

SALUD Y DESARROLLO DE LA FUERZA MUSCULAR. ¿Cuánto entrenamiento es suficiente?

Mikel Izquierdo

Profesor Titular de Universidad. Biomecánica de la Actividad física y el Deporte

mikel.izquierdo@ceimd.org

Existen dos buenas razones que nos deberían animar a realizar ejercicio físico de modo regular a partir de los 50 años. En primer lugar porque el ejercicio físico es un pilar básico en la prevención y el tratamiento de enfermedades cardiovasculares y, en segundo lugar, porque juega un papel fundamental en la prevención y el tratamiento del declive en la capacidad funcional, que se suele comenzar a manifestar de modo muy significativo a estas edades. Estas dos razones son las causas más importantes de discapacidad en las personas mayores de 50 años. En las últimas décadas algunos investigadores hicieron la hipótesis que el entrenamiento de fuerza en personas mayores podría prevenir o aminorar la pérdida de fuerza. Diversos estudios han mostrado que la realización de un entrenamiento físico relativamente intenso adaptado a su capacidad funcional se acompaña de incrementos significativos en la fuerza muscular, la condición física aeróbica, movilidad articular, habilidad motora, autoestima y longevidad, independientemente de la edad y el sexo, siempre y cuando la intensidad y duración del periodo de entrenamiento sean suficientes. Los incrementos iniciales de la fuerza pueden llegar a ser de hasta un 10-30% (o incluso más) durante las primeras semanas o 1-2 meses de entrenamiento tanto en personas de mediana edad como en las de avanzada edad en ambos sexos. Estos estudios muestran como las personas entre 60-70 años que participaron en un programa de 4 meses de entrenamiento para el desarrollo de la fuerza y masa muscular, recuperaron la capacidad funcional y potencia muscular de veinte años antes, es decir se encontraban igual que compañeros suyos que empezaron el mismo programa de entrenamiento con 40 años. Los incrementos de fuerza inducidos por el entrenamiento se asocian en las primeras semanas de entrenamiento principalmente a una adaptación en el sistema nervioso, ya sea por un aumento en la activación de la musculatura agonista o bien por cambios en los patrones de activación de la musculatura antagonista. Sin embargo, a partir de la semana 6-7 la hipertrofia muscular es un hecho evidente, aunque los cambios en los tipos de proteínas, tipos de fibras y síntesis de proteínas ocurran mucho antes.

ENVEJECIMIENTO, FUERZA MÁXIMA Y POTENCIA MUSCULAR.

Desde la segunda o tercera década de la vida, la capacidad funcional del sistema neuromuscular, cardiovascular y respiratorio del ser humano comienza a disminuir de modo progresivo. Diversos estudios han encontrado que las personas de 75 años presentan, con respecto a los jóvenes de 20 años, una disminución de la resistencia aeróbica (45%), de la fuerza de agarre de las manos (40%), de la fuerza de las piernas (70%), de la movilidad articular (50%) y de la coordinación neuromuscular (90%). El deterioro con la edad de la función muscular es uno de los principales factores que influyen en la disminución de la capacidad de vida independiente de las personas. La fuerza máxima y explosiva son necesarias para poder realizar muchas tareas de la vida cotidiana como subir escaleras, levantarse de una silla o pasear. También se cree que la reducción con la edad de la capacidad del sistema neuromuscular para generar fuerza también favorece el riesgo de caídas y resbalones, típicas de este grupo de población, aspecto que lleva a considerar su valoración con cada vez más interés (ACSM, 1998, Häkkinen et al. 1998a, Izquierdo et al. 1999^a y 1999^b). Además del envejecimiento “per se”, uno de los factores que mejor explican la reducción en la fuerza y la masa muscular con la edad es la drástica reducción que se observa con el paso de los años en la cantidad y calidad de actividad física diaria. El resultado de todo este proceso, como si se tratase de un ciclo, origina que en la medida que disminuye la práctica de actividad física diaria, disminuye la fuerza y la masa muscular (**Figura 1**). La interrupción de este ciclo es de vital importancia para el mantenimiento de la calidad de vida y la salud de las personas

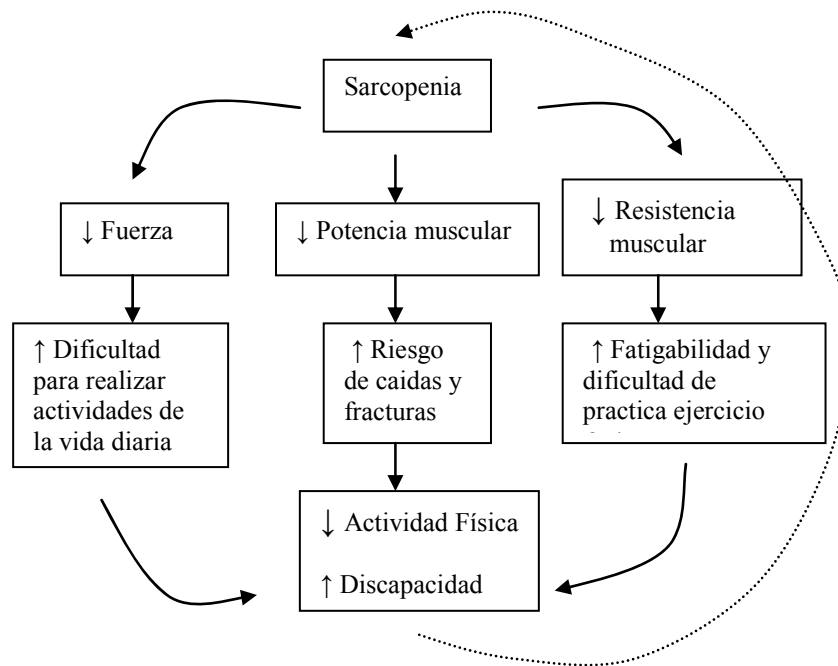


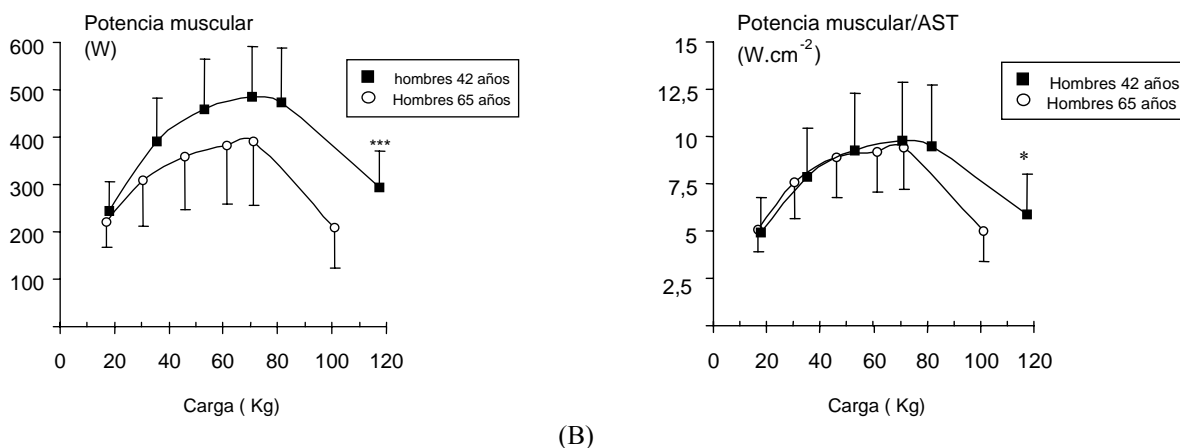
Figura 1. Modelo que explica las consecuencias funcionales de los cambios relacionados con la edad en la sarcopenia (pérdida de masa y función muscular) y el ciclo por el que se explica como la reducción de la actividad física acentúa el proceso de alteración. ↑ denota aumento; ↓ denota disminución. (Modificado de Hunter GR, McCarthy JP, Bamman MM. 2004).

El sistema neuromuscular en el hombre alcanza su plena madurez después de 20-30 años de desarrollo. Entre las décadas tercera y quinta, la manifestación máxima de la fuerza permanece estable o con reducciones poco significativas. Sin embargo, la mayoría de los autores señalan que al llegar a la frontera de los 60, comienza una etapa caracterizada por la reducción gradual de la fuerza máxima, que suele ser del orden del 30% al 40%. La disminución de la fuerza permanece constante hasta la octava década de vida, y a partir de esta edad se produce una mayor aceleración en la disminución. El proceso de envejecimiento estará asociado no sólo con la reducción de la fuerza máxima, sino también con la disminución en la capacidad del sistema neuromuscular para producir la fuerza explosiva. Esta disminución es incluso más drástica que la observada en la producción de fuerza máxima para el mismo grupo muscular y llega a ser aproximadamente de un 3.5% de pérdida al año, entre los 65 y 84 años (Young y Skelton 1994).

¿Por qué se pierde la fuerza y potencia muscular con el envejecimiento?

El deterioro de la fuerza y potencia muscular con la edad se produce esencialmente por una pérdida progresiva de masa muscular (sarcopenia) y/o pérdida selectiva, especialmente, de las fibras musculares tipo II, y/o con cambios en las características cualitativas del propio tejido muscular (p.ej., aumento del tejido grado y tejido conectivo). En un reciente estudio realizado en el Centro de Estudios, Investigación y Medicina del Deporte del Gobierno de Navarra se examinaron en veintiséis hombres de mediana edad (H42) (rango 35-46 años) y veintiuno de avanzada edad (H65) (rango 60-74 años), la fuerza máxima unilateral de los extensores de la rodilla (isométrica; $F_{MI_{ER}}$ y concéntrica; $1RM_{ER}$), las curvas de potencia-carga durante acciones concéntricas con pesos entre el 15% y el 70% de $1RM$ desde la posición de semisentadilla ($1RM_{SS}$), la actividad electromiográfica (EMG) de los músculos extensores de la rodilla, el área de la sección transversal muscular del grupo muscular cuádriceps femoral (AST_{CF}) y las concentraciones séricas de testosterona (total y libre) y cortisol (Izquierdo y col. 2001a). Los resultados mostraron que cuando la potencia muscular con los pesos submáximos fue expresada relativa al peso corporal (Figura 2A yB) y relativa al área de sección transversal del cuádriceps femoral (Figura 2C), las diferencias observadas entre los dos grupos en la habilidad de mover rápidamente diferentes pesos absolutos fueron reducidas (Figura 2B) o incluso desaparecieron (Figura 2C). Esto sugiere que los patrones de activación neural y/o la tensión específica por unidad de masa muscular en acciones submáximas de semisentadilla (acciones típicas de extensión de los miembros inferiores realizadas también durante actividades normales de la vida diaria) puede ser muy similar entre las personas de mediana y avanzada edad. Sin embargo, los

cambios con la edad en la producción de potencia muscular con cargas máximas pueden ser diferentes a los observados con cargas submáximas. Así, cuando los valores individuales de fuerza máxima y potencia en la acción de fuerza máxima concéntrica de semisentadilla ($1RM_{SS}$) fueron expresados relativos a la masa corporal y a la sección transversal del cuádriceps femoral, la fuerza (Kg y Nm) y/o potencia (W) (Figura 2B y 2C) por unidad de sección trasnversal muscular en H65 permaneció significativamente inferior que en H42. A pesar de que algunos trabajos muestran que con el envejecimiento no necesariamente se reduce la posibilidad de generar potencia muscular por unidad de masa muscular, otros estudios señalan que el envejecimiento puede asociarse con una reducción en la activación neural voluntaria. Los presentes resultados sugieren que existen diferencias entre jóvenes y viejos en la respuesta muscular en función del tipo de contracción muscular, la complejidad del movimiento, las características de tiempo/velocidad y las necesidades de fuerza que requiera la acción muscular. A pesar de estas cuestiones, los resultados no excluyen la posibilidad de que los cambios asociados al envejecimiento en fuerza máxima y potencia muscular con cargas máximas puede de estar en parte relacionada con una reducción en la activación neural máxima voluntaria y/o con una disminución en la tensión específica de los músculos implicados, posiblemente en relación a diferencias en la densidad del paquete miofibrilar y en la distribución de las fibras musculares (Izquierdo y col. 2001a).



(A) (B)
Figura 2. Valores medios (\pm DE) de la potencia muscular de los músculos de la extremidad inferior durante la ejecución del ejercicio de semisentadilla con diferentes pesos en valores absolutos (A), y normalizado por área de la sección transversal de grupo muscular cuádriceps femoral (C) en hombres de mediana (40 años) y avanzada edad (65 años) (* $p < 0.05$; ** $p < .01$; *** $p < 0.001$) (Modificado de Izquierdo M, Häkkinen K, Antón A Garrues M, Ibañez J, Ruesta M, Gorostiaga EM (2001a) Maximal strength & Power, endurance performance capacity, muscle cross-sectional area and serum hormones in middle-aged and older men. *Med Sci Sports Exerc.* 33 (9): 1577-1587).

Además de la reducción de la masa muscular, los mecanismos involucrados en el proceso de la contracción muscular también se ven afectados con el envejecimiento, lo que contribuye sin duda a la pérdida de fuerza. Así, el paso de los años hace al tejido muscular esquelético menos excitable y con mayores períodos refractarios. En consecuencia, se necesitará un mayor estímulo para provocar la contracción muscular y se requerirá un mayor tiempo de recuperación hasta que el músculo sea sensible a otro estímulo. Se producirá una disminución de la activación voluntaria de la musculatura agonista y un aumento de la coactivación de la musculatura antagonista. Además, el tiempo de contracción aumenta linealmente con la edad (~20% a los 75 años en comparación a los 30 años), pudiendo justificarse solo en parte por el descenso de las concentraciones intramusculares (sobre todo de fibras rápidas) de ATP y PC, ya que los pocos estudios realizados no han mostrado diferencias mayores del 10% entre grupos de sujetos de 25 y 70 años de edad (Horska y col, 2000). Por último, también habrá que tener en cuenta la influencia del nivel de actividad física y las alteraciones del balance hormonal, especialmente con la reducción de los niveles de andrógenos, y con la disminución del volumen y la intensidad del nivel de actividad física que ocurren con la edad .

ENTRENAMIENTO DE FUERZA Y SALUD

¿Qué tipo de actividad física es la más recomendable? Indistintamente de la edad de la persona, siempre se ha aconsejado desde el punto de vista de la salud, la realización de un entrenamiento de resistencia aeróbica moderado (caminar o nadar) como la mejor opción para estar sano y como complemento a tratamiento de enfermedades cardiovasculares. La resistencia aeróbica es la capacidad para aguantar durante el mayor tiempo posible, a una intensidad determinada, una actividad física en la que intervenga una gran parte de los músculos del cuerpo. Ésta depende de la habilidad que tengan el corazón, los pulmones y el sistema circulatorio. Nadar, andar y hacer bicicleta son algunas actividades aeróbicas.

Sin embargo, en el caso particular de las personas mayores, o aquellas que tengan sobrepeso o diabetes, es necesario complementar esos ejercicios con los de fuerza. A partir de los 20 ó 30 años la fuerza disminuye de manera importante. Si no se hace ejercicio, hacia los 75 y 85 años la fuerza de piernas y brazos puede reducirse tanto que la persona no podrá levantarse de la cama o del sillón. Por esta razón, se tiene que realizar para no ir perdiendo mucha fuerza con la edad y evitar que esta pérdida favorezca la aparición de problemas, como los dolores de espalda, la osteoporosis, o la imposibilidad futura de levantarse de la cama o de la silla, llevar objetos pesados o mejorar la musculatura para evitar que el anciano se caiga. En las personas que tengan sobrepeso o alteraciones en el metabolismo de la glucosa (diabetes) el entrenamiento de fuerza también puede ayudar a aumentar la masa muscular y el metabolismo de reposo, aspectos que son fundamentales si se acompañan con una dieta hipocalórica para la pérdida de grasa corporal, mejorar el perfil lipídico y los valores de glucosa.

¿Cuánta cantidad de ejercicio tengo que realizar? Dos días a la semana, siempre y cuando la intensidad sea suficiente y adaptada a la capacidad funcional de cada individuo, parece suficiente para la mejora de la fuerza muscular y la resistencia cardiovascular. Además, en personas mayores de 55 años se ha observado como entrenar 1 día a la semana ejercicios para el desarrollo de la fuerza y 1 día a la semana ejercicio de tipo cardiovascular, tiene similares efectos sobre la mejora de la fuerza y la resistencia aeróbica que entrenar dos días a la semana fuerza o resistencia aeróbica. Esto parece contradecir la idea generalizada de que para la mejora de la condición física es necesario una gran cantidad de tiempo y esfuerzo diario. En general, las recomendaciones de diferentes instituciones en el ámbito del entrenamiento de fuerza y resistencia cardiovascular suelen ser demasiado intensas y fatigantes y pueden inducir un aumento del riesgo de lesión y sobreentrenamiento, además de no favorecer en mayor medida el desarrollo de la fuerza, masa muscular o resistencia aeróbica que los efectos que pudieran surtir de utilizar intensidades inferiores. Desde el punto de vista de la salud, las recomendaciones de intensidad y volumen que muestran los últimos trabajos de investigación para personas principiantes o para grupos de población especiales (p.ej. envejecimiento, diabetes, obesidad) están basadas en comenzar realizando de 8 a 10 repeticiones con una intensidad (o un ejercicio como por ejemplo levantarse de una silla) que nos permitiría hacer hasta agotarnos unas 30 repeticiones. En el caso de utilizar intensidades inferiores a las mencionadas para el caso de la mejora de la fuerza tendría un efecto limitado. Es decir, realizar un programa de entrenamiento de fuerza de 8 repeticiones con una resistencia (o peso) que podríamos hacer 60 repeticiones hasta agotarnos, nos producirá escasos beneficios desde el punto de vista funcional. A continuación se tratarán con más detalle algunos de estos aspectos.

INCREMENTOS DE LA FUERZA MUSCULAR ASOCIADOS AL ENTRENAMIENTO.

En las últimas décadas algunos investigadores hicieron la hipótesis que el entrenamiento de fuerza en personas mayores podría prevenir o aminorar la pérdida de fuerza. Diversos estudios han mostrado que la realización de un entrenamiento sistemático de la fuerza máxima se acompaña de incrementos significativos en la producción de fuerza, independientemente de la edad y el sexo, siempre y cuando la intensidad y duración del periodo de entrenamiento sean suficientes. Los incrementos iniciales de la fuerza pueden llegar a ser de hasta un 10-30% (o incluso más) durante las primeras semanas o 1-2 meses de entrenamiento tanto en personas de mediana edad como en las de avanzada edad en ambos sexos. Después de esta etapa inicial, el desarrollo de la fuerza se produce en menor medida dependiendo de la intensidad, frecuencia y tipo de entrenamiento. Sin embargo, se ha observado que tanto en personas de mediana y avanzada edad son capaces de incrementar su fuerza muscular durante periodos prolongados de entrenamiento de la fuerza que pueden llegar a ser de hasta un año o más. Los cambios asociados al envejecimiento en la fuerza explosiva y la potencia muscular tienen

implicaciones, incluso más importantes que la reducción con el envejecimiento en fuerza máxima, en lo relacionado con la capacidad funcional y la vida en independencia. Los pocos estudios que han examinado el efecto del entrenamiento de fuerza sobre la potencia muscular han observado aumentos en la potencia y la habilidad de los músculos extensores de las piernas y los brazos para realizar acciones explosivas después de participar en un programa de entrenamiento de fuerza de varios meses (3-24 meses). Así mismo, estos estudios han comunicado mejoras concomitantes en la capacidad funcional y la velocidad de marcha, especialmente en aquellas personas que presentan una reducción en la capacidad funcional. Sin embargo, es posible que con el propósito de inducir incrementos en la fuerza explosiva, las personas mayores sean más sensibles que las jóvenes a la duración, volumen y tipo de entrenamiento específico. La figura 3 muestra la evolución de la curva de potencia - carga después de someter a sujetos de 46 y 64 (n=11) años a un programa combinado de fuerza máxima y explosiva durante 4 meses de entrenamiento (Izquierdo y col. 2001b). Tanto la fuerza máxima como la potencia muscular mejoraron en las personas mayores, siendo superiores las mejoras experimentadas en potencia muscular, alcanzando las personas mayores valores de potencia muscular, tras 4 meses de entrenamiento, similares a los manifestados por el grupo de 46 años al inicio del programa de entrenamiento. Esto significa que la participación de las personas mayores en programas de desarrollo de la fuerza muscular puede suponer recuperar hasta 20 años de edad funcional, en términos de potencia muscular. (Häkkinen et al. 1998b, Izquierdo et al. 2001a, 2001b).

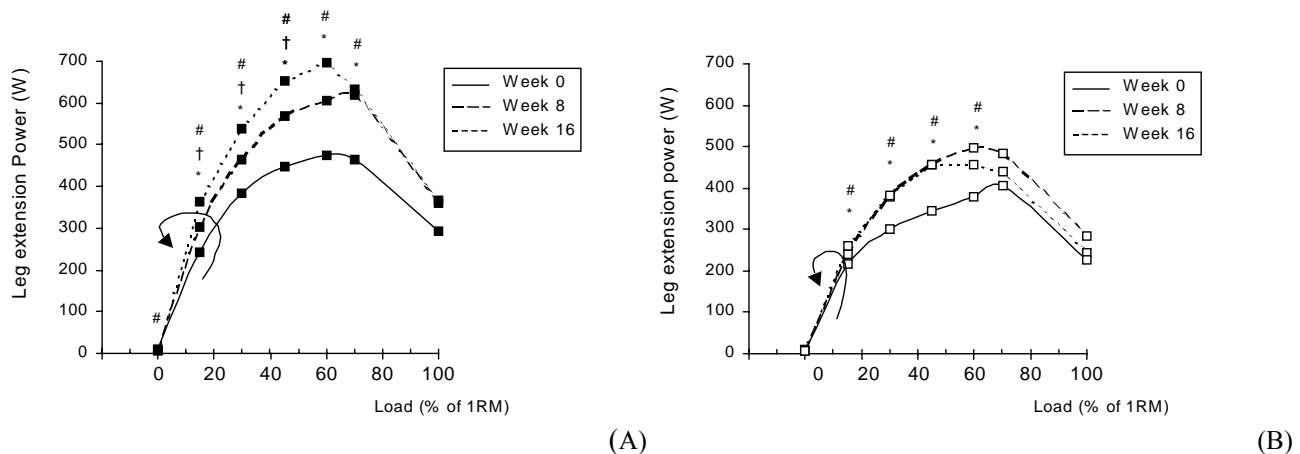


Figura 3. Curva potencia-carga en el test de media sentadilla en los sujetos de 46 años (H46)(A) y de 64 años (H70)(B) durante cuatro semanas de periodo de control (semana -4 a 0) y durante las 16 semanas del periodo de entrenamiento (semana 0 a 16) (Adaptado de Izquierdo y col. 2001b).

HIPERTROFIA MUCULAR Y ENTRENAMIENTO DE FUERZA.

A pesar de que en los ancianos el incremento de la fuerza muscular con el entrenamiento es debida principalmente a mejoras en los patrones de activación neural, se ha demostrado que la hipertrofia muscular también contribuye a la mejora de la fuerza, tal y como han reflejado estudios en los que se han utilizado técnicas sensibles como la determinación del área de las fibras musculares mediante la realización de biopsias musculares, o la determinación del área de la sección transversal muscular mediante el uso de RMN o TAC. Algunos estudios experimentales han mostrado en grupos de personas de edad avanzada diferencias significativas en el área de la sección transversal muscular del grupo muscular cuádriceps femoral medida antes y después de sólo 2-3 meses de un entrenamiento de fuerza. Sin embargo, los efectos del entrenamiento sobre el área de la sección transversal muscular se tienen que interpretar con cautela debido a que la hipertrofia muscular inducida por el entrenamiento de fuerza puede no ser un proceso uniforme a lo largo de todo el paquete muscular (Häkkinen et al. 2001). Así, en un estudio realizado por Häkkinen y col. (2000) en mujeres de avanzada edad se observó que los cambios inducidos por 21 semanas de entrenamiento de fuerza en el área de sección transversal determinada por resonancia magnética nuclear, no eran uniformes a lo largo de grupo muscular cuádriceps femoral, tal que los aumentos fueron superiores en las regiones con más sección transversal, en las porciones proximales del vasto lateral y en las porciones distales del vasto medial. Sin embargo, esto no se observó en los músculos vasto intermedio y recto femoral (Figura 4). Por otro lado, la influencia que tiene la proporción de fibras rápidas y lentas sobre los incrementos en la fuerza muscular y área de sección transversal, en respuesta al entrenamiento de fuerza en ancianos no está claro. Así, en un grupo de personas jóvenes y mayores, los sujetos con una proporción mayor de fibras musculares rápidas mostraron mayores incrementos en el área de

sección transversal de los músculos entrenados que aquellos sujetos que tenían una menor proporción de fibras rápidas (Häkkinen y col. 2000). Esto puede ser de gran importancia si la pérdida de fibras musculares que se produce con el envejecimiento realmente afectara en mayor medida a las fibras musculares de contracción rápida, tal y como han sugerido algunos estudios, pero no todos. No obstante, diversos estudios también han observado aumentos en el tamaño de las fibras musculares tipo I y tipo II, acompañados de una transformación desde las fibras tipo IIx en fibras hacia las de tipo IIax y IIa (Häkkinen y col. 1998). Sin embargo, la magnitud de la hipertrofia provocada por el entrenamiento no se correlaciona necesariamente con los incrementos en la fuerza máxima observado durante periodos de pocas semanas. Esto puede explicarse por cambios a nivel del sistema nervioso y por pequeñas modificaciones en las propiedades contractiles de las fibras con el entrenamiento.

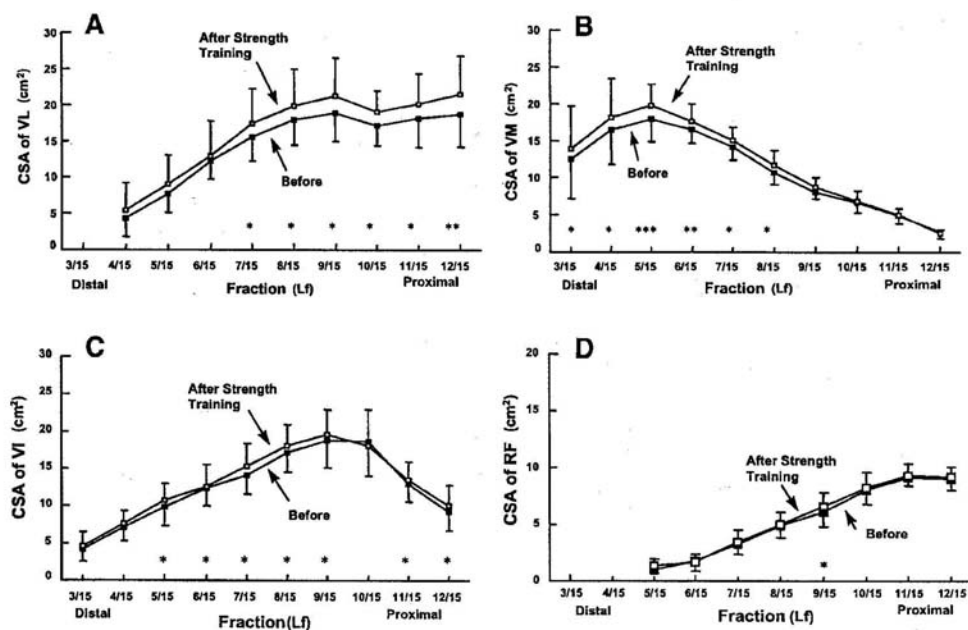


Figura 4. Valor medio (\pm DE) de las áreas de sección transversal de los músculos vasto lateral (VL), vasto medial (VM), vasto intermedio (VI) y recto femoral (RF), del grupo cuádriceps femoral a diferente secciones longitudinales del fémur desde 3/15 hasta 12/15 en mujeres de edad avanzada antes y después de un periodo de 21 semanas de entrenamiento de fuerza. (Modificado de Häkkinen K, Pakarinen A, Kraemer WJ, Häkkinen A, Valkeinen H, and Alen M. Selective muscle hypertrophy, changes in EMG and force, and serum hormones during strength training in older women. *J Appl Physiol.* 91:569-580, 2001).

ADAPTACIONES NEURALES CON EL ENTRENAMIENTO DE FUERZA.

Los incrementos de fuerza inducidos por el entrenamiento en personas de edad avanzada se asocian principalmente a una adaptación en el sistema nervioso, ya sea por un aumento en la activación de la musculatura *agonista* o bien por cambios en los patrones de activación de la musculatura *antagonista*. Los grandes aumentos observados en la máxima actividad electromiográfica integrada (activación muscular voluntaria) de los músculos entrenados, especialmente durante las primeras semanas de entrenamiento en hombres y mujeres de mediana y avanzada edad, indican que en el sistema nervioso se producen considerables adaptaciones inducidas por el entrenamiento. Este incremento en la magnitud de la EMG (iEMG) podría ser debido al aumento en el número de la UMs activas y al incremento en su frecuencia de estimulación. Sin embargo, la naturaleza de las adaptaciones en el sistema nervioso central al entrenamiento de fuerza resultan difíciles de definir debido a que se producen cambios tanto en los estímulos de tipo facilitador como inhibitor, de tal manera que: 1) se incrementa la activación de los músculos fundamentales que intervienen en el movimiento (aumento conducción neural eferente, aumento frecuencia estimulación y sincronización de las unidades motoras, aumento excitabilidad de las unidades motoras, disminución de las vías de inhibición); 2) se reduce la coactivación de los músculos antagonistas; y 3) se mejora la coactivación de los músculos sinergistas. El entrenamiento de la fuerza máxima induce no sólo aumentos en la activación de los músculos agonistas, sino también una reducción en la coactivación de los músculos antagonistas. Estos factores, unidos a la óptima activación de los músculos sinergistas son los que favorecerán la producción neta de fuerza de los músculos agonistas. Los cambios asociados al envejecimiento en la manifestación de la fuerza máxima y potencia muscular pueden estar en parte relacionados con una

reducción en la activación neural máxima voluntaria y/o con una disminución en la tensión específica de los músculos implicados, posiblemente en relación a diferencias en la densidad del paquete miofibrilar y en la distribución de las fibras musculares (Izquierdo y col. 2001b). Utilizando la técnica de "contracciones interpoladas" con estímulos eléctricos superpuestos (twitch interpolation, en inglés) se observó que antes y después de un periodo de 12 semanas de entrenamiento de fuerza (50-80 % de 1RM, 3 series, 3 veces/semana) en mujeres y hombres de edades comprendidas entre los 85-97 años, los sujetos mostraban evidencias de ausencia en la activación completa del grupo muscular cuádriceps femoral. En este estudio se observó que antes de comenzar el periodo de entrenamiento utilizando un sólo estímulo ninguno de los sujetos fueron capaces de alcanzar una activación máxima de los músculos extensores de la rodilla. Asimismo, el entrenamiento no tuvo un efecto significativo sobre la máxima activación, es decir, que a pesar de entrenar siguieron teniendo un déficit de activación neural (Harridge y col. 1999). En resumen, el entrenamiento de la fuerza máxima induce no sólo aumentos en la activación de los músculos agonistas, sino también una reducción en la coactivación de los músculos antagonistas. Estos factores, unidos a la óptima activación de los músculos sinergistas permiten explicar las elevadas ganancias de fuerza neta observadas con las primeras semanas de entrenamiento de fuerza (Häkkinen et al. 1998b, Izquierdo et al. 2001b).

CAMBIOS HORMONALES CON EL ENTRENAMIENTO DE FUERZA.

Diferentes estudios de investigación han observado que las concentraciones de hormonas anabólicas y factores de crecimiento disminuyen con el envejecimiento. Así, resulta interesante examinar en personas de mediana y avanzada edad los efectos posibles del entrenamiento de fuerza sobre las concentraciones basales de hormonas séricas y las posibles relaciones con las mejoras de la fuerza debidas al entrenamiento. Sin embargo, se observa con bastante frecuencia, que durante periodos de unos pocos meses de entrenamiento de fuerza no se producen cambios sistemáticos en las concentraciones séricas de testosterona, testosterona libre, GH, cortisol, IGF-1, o en la relación testosterona/cortisol. Esto indica que la carga total típica del entrenamiento de fuerza (realizado de 2 a 3 veces a la semana) puede estar dentro del rango normal fisiológico, debido a que las grandes ganancias que se observan en fuerza muscular no se acompañan con cambios sistemáticos en las concentraciones de hormonas anabólicas y catabólicas. Sin embargo diversos estudio muestran como tanto en jóvenes como en mayores la respuesta aguda a un estímulo de fuerza es superior después de un periodo de entrenamiento. Diferentes estudios han observado relaciones significativas entre los valores individuales de la concentración de testosterona total, testosterona libre y la IGF-1 (insulin-like growth factor; somatomedina IGF-1) y los cambios individuales en fuerza máxima y masa muscular producidos por el entrenamiento. Estos resultados sugieren que aquellas personas con unos niveles bajos de hormonas anabólicas, no son capaces de desarrollar la fuerza muscular de la misma manera que las personas que tienen una mayor concentración. Asimismo, estos resultados sugieren que un nivel bajo en la concentración anabólica de la testosterona, puede ser un factor limitante en el desarrollo de la fuerza e hipertrofia muscular, durante periodos prolongados de entrenamiento de fuerza. También es posible que a pesar de que los niveles de testosterona pudieran mantenerse sin modificaciones durante el entrenamiento de fuerza, se pudieran producir cambios a nivel de los receptores hormonales musculares. Los efectos del entrenamiento de fuerza sobre la respuesta del cortisol son aparentemente contradictorios. Diversos estudios han mostrado que la realización de un programa de entrenamiento de fuerza (desde 3 hasta 6 meses) no se acompaña de cambios significativos en la concentración hormonal de cortisol ni en jóvenes ni en personas mayores, mientras que otros estudios han observado una reducción significativa en el cortisol con el entrenamiento. Un descenso en el cortisol sérico basal podría facilitar la ganancia neta de masa muscular, dado los efectos catabólicos que tiene esta hormona. La respuesta de la hormona de crecimiento (GH) a una sesión de ejercicio (por ejemplo, 4x10RM) se reduce con el envejecimiento, en hombres y especialmente en mujeres a partir de la edad de 70 años. Sin embargo, después de 21 semanas de entrenamiento de fuerza se ha observado un aumento en la respuesta de GH después de realizar una sesión de entrenamiento, que llega a permanecer elevada hasta 30 minutos después de acabar la sesión de ejercicio. La magnitud de la respuesta hormonal de GH y el tiempo que permanece elevada puede tener importantes implicaciones en las adaptaciones ocasionadas por el entrenamiento de fuerza, especialmente en personas de edad avanzada y en las mujeres (Kraemer 2000)

ENTRENAMIENTO COMBINADO DE FUERZA Y RESISTENCIA AERÓBICA.

Durante las últimas décadas se ha prestado una especial atención a la combinación del entrenamiento de fuerza muscular y resistencia aeróbica. Los resultados de estos trabajos muestran que entrenamientos de 10 a 12 semanas de duración, con una frecuencia semanal comprendida entre 4 y 11 sesiones, a intensidades comprendidas entre el 60 y el 100 % de $VO_2\text{max}$ en bicicleta, y a intensidades comprendidas entre el 40 y el 100 % de 1RM en el trabajo de fuerza, se acompañaron de un aumento del 6 al 23 % del $VO_2\text{max}$ y del 22 al 38 % de la fuerza máxima (Hickson y col. 1980, Kraemer y col. 1995, Leveritt 1999). En la mayoría de estos trabajos, la magnitud del incremento observado en la fuerza máxima del miembro inferior fue superior en el grupo que realizaba exclusivamente el entrenamiento de fuerza máxima que la observada en el grupo que realizaba un programa combinado de fuerza y resistencia aeróbica. Sin embargo, la inhibición en el desarrollo de la fuerza que supone realizar un programa de entrenamiento combinado, no afecta al desarrollo de la resistencia aeróbica cuando se compara con los efectos que producen programas de entrenamientos exclusivos de fuerza muscular o resistencia aeróbica. Así, diversos trabajos realizados en jóvenes sedentarios, o poco entrenados, han encontrado que la magnitud de mejora del $VO_2\text{max}$ en bicicleta, en el grupo que realizó entrenamiento combinado de fuerza y resistencia en bicicleta es superior a la observada en el grupo que realizó un entrenamiento exclusivo de fuerza (Hickson y col. 1980). Sin embargo, en otros estudios con jóvenes sedentarios la magnitud del incremento de fuerza máxima del miembro inferior fue similar con entrenamiento exclusivo de fuerza al observado con un programa combinado de fuerza y resistencia aeróbica. Los mecanismos que pueden explicar la inhibición del desarrollo de la fuerza muscular después de participar en un programa combinado de fuerza y resistencia en comparación cuando sólo se realiza un programa de entrenamiento de fuerza no están del todo definidos. Entre las dificultades asociadas a la comparación de los resultados de los diferentes trabajos se pueden mencionar diferencias en el modo, frecuencia, intensidad, duración y antecedentes de entrenamiento de los participantes y a la organización de las sesiones de entrenamiento. Para explicar el fenómeno de inhibición en el desarrollo de la fuerza en programas combinados se han propuesto varias teorías (Leveritt 1999). Una de las hipótesis sugiere que los sujetos que participan en el programa combinado de fuerza y resistencia pueden llegar a estar sobreentrenados, en comparación con los que realizan un programa exclusivo de fuerza o de resistencia. Sin embargo, esta explicación no está del todo clara en la literatura. Otra de las hipótesis propugna que el músculo esquelético no se puede adaptar metabólicamente y morfológicamente simultáneamente al entrenamiento de fuerza y resistencia. Esto es debido a que la mayoría de las adaptaciones que se producen a nivel muscular (por ejemplo en los cambios observados en el tipo y tamaño de las fibras musculares) consecuencia del entrenamiento de fuerza son diferentes a las que se producen después de participar en un programa de entrenamiento de resistencia aeróbica (Leveritt y col. 1999). Por último, se plantea la hipótesis basada en que la fatiga residual que se produce después de realizar un entrenamiento de resistencia puede comprometer la habilidad para el desarrollo de la tensión muscular durante la parte de entrenamiento de la fuerza del programa combinado de fuerza y resistencia. En este caso se propone que las sucesivas reducciones agudas de la calidad de las sesiones de fuerza inducen después de un periodo de tiempo a una reducción en el desarrollo de la fuerza muscular. Los posibles mecanismos de fatiga asociados con esta hipótesis son factores de tipo periférico como, por ejemplo, la reducción en el glucógeno muscular o la rotura de tejido muscular después de una sesión de entrenamiento de fuerza (Leveritt y col. 1999).

Se sabe poco acerca de los efectos de un programa combinado de fuerza y resistencia aeróbica en personas mayores. La mayoría de estos trabajos muestran que las mejoras observadas en la fuerza máxima del miembro inferior en el grupo que realiza un entrenamiento exclusivo de fuerza no son diferentes a las observadas en el grupo que realiza un programa combinado de fuerza y resistencia (Wood y col. 2000, Izquierdo y col. 2004, 2005). Wood y col. (2000) observaron que, en personas de 60-84 años, un programa de entrenamiento combinado de resistencia cardiovascular (60-70 % de la $FC\text{max}$, de 21 a 45 min) y fuerza (3 sesiones/semana, 12-15 repeticiones, 60-80 % de 1RM) es tan efectivo para mejorar la fuerza como un programa exclusivo de fuerza (44 y 52 % respectivamente). La mayoría de los trabajos que han estudiado los efectos de un programa combinado de fuerza y resistencia lo han realizado examinando el efecto de la combinación de ambas cualidades (fuerza y resistencia) en la misma sesión, sin embargo no se conocen estudios que hayan analizado el efecto de sustituir una sesión de fuerza por una de resistencia o viceversa. En un trabajo realizado en nuestro laboratorio se examinó en 31 hombres sanos (65-74 años) el efecto del entrenamiento (2 veces por semana durante 16 semanas) exclusivo de fuerza (S), exclusivo de resistencia (E) o combinado (SE) (1 sesión/semana S + 1 sesión/semana E) sobre la fuerza máxima del miembro inferior, el área de

sección transversal del cuádriceps femoral y la potencia máxima alcanzada durante un test progresivo hasta el agotamiento en cicloergómetro (WL_{max}). La fuerza de la extremidad inferior y el área de sección transversal del cuádriceps femoral en S (41 y 11%, respectivamente) y SE (38 y 11%, respectivamente) fueron mayores que los registrados en E (11 y 4%, respectivamente) (Figura 5). Los aumentos observados en WL_{max} fueron mayores en SE (28%) y E (23%) que en S (10%) (Figura 6). Un resultado interesante de este trabajo fue la ausencia de diferencias significativas entre el entrenamiento exclusivo de fuerza y el entrenamiento combinado en los incrementos de fuerza y área de sección transversal. El incremento de potencia máxima en el test incremental fue similar con el entrenamiento exclusivo de resistencia y el entrenamiento combinado. Estos resultados sugieren que un programa de entrenamiento combinado de fuerza y resistencia en personas mayores produce incrementos similares en la fuerza y la masa muscular que un programa exclusivo de entrenamiento de fuerza e incrementos similares en la potencia máxima aeróbica que los cambios producidos por un programa exclusivo de entrenamiento de la resistencia cardiovascular (Izquierdo y col. 2004).

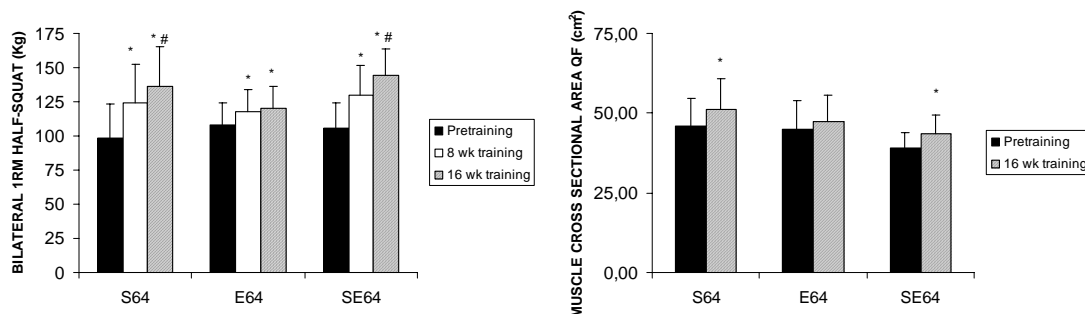


Figura 5. Efectos de entrenamiento de fuerza (S), el entrenamiento de resistencia aeróbica (E) y el entrenamiento combinado de fuerza y resistencia (SE) realizado durante 16 semanas, sobre la fuerza máxima bilateral concéntrica (A) y el área de la sección transversal de grupo muscular cuádriceps femoral (B) en hombres de 65-79 años de edad. (* significa diferencias estadísticamente significativas con mes 0, # significa diferencias estadísticamente significativas con mes 8) (A partir de Izquierdo y col. 2004)

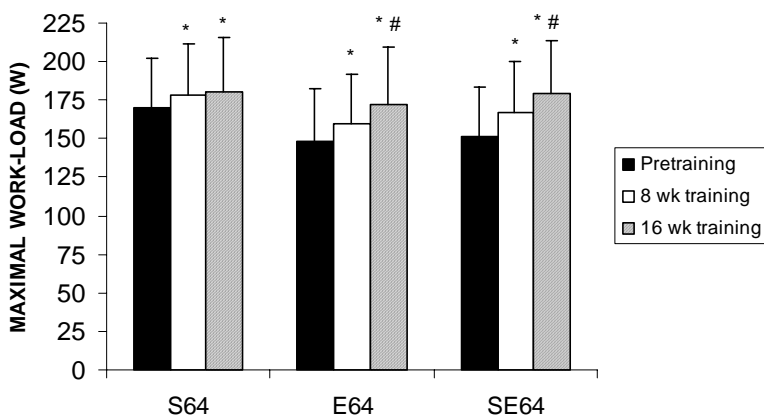


Figura 6. Efectos de entrenamiento de fuerza (S), el entrenamiento de resistencia aeróbica (E) y el entrenamiento combinado de fuerza y resistencia (SE) realizado durante 16 semanas, sobre la potencia máxima alcanzada en un test progresivo incremental discontinuo en una bicicleta ergométrica en hombres de 65-79 años de edad. (* significa diferencias estadísticamente significativas con mes 0, # significa diferencias estadísticamente significativas con mes 8). (A partir de Izquierdo y col. 2004)

PRESCRIPCIÓN DEL ENTRENAMIENTO

Diversos estudios han mostrado que la realización de un entrenamiento sistemático de la fuerza máxima se acompaña de incrementos significativos en la producción de fuerza, independientemente de la edad y el sexo, siempre y cuando la intensidad y duración del periodo de entrenamiento sean suficientes. Cualquier entrenamiento de fuerza tendrá el objetivo de mejorar una o varias de las siguientes expresiones de fuerza y velocidad: fuerza máxima, fuerza explosiva o máxima potencia. Otras variables relacionadas con el rendimiento, como la velocidad de marcha, o el equilibrio y control postural, también podrían estar influenciadas por este tipo de entrenamiento.

La efectividad y resultado de un entrenamiento para el desarrollo de la fuerza depende de la aplicación de una carga adecuada, es decir, de factores como la intensidad, volumen de entrenamiento (series x repeticiones), frecuencia y tipología de los ejercicios recomendados (isocinético/resistencia variable/isoinercial), periodos de recuperación entre las series y la frecuencia de entrenamiento. Se sabe que diferentes combinaciones de las variables que componen el entrenamiento, como por ejemplo el número de repeticiones por serie, número de series y descanso entre series, originan diferentes respuestas fisiológicas. De manera general, todos los programas de entrenamiento inducen ciertas mejoras de la fuerza máxima, hipertrofia o potencia muscular. Sin embargo, determinadas combinaciones tendrán un especial énfasis de adaptación en unas o en otras manifestaciones de la fuerza. En la actualidad, las recomendaciones realizadas por algunas instituciones y autores, suelen ser demasiado intensas y fatigantes y pueden inducir un aumento del riesgo de lesión y sobreentrenamiento, además de no favorecer en mayor medida el desarrollo de la fuerza y masa muscular que los efectos que pudieran surtir de utilizar intensidades inferiores.

Un programa diseñado para mejorar la fuerza muscular en personas de mediana y avanzada edad deberá seguir los mismos *principios básicos de entrenamiento* que los diseñados para jóvenes o deportistas: principio de la sobrecarga, de la progresión, de la especificidad y la individualidad del entrenamiento, y el principio del desentrenamiento o reversibilidad. Así, este tipo de programa de entrenamiento deberá producir un estímulo lo suficientemente intenso, por encima del que suponen las actividades regulares de la vida diaria, como para producir la respuesta de adaptación deseada (principio de sobrecarga), pero sin llegar a producir agotamiento o esfuerzo indebido. Una vez que el organismo se adapte a este estímulo será necesario que se modifique y/o incremente para que se continúe progresando (principio de la progresión). Si las cargas de entrenamiento no se incrementan progresivamente (entrenamiento de fuerza progresivo), los músculos se adaptarán al nivel de fuerza solicitado y se mantendrán los mismos niveles de fuerza hasta que no se someta al sistema neuromuscular a un estímulo mayor. Cuando una persona deja de entrenar, se producirá la regresión de las adaptaciones conseguidas. Además, el entrenamiento de fuerza deberá ser específico para los grupos musculares más utilizados y con transferencia directa (principio de especificidad) a tareas de la vida diaria como, por ejemplo, sostener una bolsa de la compra o subir escaleras. Por último, las adaptaciones producidas por un programa de entrenamiento de fuerza serán diferentes entre las personas y vendrán determinadas por su nivel de entrenamiento previo y edad. Una persona que se encuentre en buen estado de forma necesitará un tipo de entrenamiento más exigente que aquel que sea inactivo y deba comenzar el programa de entrenamiento con un estímulo menor.

Intensidad

La *intensidad* de un estímulo es el grado de esfuerzo que exige un ejercicio, y en el entrenamiento con cargas viene representado por el peso que se utiliza en términos absolutos o relativos, así como por el número máximo de repeticiones que se pueden realizar con un determinado peso. En función del número de repeticiones que se pueden realizar con una carga determinada hasta la fatiga se producen diferentes efectos sobre la fuerza. Clásicamente se ha comentado que el desarrollo de la fuerza máxima se consigue más eficazmente con cargas elevadas y pocas repeticiones (desde 4RM-10RM), mientras que si se reduce la resistencia y se aumenta el número de repeticiones (12RM-20RM) se favorecerá el desarrollo de la resistencia muscular. A efectos prácticos, el porcentaje de la fuerza dinámica máxima (% de 1RM) correspondiente al peso con el que se podrían efectuar un máximo de 8 a 12 repeticiones se encuentra, aproximadamente, entre el 70-80 %. La zona de 15 a 20 repeticiones corresponde a un 50-60 % de 1RM.

Según algunos autores e instituciones, un programa de entrenamiento recomendado tanto para la población adulta sana como con fines rehabilitadores utilizará intensidades moderadas (8-12RM), mientras que intensidades inferiores (10/12RM hasta 15RM) serán aconsejables para personas con riesgo de accidente cardiovascular o grupos de sujetos de edad avanzada y carácter más frágil (ACSM 1990, 1998). Sin embargo, diferentes estudios muestran como la realización de repeticiones hasta el fallo con estas intensidades pueden suponer un excesivo, e innecesario esfuerzo, además de ser perjudiciales para la salud y el rendimiento, no sólo para estos grupos de poblaciones especiales (p.ej. envejecimiento, obesidad, diabetes), sino también para la mayoría de los deportistas. Por otro lado, existe poca evidencia que muestre el efecto superior de estas intensidades sobre otras más inferiores (p.ej. 20RM-30RM) en personas previamente no entrenadas o en deportes con necesidades medias de fuerza. Lo recomendado para deportistas principiantes en el entrenamiento de fuerza o cuando el entrenamiento de fuerza se realiza para minimizar los efectos del envejecimiento sobre el sistema neuromuscular tanto en la población adulta sana como con fines rehabilitadores se recomienda comenzar con un carácter del esfuerzo de 8-10 rep/serie realizadas sobre 20RM o más y no sobrepasar un carácter del esfuerzo de 4-6 rep/serie realizadas sobre 15RM. La propuesta realizada por algunas instituciones para deportistas principiantes o para grupos de población especiales desde el punto de vista de la salud (p.ej. envejecimiento, diabetes, obesidad) basada en recomendar intensidades superiores y/o un carácter del esfuerzo máximo (p.ej. 10 rep/serie sobre 10 repeticiones realizables) pueden ser excesivas y contraproducentes con la mejora el rendimiento y la obtención de beneficios la mejora de la salud y calidad de vida

Volumen de entrenamiento

El *volumen de entrenamiento* es una medida de la cantidad total de ejercicio efectuado. Se expresa en función del número de repeticiones, kilogramos totales levantados, o duración de la sesión o período de entrenamiento. Clásicamente, los programas de entrenamiento para el desarrollo de la fuerza recomiendan realizar tres series de 6-12 repeticiones, durante 3 días a la semana. Sin embargo, se desconoce cuál es el volumen óptimo de entrenamiento para personas entrenadas o sin experiencia en el entrenamiento de fuerza (aquellas con menos de 1 año de entrenamiento).

La mayoría de los trabajos de investigación en personas que previamente no habían entrenado fuerza muestran que durante los primeros 3-4 meses de entrenamiento de fuerza, los programas que utilizan una serie por ejercicio, obtienen incrementos de parecida magnitud que aquellos que utilizan múltiples series. Por ello, tradicionalmente se ha recomendado utilizar una sola serie por ejercicio durante los primeros 6 meses de entrenamiento en personas mayores previamente inactivas. Este tipo de programas necesitan menos tiempo para su realización y producen beneficios similares sobre la salud y el estado de forma en personas mayores previamente inactivas.

En resumen, las recomendaciones realizadas en la actualidad por algunas instituciones y autores en el ámbito del entrenamiento de fuerza y potencia muscular, se alejan de la realidad. Este tipo de recomendaciones suelen ser demasiado intensas y fatigantes y pueden inducir un aumento del riesgo de lesión y sobreentrenamiento, además de no favorecer en mayor medida el desarrollo de la fuerza y masa muscular que los efectos que pudieran surtir de utilizar intensidades inferiores. La creencia más generalizada, especialmente en la literatura científica americana, es que para mejorar la fuerza máxima hay que realizar repeticiones por serie hasta el fallo (p.ej. 8/10/12 RM) Sin embargo, en cuanto a lo recomendado para deportistas principiantes en el entrenamiento de fuerza o cuando el entrenamiento de fuerza se realiza para minimizar los efectos del envejecimiento sobre el sistema neuromuscular tanto en la población adulta sana como con fines rehabilitadores se recomienda comenzar con un carácter del esfuerzo de 8-10 rep/serie realizadas sobre 20RM o más y no sobrepasar un carácter del esfuerzo de 4-6 rep/serie realizadas sobre 15RM. La propuesta realizada por algunas instituciones para deportistas principiantes o para grupos de población especiales desde el punto de vista de la salud (p.ej. envejecimiento, diabetes, obesidad) basada en recomendar intensidades superiores y/o un carácter del esfuerzo máximo (p.ej. 10 rep/serie sobre 10 repeticiones realizables) pueden ser excesivas y contraproducentes para la mejora del rendimiento y la obtención de beneficios en la mejora de la salud y calidad de vida. Las recomendaciones generales si utilizamos máquinas de pesas son las siguientes (**Tabla 1**):

Nº Ejercicios	Rep/serie	Series	Carácter esfuerzo	del	Porcentaje Orientativo	Frecuencia
8-10 ejercicios	6-10	1-3	10(20 o más), 6 (15)		40-60% 1RM	2 días

Tabla 1. Recomendaciones generales de entrenamiento de fuerza para deportistas principiantes o en personas adultas sanas y de avanzada edad. Por ejemplo el carácter del esfuerzo 10(20 o más) significa realizar 10 rep/serie con una intensidad (peso) correspondiente a la que se pudieran realizar 20 repeticiones o más.

Bibliografía recomendada

Izquierdo M. *Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte. Editorial Médica panamericana. Madrid. 2008.* <http://www.medicapanamericana.es/2007/Izquierdo/Izquierdo.htm>

Bibliografía complementaria

- ACSM (1990) Position stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 22: 265- 274.
- ACSM (1998) Position Stand on the Recommended Quantity and Quality of Exercise for developing and Maintaining Cardiorespiratory and Muscular Fitness, and Flexibility in Healthy Adults. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 30 (6) 975-991.
- Häkkinen K, M Alen, M Kallinen, M Izquierdo, K Jokelainen, H Lassila, E Mälkiä, WJ Kraemer, and R U Newton (1998a) Muscle CSA, force production, and Activation of leg extensor muscles during isometric and dynamic actions in middle-aged and elderly men and women. *J Aging and Phys Activity* 6: 232-247.
- Häkkinen K, Kallinen M, Izquierdo M, Jokelainen K, Lassila H, Mälkiä E, Kraemer WJ, Newton RU, Alen M (1998b) Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. *J Appl Physiol* 84: 1341-1349.
- Häkkinen K, Alen M, Kallinen M, Newton RU, Kraemer WJ (2000) Neuromuscular adaptation during prolonged strength training and detraining, and re-strength training in middle-aged and elderly people. *Eur. J. Appl. Physiol.* 83: 51-62.
- Häkkinen K, Pakarinen A, Kraemer WJ, Hakkinen A, Valkeinen H, Alen M (2001) Selective muscle hypertrophy, changes in EMG and force, and serum hormones during strength training in older women. *J. Appl. Physiol.* 91: 569-580.
- Harridge SD, Kryger A, Stensgaard A. (1999) Knee extensor strength, activation, and size in very elderly people following strength training. *Muscle Nerve.* 22(7):831-9.
- Hickson RC (1980) Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 45: 255-269.
- Horska A, Fishbein KW, Fleg SL, Spencer RG (2000) The relationship between creatine kinase kinetics and exercise intensity in human forearm is unchanged by age. *Am J Physiol endocrinol Metab.* 279: E333-339.
- Hunter GR, McCarthy JP, Bamman MM. *Effects of resistance training on older adults. Sports Med (2004) 34 (5): 329-348*
- Izquierdo M, Aguado X, González R, López JL, Häkkinen K (1999a) Maximal and explosive force production capacity and balance performance in men of different ages. *E. J. Appl. Physiol.* 79: 260-267.
- Izquierdo M, Ibáñez J, Gorostiaga EM, Garrúes P, Zúñiga A, Antón A, Larión JL, Häkkinen K. (1999b) Maximal strength and power characteristics in isometric and dynamic actions of the upper and lower extremities in middle-aged and older men. *Acta Physiol. Scand.* 167: 57-68.
- Izquierdo M, Häkkinen K, Antón A, Garrúes M, Ibáñez J, Ruesta M, Gorostiaga EM (2001a) Maximal strength & Power, endurance performance capacity, muscle cross-sectional area and serum hormones in middle-aged and older men. *Med. Sci. Sport Exerc.* 33: 1577-1587.
- Izquierdo M, Häkkinen K, Anton A, Garrues M, Ibañez J, Gorostiaga EM (2001b) Effects of strength training on muscle power and serum hormones in middle-aged and older men. *J. Appl. Physiol.* 90: 1497-1507.
- Izquierdo M, Häkkinen K, Ibañez J, Kraemer WJ, Gorostiaga EM (2004) Once Weekly combined resistance and cardiovascular training in healthy older men. *Med Sci Sport Exerc.* 36(3): 435-443.
- Izquierdo M, Häkkinen K, Ibañez J, Kraemer WJ, Gorostiaga EM (2005). Effect of combined resistance and cardiovascular training on strength, muscle CSA, and endurance performance in middle-aged men. *European Journal of Applied Physiology.* 94:70-75.
- Kraemer WJ (2000) Endocrine responses to resistance exercise. In *Essentials of strength training and conditioning*, pp. 91-114. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Kraemer WJ, JF Patton, SE Gordon, EA Harman, MR Deschenes, K Reynolds, RU Newton, NT Triplett and JE Dziados (1995) Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J Appl Physiol.* 78(3): 976-989.
- Leveritt, M, PJ Abernethy, BK Barry and PA Logan (1999) Concurrent strength and endurance training: a review. *Sports Med.* 28(6):413-427.
- Wood RH, Reyes R, Welsch MA, Favaloro-Sabatier J, Sabatier M, Lee M, Johnson LG, Hooper PF (2000) Concurrent cardiovascular and resistance training in healthy older adults. *Med Sci Sports Exerc.* 33 (10): 1751-1758.