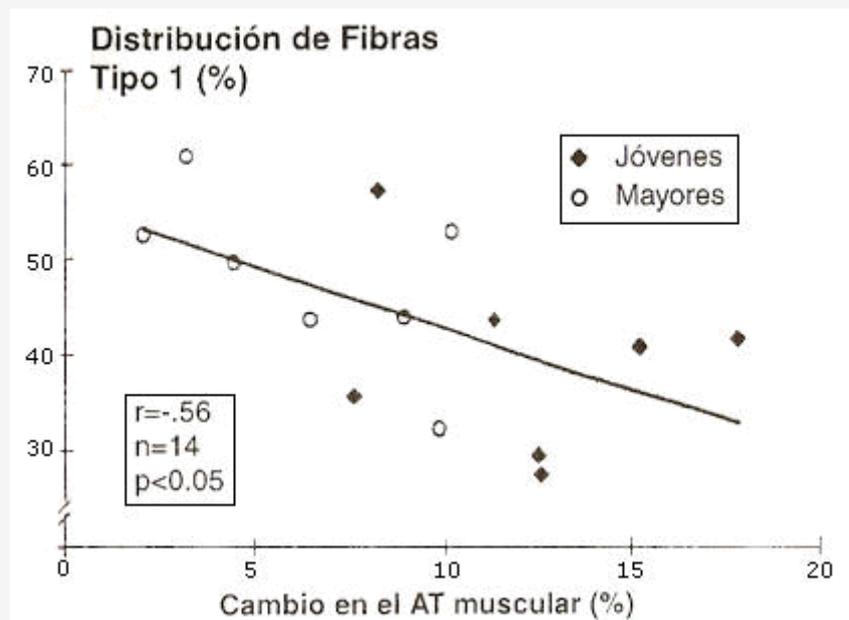


Figura 4. Relación entre la distribución de fibras musculares (% tipo 1) y el cambio relativo en el área transversal del cuádriceps femoral, después del período de 10 semanas de entrenamiento de la fuerza, en hombres jóvenes y mayores.

DISCUSION

El presente programa progresivo de entrenamiento de la fuerza compuesto por una combinación de ejercicios para el desarrollo de 3 cualidades - masa muscular, fuerza máxima, y fuerza explosiva - produjo aumentos significativos en la fuerza isométrica máxima, tanto en hombres jóvenes como mayores. Sin embargo, el entrenamiento no produjo aumentos estadísticos en la producción de fuerza rápida registrada durante la extensión isométrica de rodilla. Los aumentos en la fuerza máxima estuvieron acompañados por incrementos significativos en la activación neurológica voluntaria de los músculos entrenados, acompañado por un ensanchamiento significativo en las áreas de las fibras musculares de tipo I y IIa, así como en el AT total de los extensores de la rodilla, tanto en hombres jóvenes como mayores. El presente entrenamiento también llevo a disminuciones significativas en la proporción de fibras de tipo IIb, tanto en hombres jóvenes como mayores, así como a un incremento en las fibras IIab en hombres jóvenes, mientras que la proporción relativa de los 2 tipos principales de fibras permaneció estadísticamente sin cambios.

Los mayores IEMG durante las 3 primeras semanas de entrenamiento (Figura 2) respaldan el concepto de que en sujetos previamente desentrenados, tanto jóvenes como mayores, los aumentos iniciales en la fuerza máxima observados durante las primeras semanas de entrenamiento de sobrecarga pueden atribuirse, en gran parte, a la mayor activación de unidades motoras de los músculos agonistas entrenados (26, 30, 32, 35, 44, 45, 52). Los aumentos en la magnitud de la EMG (IEMG) inducidos por el entrenamiento de la fuerza podrían ser el resultado del mayor número de unidades motoras activas y/o al aumento en su frecuencia de descarga (17, 52) tanto en sujetos jóvenes como mayores. Los datos de la EMG en la Figura 2 muestran además que los incrementos en las IEMG máxima promedio en los hombres de ambos grupos de edad también tuvieron lugar durante las últimas 4 semanas del período de entrenamiento, sugiriendo una contribución importante del sistema nervioso para el desarrollo de la fuerza. Esto se debe, probablemente al hecho de que las cargas de entrenamiento en todos los ejercicios, tanto para el desarrollo de la fuerza máxima como para la hipertrofia, fueron incrementadas progresivamente a lo largo del período del entrenamiento. Debido a que se registraron los datos de la EMG solamente para los agonistas, no se pudo evaluar en que grado el presente entrenamiento podría haber producido disminuciones en la co-activación de los músculos antagonistas, tal como se reporto que ocurría en jóvenes (12) y mayores (58).

También se ha mostrado que la hipertrofia muscular es responsable de una parte considerable de los aumentos en la fuerza en las personas mayores (3, 13, 21, 23, 30, 53). Coincidiendo con esto, el presente programa de entrenamiento produjo incrementos similares del 12% y 9% en las AT totales de los extensores de las rodillas entrenadas en hombres jóvenes y mayores, respectivamente. Los incrementos también fueron muy similares en magnitud en todos los músculos individuales del cuádriceps, en ambos grupos de edad (Figura 3). Los músculos esqueléticos de las personas mayores

parecen retener la capacidad de desarrollar hipertrofia inducida por el ejercicio cuando el volumen, intensidad y duración del período de entrenamiento son suficientes (21, 23, 30, 34). Sin embargo, se debe tener precaución al interpretar los datos del AT muscular del presente estudio, los que fueron obtenidos solamente en una porción particular del muslo, ya que la hipertrofia muscular inducida por el entrenamiento también puede suponer un proceso no uniforme en todo el cuerpo del músculo (46).

No se ha determinado en forma concluyente el posible rol de la distribución de fibras musculares (% de fibras de tipo II) sobre el aumento en la fuerza o la magnitud de hipertrofia muscular durante el entrenamiento de sobrecarga en hombres jóvenes. De hecho, se han reportado algunos resultados que eran conflictivos ya en 1970 (15, 62), y también existen datos (31) que indican que los incrementos no dependerían de la distribución de fibras musculares. Los presentes resultados indicaron que los sujetos (grupo total de hombres jóvenes y mayores), con una proporción relativamente más alta de fibras de tipo II, tuvieron mayores incrementos en el AT del músculo entrenado que aquellos que tenían un porcentaje más bajo de fibras de tipo II en sus músculos (Figura 4). Debido a que se sabe que el envejecimiento está asociado no solo con la atrofia muscular sino también con la pérdida de fibras musculares, especialmente de tipo II (39) este hecho podría ser de importancia en sujetos mayores. Hasta que no se realicen mayores investigaciones utilizando diseños experimentales con períodos más largos de entrenamiento, mayor número de sujetos bajo investigación, no se puede responder si el grado último de hipertrofia muscular y/o desarrollo de la fuerza sería definitivamente dependiente de la distribución de fibras musculares del tipo principal.

Tanto en hombres jóvenes como mayores, antes y después del entrenamiento se observó una transformación de los sub-tipos de fibras musculares de tipo II y no se observaron cambios en el porcentaje de fibras de tipo I. Esta transformación en los sub-tipos de fibras de tipo II (partiendo desde el tipo IIb a IIab y IIa) ha sido previamente observada solamente en hombres más jóvenes (36, 59). Tales transformaciones en las fibras musculares indican que una gran cantidad de la masa muscular fue reclutada utilizando este protocolo experimental de entrenamiento con alteraciones en las isoformas en la ATPasa de la miosina y de las cadenas pesadas de la miosina (1, 24, 36, 48, 56, 58, 59). Las restantes fibras musculares de tipo IIb, o no fueron reclutadas por el programa intenso de sobrecarga o, si fueron reclutadas, tienen mayores niveles de enzimas oxidativas y no hicieron aun los cambios de proteínas necesarios para la transformación en isoformas (48, 59). Los estudios anteriores en hombres más jóvenes, con períodos más prolongados de entrenamiento (más de 3 meses), han demostrado normalmente la ausencia o porcentajes muy bajos (<2%) de fibras musculares de tipo IIb luego de un programa intenso de entrenamiento de la fuerza (36, 59). Nuestros datos son similares a los de Staron et al (57), que indican que con períodos más cortos de entrenamiento, las fibras musculares solo hacen una transformación parcial de la población de fibras de tipo IIb.

Tanto los sujetos jóvenes como los mayores mostraron una hipertrofia muscular (10, 23) con incrementos significativos en las áreas de fibras musculares de tipo I y IIa, con el presente entrenamiento de la fuerza. La hipertrofia concomitante de los sub-tipos de fibras tanto de I como IIa, con el uso solo de un programa intenso de entrenamiento de resistencia a la fuerza, es consistente con estudios previos realizados con hombres más jóvenes (1, 36). El rango más amplio de cargas utilizado en el presente programa podría haber abarcado el reclutamiento de unidades motoras tanto lentas como rápidas. Sorprendentemente, las magnitudes relativas de la hipertrofia muscular en las fibras de tipo I y IIa fueron similares, tanto en los sujetos jóvenes como los mayores. Este resultado concuerda con los similares incrementos observados en el AT total de CF en nuestros sujetos jóvenes y ancianos. La ausencia de diferencias a nivel celular podría indicar que el metabolismo de las proteínas para los hombres de aproximadamente 60 años, en respuesta a un programa progresivo de entrenamiento de la fuerza, no está comprometida a pesar de la menor cantidad absoluta de masa muscular. Esto podría deberse a una adecuada ingesta de proteínas y total de calorías que apoyarían los cambios anabólicos a nivel celular (11, 22, 43). Por lo tanto, la implementación de un programa progresivo de entrenamiento de la fuerza, en el límite de la edad dramática en personas activas de 60 años, podría ser efectivo para compensar las disminuciones continuas en la masa muscular absoluta (ver datos de la RMN).

La fuerza muscular y la capacidad de los músculos extensores de la rodilla de desarrollar fuerza rápidamente, especialmente durante acciones dinámicas, son características importantes del rendimiento en actividades físicas, especialmente en personas mayores, que contribuyen a distintas tareas de la vida diaria, tales como subir escaleras, caminar, o hasta evitar caídas (4). Se ha mostrado que un nivel muy bajo de fuerza máxima en personas mayores podría estar asociado con una menor capacidad de producir fuerza rápidamente, tanto en acciones dinámicas como isométricas (25). Era de esperar que el presente programa de entrenamiento de sobrecarga produjese incrementos significativos, tanto en la fuerza máxima como fuerza rápida y en las primeras partes de la curva fuerza isométrica-tiempo. Se ha demostrado previamente que el entrenamiento de sobrecarga, 2 veces por semana, utilizando una combinación de ejercicios para la fuerza máxima y explosiva, tanto en sujetos de mediana edad como mayores de ambos sexos, produce incrementos significativos en la fuerza máxima y en la fuerza rápida, registrada en acciones tanto isométricas como dinámicas, de los extensores de la rodilla [extensores de la cadera, rodilla, y tobillo; (58, 63)]. Sin embargo, los presentes resultados mostraron que los incrementos obtenidos en la fuerza máxima no estuvieron acompañados por los aumentos en la fuerza explosiva, característicos de los músculos entrenados registrados durante la extensión isométrica de rodilla. Es posible que

el gran volumen total de entrenamiento con 3 sesiones semanales, y/o que la combinación de 3 cualidades diferentes (dejando solamente un tercio para acciones musculares explosivas) pudiese explicar, en parte, la observación de que la tasa máxima de desarrollo de fuerza en la curva fuerza-tiempo permaneciera sin cambios, tanto en sujetos jóvenes como mayores. En tercer lugar, también es posible que si bien el entrenamiento fue llevado a cabo usando acciones dinámicas, un posible aumento causado por el entrenamiento no pudiese ser transferido o verificado en la producción de fuerza isométrica rápida del movimiento de extensión de la rodilla. Por lo tanto, es necesario mayor investigación para examinar distintos protocolos de entrenamiento con el fin de optimizar la hipertrofia muscular, la fuerza máxima, y el desarrollo de fuerza explosiva, en distintas condiciones de producción de fuerza isométrica y dinámica en acciones de extensión de rodilla en sujetos jóvenes y mayores.

En síntesis, los presentes resultados muestran que el entrenamiento progresivo de sobrecarga compuesto por una combinación de 3 tipos de ejercicios –para masa muscular, fuerza máxima y fuerza explosiva– produjo incrementos significativos en la fuerza isométrica máxima, tanto en hombres jóvenes como mayores. Sin embargo, no se produjeron cambios en la forma de la curva fuerza-tiempo registrada durante el movimiento de extensión isométrica de rodilla. Los aumentos en la fuerza estuvieron acompañados por incrementos significativos en la activación voluntaria máxima de los músculos agonistas, así como por incrementos en las áreas de fibras musculares de tipo I y IIa, y en el AT total de CF en los grupos de ambas edades. No se observaron cambios significativos en la proporción relativa de los 2 tipos principales de fibras, pero se produjo una disminución significativa en las fibras de tipo IIb, tanto en los sujetos jóvenes como los mayores, y un aumento en las fibras IIa en los hombres jóvenes. El porcentaje de incremento en el AT fue similar en ambos grupos, pero los cambios individuales fueron mayores en aquellos sujetos que mostraron una mayor proporción relativa de las fibras musculares de tipo II. los resultados de este estudio sugieren que tanto las adaptaciones neurológicas como la capacidad el músculo esquelético de experimentar hipertrofia inducida por el entrenamiento, en personas mayores, explican los aumentos de fuerza en estas personas, mientras que el área de desarrollo de fuerza explosiva durante este tipo de entrenamiento combinado de sobrecarga en distintas condiciones de producción de fuerza isométrica y dinámica de los movimientos de extensión de rodilla y/o pierna necesita mayor investigación.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue respaldado, en parte, por una beca del Ministerio de Educación de Finlandia.

REFERENCIAS

1. Adams GR., Hather BM, Baldwin KM, Dudley GA (1993). Skeletal muscle myosin heavy chain compositions and resistance training. *J Appl Physiol.* 74:911-915
2. Aniansson A, Grimby G, Hedberg M, Krotkiewski M (1983). Muscle morphology, enzyme activity and muscle strength in elderly men and women. *Clin Physiol.* 6:588-595
3. Aniansson A, Gustavson E (1998). Physical training in elderly men with special reference to quadriceps muscle strength and morphology. *Clin Physiol.* 1:87-98
4. Blomstrand E, Celsing F, Friden J, Ekblom B (1984). How to calculate human muscle fiber areas in biopsy samples. methodological considerations. *Acta Physiol Scand.* 122:545-551
5. Blomstrand E, Ekblom B (1982). The needle biopsy technique for fiber type determination in human skeletal muscle—a methodological study. *Acta Physiol Scand.* 116:437-442
6. Bosco C, Komi PV (1980). Influence of aging on the mechanical behavior of leg extensor muscles. *Eur J Appl Physiol.* 45:209-215
7. Brooke MH, Kaiser KK (1970). Three [myosin ATPase] systems: the nature of their pH lability and sulfhydryl dependence. *J Histochem Cytochem.* 18:670-672
8. Brown AB, McCartney N, Sale DG (1995). Positive adaptations to weight lifting training in elderly. *J. App. Physiol.*, 69:1725-1733
9. Campbell WW, Crim MC, Young VR, Joseph LJ, Evans WJ (1995). Effects of resistance training and dietary protein intake on protein metabolism in older adults. *Am. J. App. Physiol.* 268:E1143-E1153
10. Carolan B, Cafarelli E (1992). Adaptations in coactivation after isometric training. *J Appl Physiol.* 73:911-971
11. Charette SL, McEvoy L, Pyka G. Et al (1991). Muscle hypertrophy response to resistance training in older women. *J Appl Physiol.* 70:1912-1916
12. Clarkson P, Kroll W, Melchionda A (1981). Age, isometric strength, rate of tension development and fiber type composition. *J Gerontol Biol Sci.* 36:648-653.0
13. Dons B, Bollerup K, Bonde-Petersen F, Haneke S (1940). The effect of weightlifting exercise related to muscle cross-sectional area in humans. *Eur J Appl*

14. Enoka RM (1988). Muscle Strength and its development: new perspectives. *Sports Med*, 6: 146-168
15. Essen-Gustavsson B, Borges O (1986). Histochemical and metabolic characteristics of human skeletal muscle in relation to age. *Acta Physiol Scand*. 126:107-114
16. Evans WJ, Pinney SD, Younge VR (1982). Suction applied to a muscle biopsy maximizes sample size. *Med Sci Sports*. 14:101-102
17. Evans WJ Sarcopenia (1992). The age-related loss in skeletal muscle mass. *Musculoskeletal Soft-tissue Aging: Impact on Mobility*. Colorado Springs, CO: American Academy of Orthopaedic Surgeons Symposium; 217
18. Fiatarone MA, Marks EC, Ryan ND, Meredith CN, Lipsitz LA, Evans WJ (1990). High-intensity strength training in nonagenarians. *JAMA*. 263:3029-3034
19. Goldspink G (1992). Cellular and molecular aspects of adaptation in skeletal muscle. In: Komi PV (ed) *Strength and Power in Sports*. Oxford, UK: Blackwell, 211-229
20. Hakkinen K, Alen M, Kallinen M, et al (1998). Muscle CSA, force production, and activation of leg extensors during isometric and dynamic actions in middle aged and elderly men and women. *JAPA*. 6:232-247
21. Hakkinen K, Komi PV (1983). Electromyographic changes during strength training and detraining. *Med Sci Sports Exerc*. 15: 455- 460
22. Hakkinen K (1994). Neuromuscular adaptation during strength training. Aging, detraining and immobilization. *Crit Rev Phys Rehabil Med*. 6 161-198
23. Higbie EJ, Cureton KL, Warren GL, Prior BM (1996). Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area. And neural activation. *J Appl Physiol*. 81:2173-2181
24. Jackson AS, Pollock ML (1985). Practical assessment of body composition. *Physician Sportsmed*. 13:82-90
25. Kenn D, Yue G, Enoka R (1994). Training-related enhancements in the control of motor output in elderly humans. *J Appl Physiol*. 77:2648-2658
26. Komi PV (1986). Training of muscle strength and power: interaction of neuromorphic, hypertrophic and mechanical factors. *Int J Sports Med. Suppl 7: 10-15*
27. Kraemer WJ, Patton J, Gordon SE. Et al (1995). Compatibility of high intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J Appl Physiol*. 78:976-989
28. 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
29. Lohman TG, Roche AF, Martorell R (1988). Anthropometric Standardization Manual. *Champaign, IL: Human Kinetics*
30. MacDougall J (1991). Hypertrophy or hyperplasia. In: Komi PV, ed., *Strength and power in Sport. The encyclopedia of Sports Medicine*. Oxford, UK: Blackwell; 230-238
31. Moritani T. de Vries HA (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J. phys Med*. 58: 115-130
32. Moritani T. de Vries HA (1980). Potential for gross muscle hypertrophy in older men. *J Gerontol*. 35:672-682
33. Narici M, Hoppeler H, Kayser B, et al (1996). Human quadriceps cross-sectional area, torque, and neural activation during 6 months training. *Acta Physiol Scand*. 157:175-186
34. Narici M, Bordini M, Ceretelli P (1991). Effect of aging on human adductor pollicis muscle function. *J. Appl Physiol*. 71:1277-1281
35. Ploutz LL, Tesch PA, Biro RL, Dudley GA (1994). Effects of resistance training on muscle use during exercise. *J. App. Physiol*. 76:1675-1681
36. Poter MM, Vandervoort AA, Leell J (1995). Aging of human muscle: structure, function and adaptability. *Scand J Med Sci Sports*. 5:129-142
37. Roman WJ (1993). Adaptions in the elbow flexors of elderly males after heavy-resistance training. *J Appl Physiol*. 74:750-754
38. Rutherford DM, Jones DA (1986). The roles of learning and coordination in strength training. *Eur J Appl Physiol*. 55:100-105
39. Sale DG (1991). Neural adaptation to strength training. In: Komi PV. Ed. *Strength and Power in sport. The Encyclopedia of sport Medicine*. Oxford. UK: Blackwell: 249-265
40. Sipila S, Suominen H (1995). Effects of strength and endurance training on thigh and leg muscle mass composition in elderly women. *J Appl Physiol*. 78: 334-340
41. Siri WE (1956). Gross composition of the body. In: Lawrence JH, Tobias CA, eds., *Advances in Biological and Medical Physics*, vol. 4. New York: Academic Press
42. Staron RS, Hikida RS, Hagerman FC (1983). Myofibrillar ATPase activity in muscle fast-twitch subtypes. *Histochemistry*. 78:405-408
43. Staron RS, Johnson P (1993). Myosin polymorphism and differential expression in adult human skeletal muscle. *Comp. Biochem. Physiol*. 106B:463-475
44. Staron RS, Karapondo DL, Kraemer WJ, et al (1991). Strength and skeletal muscle adaptations in heavy-resistance trained women after detraining and retraining. *J Appl Physiol*. 70:631-640
45. Staron RS, Malicky ES, Leonardi MJ, Fakel JE, Hagerman FC, Dudley GA (1990). Muscle hypertrophy and fast fiber type conversions in heavy resistance-trained women. *Eur J Appl Physiol*. 60:71-79
46. Staron RS, Karapondo DL, et al (1994). Strength and skeletal muscle adaptations during the early phase of heavy-resistance training in men and women. *J. Appl Physiol* 76:1247-1255
47. Staron, RS (1991). Correlation between myofibrillar ATPase activity and myosin heavy chain composition in single human muscle fibers. *Histochemistry*. 96:21-24
48. Thelen D, Shultz A, Alexander N, Ashton-Miller J (1996). Effects age on rapid ankle torque development. *J Gerontol Med Sci*. 51A:M226-M232
49. Thorstensson A, Hullen B, von Döbeln W, Karlsson J (1976). Effect of strength training on enzyme activities and muscle fiber characteristics in human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand*. 96:392-398
50. Treuth M, Ryan A, Pratley R. et al (1994). Effect of strength training on total and regional body composition in older men. *J Appl Physiol*. 77:614-620

51. Vandervoort AA, McComas AJ (1986). Contractile changes in opposing muscles of the human ankle joint with aging. *J. Appl Physiol.* 61:361-367
52. Viitasalo J, Era P, Leskinen A, Heikkinen E (1985). Muscular strength profiles and anthropometry in random samples of men aged 31 to 35, 51 to 55 and 71 to 75 years. *Ergonomics.* 28:1503-1574
53. Viitasalo JT, Saukkonen S, Komi PV (1980). Reproducibility of measurements of selected neuromuscular performance variables in man. *Electromyogr Clin Neurophysiol.* 20:487-501
54. Winegard K., Hicks A, Sale D, Vandervoort AA (1996). A 12-year follow-up study of ankle muscle function in older adults. *J Gerontol Biol Sci.* 51A:B202-B207

Cita Original

Keijo Häkkinen, Robert U. Newton, Scout E. Gordon, Matthew McCormick, Jeff S. Volek, Bradley C. Nindl, Lincoln A. Gotshalk, Wayne W. Campbell, William J Evans, Arja Häkkinen, Brendan J Humphries y William Kraemer Cambios en la Morfología Muscular, Actividad Electromiográfica, y en las Características de Producción de Fuerza durante el Entrenamiento Progresivo de Sobrecarga, en Hombres Jóvenes y Ancianos Resúmenes del 1er. Simposio Internacional de Fuerza y Potencia Relacionadas con los Deportes, la Actividad Física, el Fitness y la Rehabilitación, 19-29, 2000.