

Posgrado en
Ejercicio Físico en Adultos Mayores

**Asignatura N°2: Envejecimiento y
Entrenamiento de Fuerza:
Adaptaciones Neuromusculares y
Hormonales.**

Autor: Dr. Mikel Izquierdo Redín

1.1 ANÁLISIS DEL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO Y SU IMPACTO SOBRE EL SISTEMA NEUROMUSCULAR

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. 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. 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 (e.g aumento del tejido grado y tejido conectivo). 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. Los efectos del entrenamiento de fuerza en personas de mediana y avanzada edad han sido estudiados con gran interés desde finales de los ochenta. Diversos estudios han mostrado que la realización de un entrenamiento sistemático de fuerza máxima se acompaña de incrementos significativos en la producción de fuerza, siempre y cuando la intensidad y duración del periodo de entrenamiento sean suficientes tanto en adultos jóvenes. 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.

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%) (Frontera y col. 1991, Häkkinen y col. 1998, Izquierdo y col. 1999a y 1999b). 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. 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

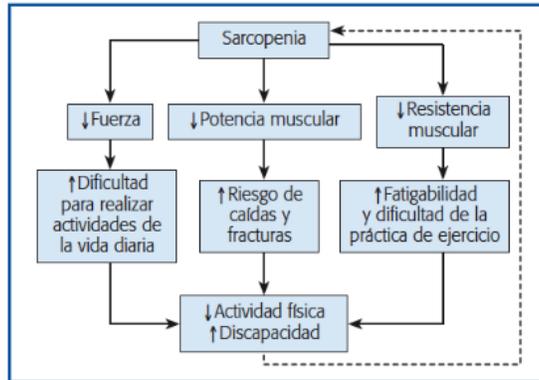


Figura 1. Modelo que explica las consecuencias funcionales de los cambios relacionados con la edad en la sarcopenia (pérdida de masa y función muscular) y el ciclo por el que se explica como la reducción de la actividad física acentúa el proceso de alteración. ↑ denota aumento; ↓ denota disminución. (Modificado de Hunter GR, McCarthy JP, Bamman MM. *Effects of resistance training on older adults. Sports Med* (2004) 34 (5): 329-348). (Modificado a partir de Izquierdo M et al. *Envejecimiento y entrenamiento de fuerza: Adaptaciones neuromusculares y hormonales*. En Izquierdo M. *Biomecánica y sistema neuromuscular en la actividad física y el deporte*. Editorial Médica Panamericana, Madrid, 2008).

1.2 PÉRDIDA DE FUERZA Y POTENCIA MUSCULAR

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. 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.

Las mujeres tienen aproximadamente el 56% de la fuerza de los hombres y esta diferencia se mantiene cuando la fuerza se expresa relativa a la masa corporal (Basse y Harries, 1993). En términos absolutos la reducción de fuerza asociada a la edad puede ser mayor en los hombres que en las mujeres, pero en términos relativos las mujeres pierden más fuerza que los hombres. Estos resultados han llevado a postular que con el envejecimiento las mujeres llegan a encontrarse en una situación de desventaja en comparación con los hombres (Basse y Harries, 1993). En la actualidad, tiene una especial consideración el conservar unos niveles adecuados de fuerza y resistencia muscular, necesarios para evitar que aparezcan problemas como los dolores de espalda, la osteoporosis o la imposibilidad futura de realizar actividades tan habituales como levantarse de una silla o caminar de manera independiente.

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). De manera similar a lo observado en otros trabajos de investigación, en un reciente estudio realizado con el objetivo de examinar el efecto de la edad en hombres de 40 y 70 años en 1) la producción de fuerza máxima [una repetición máxima (1RM)], 2) la potencia desarrollada por la musculatura del miembro superior (pectoral en banca) y del miembro inferior (media sentadilla) con diferentes porcentajes de 1RM (30%-70% de 1RM), 3) la fuerza dinámica explosiva en acciones de salto y 4) el área de la sección transversal (CSA) del

cuádriceps femoral (Q_F) (Izquierdo y col. 1999a) se observó una reducción paralela de la fuerza máxima y la masa muscular con el envejecimiento. Sin embargo, los sujetos de edad avanzada mostraron disminuida su habilidad para desarrollar potencia tanto en la musculatura de la extremidad inferior como en la del tren superior, incluso en mayor grado que la reducción asociada con el envejecimiento en fuerza máxima para los mismos grupos musculares (Izquierdo y col. 1999a) (Figura 2).

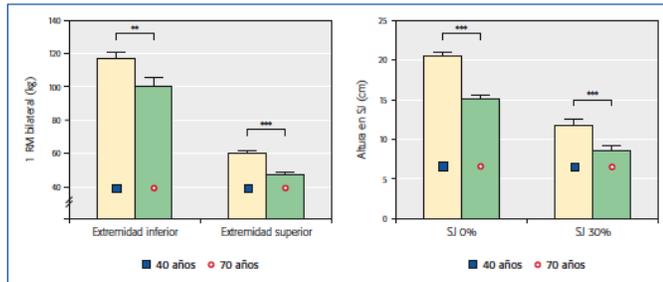


Figura 2. Cambios relativos a la edad en fuerza máxima y explosiva en la extremidad inferior y la superior (Modificado de Izquierdo M, Ibañez J, Gorostiaga E.M, Garrues M, Zúñiga A, Antón a, Larrión JL, y Häkkinen K (1999a) Maximal strength and power characteristics in isometric and dynamic actions of the upper and lower extremities in middle-aged and older men. *Acta Physiol Scand.* 67: 57-68). (Modificado a partir de Izquierdo M et al. Envejecimiento y entrenamiento de fuerza: Adaptaciones neuromusculares y hormonales. En Izquierdo M. Biomecánica y sistema neuromuscular en la actividad física y el deporte. Editorial Médica Panamericana, Madrid 2008).

La máxima potencia se alcanzó entre en el 30%-45% de 1RM para la extremidad superior y entre el 60%-70% para la extremidad inferior en ambos grupos de edad (Figura 3). Sin embargo, la magnitud de la reducción asociada al envejecimiento en fuerza máxima y/o potencia puede variar entre los diferentes grupos musculares en relación al tipo, cantidad y calidad de las actividades cotidianas realizadas. Las relaciones significativas observadas entre la producción de fuerza y la potencia muscular indican que en el grupo de mediana edad la máxima fuerza no está relacionada necesariamente con la producción de fuerza explosiva, mientras que en las personas mayores un nivel bajo de fuerza máxima parece asociarse también con una reducida habilidad para desarrollar acciones musculares rápidas. Todos estos aspectos necesitan tenerse en consideración en orden a desarrollar programas de entrenamiento para personas de distintas edades (Izquierdo y col. 1999a).

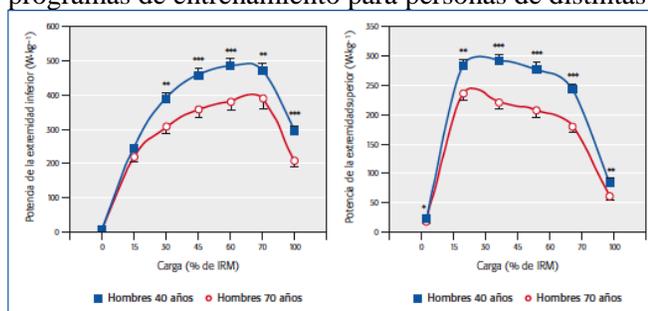


Figura 3. Curva potencia-carga en las acciones de semisentadilla y pectoral en banca en M40 y M70 (Modificado de Izquierdo M, Ibañez J, Gorostiaga E.M, Garrues M, Zúñiga A, Antón a, Larrión JL, y Häkkinen K (1999a) Maximal strength and power characteristics in isometric and dynamic actions of the upper and lower extremities in middle-aged and older men. *Acta Physiol Scand.* 67: 57-68). (Modificado a partir de Izquierdo M et al. Envejecimiento y entrenamiento de fuerza: Adaptaciones neuromusculares y hormonales. En Izquierdo M. Biomecánica y sistema neuromuscular en la actividad física y el deporte. Editorial Médica Panamericana, Madrid 2008).

La pérdida de fuerza y masa muscular en personas mayores esta directamente relacionada con una reducción en la autonomía de movimiento y en la capacidad para realizar tareas de la vida cotidiana. A partir de cierta edad, la reducción de la fuerza también está relacionada con el incremento del

riesgo de sufrir caídas y la disminución en la velocidad de marcha, especialmente en aquellas personas que presentan una reducción importante en la fuerza, masa muscular y capacidad de equilibrio (Fiatarone y col. 1990, Izquierdo y col. 1999b).

1.3 ¿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). 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 (Häkkinen y Pakarinen 1993, Vermulen y col. 1972, Mälkia 1994). Estos aspectos serán comentados en los siguientes apartados.

1.4 MASA MUSCULAR Y TENSIÓN ESPECÍFICA

El deterioro de la fuerza con la edad se produce esencialmente por una pérdida progresiva de masa muscular (sarcopenia) (Vandervoort y McComas 1986, Lexell 1993, Young y col. 1984). La disminución en el área de la sección transversal comienza progresivamente a la edad de 25 años, y esta disminución se acelera entre las edades de 50 y 70 años (Häkkinen y Häkkinen 1991, Greig y col. 1993). Lexell y colaboradores (1988), observaron una una reducción media en el área muscular del vasto lateral de un 40% desde los 20 a los 80 años de edad (Figura 4).

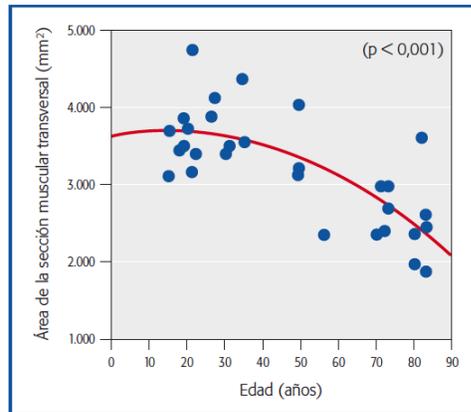


Figura 4. Relación entre la edad y el área de la sección transversal muscular (Modificado de Lexell J (1993) *Ageing and human muscle: observations from Sweden. Cand J Appl Physiol. 18: 2-18*). (Modificado a partir de Izquierdo M et al. *Envejecimiento y entrenamiento de fuerza: Adaptaciones neuromusculares y hormonales*. En Izquierdo M. *Biomecánica y sistema neuromuscular en la actividad física y el deporte*. Editorial Médica Panamericana, Madrid 2008).

La literatura muestra que con el envejecimiento existen relaciones significativas entre el deterioro de la fuerza máxima de un grupo muscular y la masa muscular del/os músculo/s que desarrollan la acción (Häkkinen y Pakarinen 1993, Hughes y col 2001). Así mismo, el deterioro de fuerza y masa muscular posiblemente sean procesos paralelos (Häkkinen y Häkkinen 1991). En este sentido, se ha considerado que durante el proceso de envejecimiento el deterioro en la masa muscular es uno de los principales mecanismos que contribuyen al deterioro de la fuerza muscular. Sin embargo, debido a que existe una gran variación interindividual entre los valores de fuerza y los del AST, y a que la disminución de fuerza expresada en porcentaje es mayor a la encontrada en la masa o volumen muscular, se puede pensar que existen otros factores que contribuyen al deterioro de esta capacidad como los relacionados con la reducción de la activación nerviosa máxima de los músculos, y con los cambios en las características cualitativas del tejido muscular (Häkkinen y Pakarinen 1993). Estos aspectos serán tratados a continuación.

Diferentes estudios de la literatura observan que el potencial que tiene un músculo de generar fuerza se relaciona con el AST. En esta línea las personas que tienen mayor AST son capaces de desarrollar mayor tensión ya que activan un número más alto de sarcómeros en paralelo (Larsson y col 1978a, Häkkinen y Pakarinen 1993). La fuerza normalizada por el área de sección transversal se determina por la pendiente de la representación de la fuerza y la unidad de masa muscular. Cuando se relaciona la fuerza con la fibra muscular, se le denomina tensión específica (Enoka 2002). Algunos de estos estudios se plantean la posibilidad de que el músculo de una persona mayor sea menos eficaz que el de una más joven y utilizan el valor de la fuerza normalizada (Fuerza/masa muscular) para estudiarlo (Häkkinen y Pakarinen 1993, Hughes y col 2001).

Así mismo se tiene que tener en consideración que el AST solo explica el 50% de la varianza de en la producción de fuerza. Los factores que pueden influir en esta variación son los relacionados con: 1) el uso de una sola determinación del AST, cuando para la mayoría de los músculos el AST se modifica a lo largo del paquete muscular (Narici y col 1989, Häkkinen y col 2000). La necesidad de identificar todos los músculos que intervienen en la producción de fuerza, (Häkkinen y col 1998) 3) la dificultad de aislar la cierta coactivación antagonista, mientras se activan los agonistas (Izquierdo 1997, Häkkinen y col 1998), 4) La asunción de que todo el músculo se puede activar (Harridge y col 1999) y la variación en la arquitectura relacionada con la arquitectura muscular (ángulo de pennación, longitud de la fibra muscular) (Hunter 2000, Aagaard y col 2001).

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; FMI_{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 5A yB) y relativa al área de sección transversal del cuádriceps femoral (Figura 5C), las diferencias observadas entre los dos grupos en la habilidad de mover rápidamente diferentes pesos absolutos fueron reducidas (Figura 5B) o incluso desaparecieron (Figura 5C). 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 5B y 5C) por unidad de sección transversal 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).

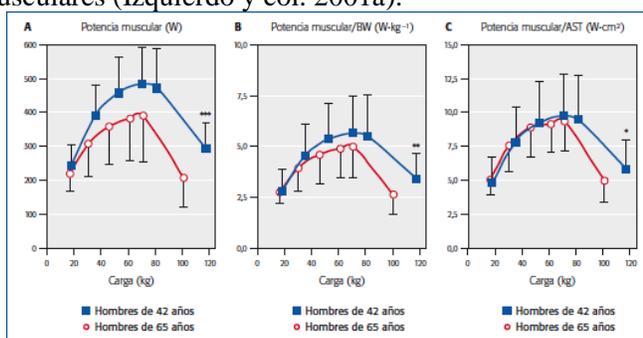


Figura 5. Valores medios (\pm DE) de la potencia muscular de los músculos de la extremidad inferior durante la ejecución del ejercicio de semisentadilla con diferentes pesos en valores absolutos (A), normalizados por kilogramo de peso corporal (B), y normalizado por área de la sección transversal de 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). (Modificado a partir de Izquierdo M et al. Envejecimiento y entrenamiento de fuerza: Adaptaciones

neuromusculares y hormonales. En Izquierdo M. Biomecánica y sistema neuromuscular en la actividad física y el deporte. Editorial Médica Panamericana, Madrid 2008).