



Revisión

Beneficios del entrenamiento de fuerza para la prevención y tratamiento de la sarcopenia

Carlos J. Padilla Colón¹, Pilar Sánchez Collado^{1,2} y María José Cuevas^{1,2}

¹Instituto de Biomedicina (IBIOMED). Universidad de León. España. ²Departamento de Ciencias Biomédicas, Universidad de León. España.

Resumen

La sarcopenia es un síndrome que se caracteriza por una pérdida gradual y generalizada de la masa muscular esquelética y la fuerza, con riesgo de presentar resultados adversos como discapacidad física, calidad de vida deficiente y mortalidad. Existen varios factores que contribuyen: el proceso de envejecimiento a lo largo de la vida, influencias sobre el desarrollo en las etapas iniciales de la vida, una alimentación inadecuada, el reposo en cama o sedentarismo, enfermedades crónicas y determinados tratamientos farmacológicos. La sarcopenia representa un deterioro del estado de salud con un costo personal elevado: trastornos de la movilidad, mayor riesgo de caídas y fracturas, deterioro de la capacidad de realizar actividades cotidianas, discapacidad, pérdida de independencia y mayor riesgo de muerte. El entrenamiento de la fuerza es actualmente uno de los métodos más eficaces para combatir la sarcopenia mediante la estimulación de la hipertrofia e incremento de la fuerza. Los programas de entrenamiento de fuerza en personas mayores probablemente constituyen, por sí mismos, una de las medidas preventivas más eficaces para retrasar la aparición de sarcopenia. En la presente revisión bibliográfica se analizarán diferentes factores relacionados con la sarcopenia y el entrenamiento de la fuerza como método preventivo.

(*Nutr Hosp.* 2014;29:979-988)

DOI:10.3305/nh.2014.29.5.7313

Palabras clave: *Entrenamiento de fuerza. Sarcopenia. Personas mayores.*

BENEFITS OF STRENGTH TRAINING FOR THE PREVENTION AND TREATMENT OF SARCOPENIA

Abstract

Sarcopenia is a syndrome characterized by a gradual loss and generalized skeletal muscle mass and strength at risk for adverse outcomes such as physical disability, poor quality of life and mortality. It has several contributing factors: the aging process throughout life, influences on development in the early stages of life, eating sub optimal, bed rest or sedentary lifestyle, chronic diseases and certain drug treatments. Sarcopenia represents a deterioration of health status with a high personal cost: mobility disorders, increased risk of falls and fractures, impaired ability to perform everyday activities, disability, loss of independence and increased risk of death. The strength training is currently one of the most effective methods for combating sarcopenia by stimulating hypertrophy and increase strength. The strength training programs in older people themselves are probably one of the most effective preventive measures to delay the onset of sarcopenia. In this literature review different factors related sarcopenia and strength training as a preventive method is analyzed.

(*Nutr Hosp.* 2014;29:979-988)

DOI:10.3305/nh.2014.29.5.7313

Key words: *Strength training. Sarcopenia. Elderly.*

Abreviaturas

ADN: Ácido desoxirribonucleico.
ADNmt: Genoma mitocondrial (ADN mitocondrial).

CNTF: Factor neurotrófico ciliar.
GH: Hormona de crecimiento.
IGF-1: Factor de crecimiento insulínico tipo 1.
IL-1: Interleuquina-1.
IL-6: Interleuquina-6.
IL-15: Interleuquina-15.
MicroARN: Micro ácido ribonucleico.
IRM: 1 Repetición máxima.
TNF- α : Factor de necrosis tumoral- α .

Correspondencia: Carlos Javier Padilla Colón.
HC6 box. 60509 Mayagüez PR 00680.
E-mail: carlosjavier.padilla@gmail.com

Recibido: 31-I-2014.
1.ª Revisión: 17-II-2014.
Aceptado: 20-II-2014.

Introducción

El envejecimiento es el producto de diferentes cambios funcionales que conducen al ser humano a una reducción sustancial de todas sus capacidades. La estructura corporal compuesta de huesos y músculos también es susceptible a ser vulnerable, por lo que su deterioro suele ocasionar una discapacidad relativa. Algunas funciones pueden verse afectadas aún antes del envejecimiento. El hecho de no haber experimentado un óptimo desarrollo durante la plenitud de la vida (como por ejemplo tener poca masa ósea o escaso volumen muscular) puede favorecer el deterioro más temprano¹. Dentro de las complicaciones asociadas al envejecimiento esta la sarcopenia, la cual es el resultado de múltiples variables, lo que hace compleja su fisiopatología, diagnóstico, prevención y tratamiento¹. La sarcopenia, según Cruz y cols.², es un síndrome que se caracteriza por una pérdida gradual y generalizada de la masa muscular esquelética y la fuerza con riesgo de provocar resultados adversos como discapacidad física, calidad de vida deficiente y mortalidad^{3,4}.

Dentro de los tratamientos encontrados para prevenir o retrasar la sarcopenia encontramos el entrenamiento de la fuerza. No obstante, es importante destacar que la fuerza muscular no solo depende de la masa muscular y la relación entre fuerza y masa no es lineal^{4,5}. Por este motivo no podemos definir la sarcopenia solamente en relación con la masa muscular ya que no sería totalmente correcto y su utilidad clínica sería muy limitada. De hecho, diversos autores sostienen que el término dinapenia resulta más idóneo para describir la pérdida de fuerza y función muscular asociada a la edad⁶. En la sarcopenia se une la reducción del volumen de los músculos con una menor capacidad funcional de los mismos. En general, se solapan situaciones como: menor actividad física de la requerida, sedentarismo y nutrición inadecuada. A estos factores se suman otros elementos, tales como: cambios hormonales, participación de citoquinas y cambios neuromusculares. Además, no se debe olvidar que existen factores genéticos y nutricionales de base (es decir, la conformación del cuerpo humano de la niñez a la edad adulta puede dar una base de músculos gruesos, o por el contrario, delgados)⁷.

Los músculos se adaptan a todas las circunstancias que deben afrontarse durante la vida. Uno de los principales puntos de regulación se encuentra a nivel de las células satélites que, finalmente, determinan la síntesis de las proteínas musculares, en especial la miosina. La capacidad del músculo, determinada por factores genéticos y nutricionales, puede verse influenciada y afectada por hormonas, como el factor de crecimiento insulínico tipo I (IGF-1), la testosterona, agentes anabólicos⁸ y reducción de fibras musculares (tipo I y II, especialmente las fibras de tipo II) que impiden la función muscular mecánica⁹.

La fuerza muscular disminuye gradualmente desde los 30 a los 50 años, siendo mayor en los hombres que

en las mujeres¹⁰. En la sexta década de vida, se produce una fuerte disminución no lineal de un 15%, que puede alcanzar hasta un 30% cerca de los 80 años. El resultado es la pérdida de fuerza y equilibrio. Todo ello aumenta el riesgo de problemas graves debido a las caídas, lesiones crónicas y recurrentes y enfermedades degenerativas¹¹. Diversos estudios han demostrado que el ejercicio de fuerza puede contrarrestar estas deficiencias relacionadas con la edad^{9,12}. Pese a la idea obsoleta de que el entrenamiento de la fuerza es innecesario o ineficaz para las personas mayores, existen evidencias que indican con claridad que estas personas tienen una posibilidad importante de beneficiarse con este tipo de ejercicios. De hecho, se ha puesto de manifiesto que incluso individuos mayores de 90 años pueden aumentar su acondicionamiento muscular mediante el entrenamiento de la fuerza¹³.

Sarcopenia

Definición de la sarcopenia

El término Sarcopenia fue acuñado por el doctor Rosenberg¹⁴ director del Research Center on Aging de la Universidad de Tufts (Boston, Estados Unidos). Rosenberg utilizó el concepto de sarcopenia para referirse a la pérdida involuntaria del músculo esquelético (del griego sarcos-carne y penia-carencia)¹⁵⁻¹⁸. Esta pérdida de masa muscular es la principal causa de la disminución de la fuerza.

Mecanismos de la sarcopenia

Toda condición en el ser humano tiene un comienzo y la sarcopenia no es la excepción. Dentro de los mecanismos que podrían intervenir en el inicio y la progresión de la sarcopenia cabe destacar la síntesis proteica, proteólisis, integridad neuromuscular y contenido de grasa muscular². En un sujeto con la condición de sarcopenia pueden intervenir varios factores y las contribuciones relativas de éstos pueden variar con el tiempo (fig. 1). Por tanto, es esperable que la identificación de estos mecanismos y sus causas subyacentes facilite el diseño de ensayos de intervención en los que se actúe sobre uno o más de los factores implicados en el origen y desarrollo de la sarcopenia².

Etiología de la sarcopenia

La etiología de la sarcopenia es multifactorial, y su progresión se atribuye generalmente a cambios relacionados con la edad en el músculo esquelético: un aumento de la pérdida, o la resistencia a los factores anabólicos¹⁹. Diferentes estudios longitudinales sobre la calidad muscular han puesto de manifiesto una disminución importante en la capacidad para producir la fuer-

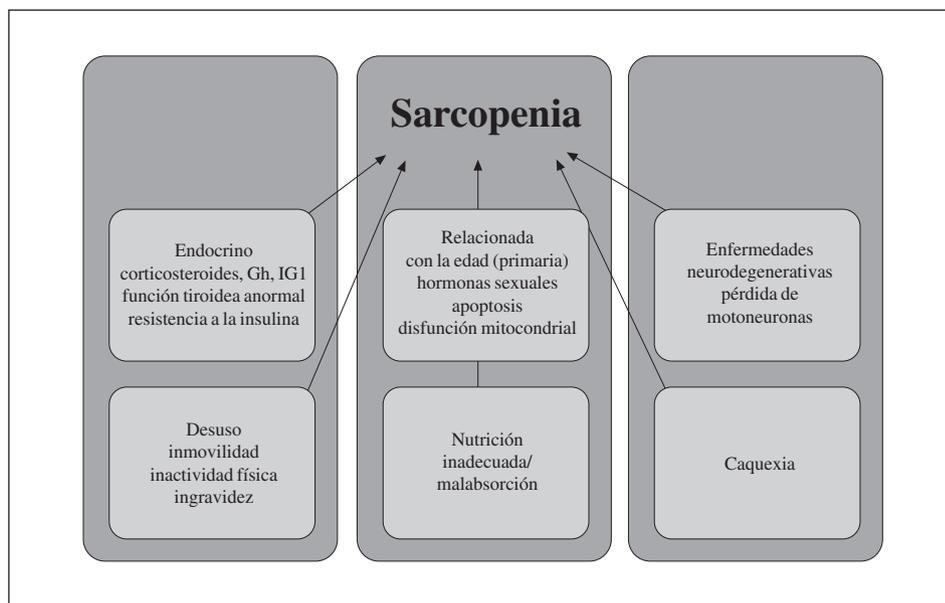


Fig. 1.—Mecanismos de la sarcopenia (modificado de Cruz y cols.²).

za por unidad de músculo durante el envejecimiento²⁰⁻²². La disminución muscular en las extremidades inferiores tiene mayor importancia ya que produce un descenso grave en la capacidad funcional de las personas²³. La sarcopenia puede depender del proceso de inflamación crónica que afecta a la mayor parte de las personas mayores²⁴, agravada por la infiltración de grasa en el músculo y la obesidad sarcopénica²⁵⁻²⁷. Además, el aumento drástico de alimentos altos en calorías promueve a una mayor disminución de masa muscular²⁸.

Sin embargo, la heredabilidad de la masa muscular y fuerza puede ser tan alta como del 50 al 60%^{29,30}, lo que indica que, desde el punto de vista genético, el desarrollo de la sarcopenia puede ser controlable. En efecto, determinados genes han sido identificados como posibles mediadores de la sarcopenia³¹. Así, situaciones e influencias tempranas de la vida pueden determinar la progresión de la sarcopenia en una edad posterior.

La incapacidad funcional aparece como consecuencia de la disminución de la producción de la fuerza rápida (fibras rápidas o fibras tipo II)^{26,32}. Esto puede ser debido a una menor resistencia de este tipo de fibras, a la denervación^{25,33}, deficiencias en la expresión génica de la miosina tipo II³³ y a una menor resistencia de estas fibras al estrés oxidativo^{34,35}. También se ha indicado que estos mecanismos podrían estar relacionados con la deficiencia de testosterona encontrada en las personas mayores^{32,35}.

La reducción de fibras en la masa muscular también se produce por factores intrínsecos en los miocitos. Este efecto perjudicial es causado por la acumulación de daño del ADNmt que afecta negativamente a la tasa metabólica, la síntesis de proteínas y la producción de ATP. Como resultado esto produce la muerte de las fibras musculares^{25,35}.

Por otra parte, los mecanismos de regeneración y reparación de fibras musculares también están compro-

metidos en las personas mayores, debido a una menor actividad de las células satélite^{26,36}, estrés oxidativo^{33,37}, respuesta anormal del microARN³⁸ y una regulación inadecuada de los procesos de reparación de fibras musculares dañadas.

Otras causas y factores relacionados con la etiología de la sarcopenia son las siguientes:

- *Causa neurológica*. Esta causa se asocia con la pérdida del tono neurotrófico vital para mantener el tono muscular, la pérdida de unidades motoras alfa y fibras nerviosas de conducción rápida de la médula espinal. Estas fibras nerviosas son indispensables para conducir el impulso nervioso a aquellas fibras musculares de contracción rápida tipo 2 que corrigen posición y actitudes corporales y que ayudan a evitar caídas, mantener la estación bípeda, así como moverse con destreza y habilidad^{39,40}.
- *Causa muscular*. A partir de los 30 años se pierde hueso y masa muscular. Las fibras musculares sufren una disminución en el número de proteínas de contracción, se hacen más delgadas y son reemplazadas por tejido conjuntivo y colágeno. Finalmente, se atrofian y desaparecen⁴¹.
- *Causa hormonal*. La edad está asociada con la reducción de hormonas anabólicas como andrógenos (testosterona), estrógenos y hormonas del crecimiento, IGF-1 (factor de crecimiento similar a la insulina). También se asocia con el aumento de citoquinas antiinflamatorias y proinflamatorias como las interleuquinas IL-1 (interleuquina-1), IL-6 (interleuquina -6), TNF- α (factor de necrosis tumoral- α), IL-15 (interleuquina-15) y CNTF (factor neurotrófico ciliar), que tienen una fuerte influencia en el equilibrio entre la síntesis proteica y la degradación muscular⁴² y llevan al deterioro de la fibra muscular⁴³.

- *Causa nutricional.* La disminución de la ingesta de alimentos en personas mayores conlleva serias consecuencias que podrían reflejarse en la pérdida de peso y masa muscular y fuerza^{44,45}. Además, ya que las personas mayores consumen cantidades más pequeñas de alimento, puede ser más difícil para ellos el satisfacer sus necesidades de nutrientes, especialmente de micronutrientes. Aunque la importancia de una nutrición adecuada se conoce desde hace mucho tiempo, su contribución a la masa muscular y la fuerza no se ha estudiado ampliamente y gran parte de la investigación en esta área es relativamente nueva⁴⁶. Se han realizado diversas intervenciones que van desde el apoyo nutricional⁴⁷ hasta la suplementación con nutrientes específicos⁴⁸⁻⁵⁰, y se ha encontrado que, los nutrientes que han sido más consistentemente ligados a la sarcopenia y fragilidad en adultos mayores son: la vitamina D, proteínas, y una serie de nutrientes antioxidantes, que incluyen carotenoides, selenio y vitaminas E y C⁴⁶. Sin embargo, también hay cierta evidencia de que las variaciones en el consumo de ácidos grasos polinsaturados pueden tener importantes efectos en la fuerza muscular en personas de edad avanzada⁴⁹.
- *Estilo de vida sedentario.* La condición de la sarcopenia empeora con el desuso y una vida sedentaria, lo que produce una mayor y más rápida pérdida de músculo que una vida activa²⁰. El estilo de vida sedentario está relacionado con un nivel bajo de actividad física. Una de las causas más importantes, y que todo ser humano tiene, son las alteraciones de la marcha y el equilibrio. Así, con la edad y el paso del tiempo se va perdiendo fuerza y la percepción de las cosas y esto se exagera con un estilo de vida sedentario⁵¹.
- *Caquexia.* Reconocida como una condición asociada con un número de enfermedades crónicas y agudas, la caquexia fue definida por Evans y cols.⁵² como un síndrome metabólico complejo asociado con la enfermedad subyacente y caracterizado por la pérdida de músculo con o sin pérdida de masa grasa. Esta pérdida exagerada de masa músculo esquelética distingue la caquexia de la pérdida de peso que se debe únicamente a la reducción de ingesta de energía.
- *Estrés oxidativo.* Es un estado en el que se altera el control normal y equilibrado de la producción de oxidantes y la capacidad antioxidante⁵³. A niveles fisiológicos, estas moléculas oxidantes cumplen importantes tareas de señalización, pero cuando la concentración se eleva, se produce el fenómeno conocido como estrés oxidativo, el cual provoca efectos adversos tales como alteraciones de los lípidos, proteínas y el ADN. Está ampliamente demostrado en la literatura que el estrés oxidativo se asocia con enfermedades crónicas y con el proceso de envejecimiento⁵⁴, y supone que un aumento de estrés oxidativo dirige a las células del músculo a un estado catabólico que lleva a pérdida de masa muscular⁵⁵. Existen múltiples estudios que prueban que el estrés oxidativo se asocia con enfermedades crónicas. Además, el estrés oxidativo es un potente inductor de la apoptosis, una forma de muerte celular programada que está regulada genéticamente⁵⁶.
- *Células satélite.* Aunque los mecanismos exactos que causan la sarcopenia no se han dilucidado, la hipótesis de que las células satélite podrían desempeñar un papel importante en la pérdida de masa muscular esquelética relacionada con la edad ha ganado recientemente mucho interés. Las células satélite, o células madre del músculo, son la única fuente para la generación de mionúcleos nuevos *in vivo* en el músculo esquelético⁵⁷. Las células satélite son esenciales para la reparación e hipertrofia del tejido muscular. Normalmente, estas células se encuentran en reposo entre la lámina basal y la membrana plasmática de fibras musculares. En la proliferación y activación subsiguiente, la mayoría de las células satélite se diferencian para formar mionúcleos nuevos, o bien se fusionan con las fibras existentes para generar nuevas fibras, mientras que una pequeña proporción vuelve a quiescencia^{58,59}. Debido a que las células satélite son responsables del mantenimiento de la masa muscular esquelética, una disminución en el número de estas células, o en su capacidad para activarse y proliferar en respuesta a estímulos anabólicos, es probable que resulte en una alteración estructural del músculo y su función^{58,60,61}.
- *Composición corporal.* A través de la historia se ha relacionado la pérdida de peso con el aumento en la edad. También, la disminución de la masa muscular en la población de edad avanzada es un factor importante de debilidad muscular⁶². Los hombres mientras van envejeciendo aumentan la masa grasa y disminuye la masa muscular pero, posteriormente, la masa grasa disminuye⁶³. Por su parte, las mujeres tienen un patrón semejante⁶³, aumento de la grasa intramuscular y visceral con el envejecimiento al tiempo que disminuye la grasa subcutánea^{64,65}.
- *Fragilidad.* Se le conoce como un síndrome geriátrico que se caracteriza por deterioros acumulativos, relacionados con la edad, de varios sistemas fisiológicos, con alteración de la reserva homeostática y disminución de la capacidad del organismo de soportar el estrés. Todo ello tiende a aumentar la vulnerabilidad dando lugar a efectos no deseados como caídas, hospitalización, institucionalización y mortalidad^{2,66,67}. Fried y cols.⁶⁷ crearon una definición fenotípica de la fragilidad basada en aspectos físicos fácilmente identificables. Tres o más de las características siguientes respaldan un diagnóstico de fragilidad: pérdida de peso involuntaria, agotamiento, debilidad, velocidad lenta de la marcha y baja actividad física^{2,67}. La fragilidad y la sar-

copenia se superponen; y de esta forma gran cantidad de ancianos frágiles presentan sarcopenia y algunas personas de edad avanzada con sarcopenia también son frágiles². El concepto general de fragilidad, sin embargo, va más allá de los factores físicos, de modo que también abarca dimensiones psicológicas y sociales, como estado cognitivo, apoyo social y otros factores ambientales⁶⁶.

- *Inmovilidad y cama*. Son lamentablemente consecuencias comunes de ingreso hospitalario por enfermedad o trauma. Diversos estudios han demostrado que, en pacientes ancianos sanos en cama durante 10 días, existe una reducción en la síntesis de proteínas, y una significativa pérdida de masa muscular sin cambios significativos en la masa grasa, mientras que en los jóvenes tales efectos sólo se observan después de 28 días de estar en cama^{68,69}. Esto demuestra que la persona de edad avanzada es especialmente propensa a la pérdida de masa muscular cuando está en cama. En pacientes sometidos a cirugía, el aumento de los niveles de cortisol tiene efectos graves sobre el metabolismo de las proteínas del músculo esquelético, causando más proteólisis y afectando los niveles de insulina⁷⁰. Los efectos de la suplementación de aminoácidos durante el período de inactividad post-traumático pueden mejorar los efectos inducidos por altos niveles de cortisol⁷⁰.
- *Pérdida de neuronas por medio del envejecimiento neuromuscular*. Es un proceso progresivo e irreversible que aumenta con la edad. Entre las causas que contribuyen a la pérdida de resistencia observada en la sarcopenia, debemos mencionar los cambios en el sistema nervioso debido a la edad, que provocan la pérdida de unidades motoras. Una unidad motora se compone de una motoneurona alfa y todas las fibras musculares conectadas con ella. Si las motoneuronas alfa se pierden, las fibras del músculo denervado se conectan para sobrevivir a las motoneuronas alfa. Ésto determina que una motoneurona alfa puede conectarse con más fibras musculares y constituir grandes unidades motoras³³. Todo ello conduce a la pérdida de eficacia y podría ser la causa del temblor típico y fatiga en el anciano, dando como resultado la pérdida de precisión motor y la mala coordinación relacionada con la edad⁷¹. También se produce la desaceleración del pico de contracción, dando lugar a una reducción en la fuerza producida y la proporción en la fuerza-velocidad. Estos efectos son secundarios a los cambios en dos proteínas esenciales para el control de la contracción: (1) el receptor ryano-dine y (2) la Ca-ATPasa.

Tratamiento de la sarcopenia

Dentro de los tratamientos para combatir la sarcopenia y sus efectos a través del tiempo se ha encontrado

que el entrenamiento de la fuerza es uno de los más utilizados y que a su vez arroja resultados muy positivos y beneficiosos para esta población.

Entrenamiento de la fuerza

El entrenamiento de fuerza consiste en la utilización de la fuerza para lograr la contracción muscular, y así incrementar la resistencia anaeróbica, la fuerza muscular y el tamaño de los músculos. El entrenamiento con pesas puede proporcionar beneficios funcionales significativos, incrementos en las capacidades cognitivas, volitivas y una mejora en la salud general y el bienestar¹³.

Ejercicios de fuerza

Como se ha comentado con anterioridad la sarcopenia está mediada por múltiples mecanismos, incluyendo estilos de vida sedentarios, la malnutrición, muerte de las neuronas alfa, concentraciones alteradas de hormonas y aumento de la inflamación^{33,72}. Actualmente, el entrenamiento de la fuerza es uno de los métodos más eficaces para combatir la sarcopenia (mediante la estimulación de la hipertrofia), incrementar la masa muscular y la fuerza⁶⁹ y mejorar la adaptación neuromuscular^{25,33,74-82}.

Por tanto, dentro de un programa de ejercicios se debería incluir el entrenamiento de la fuerza. Típicamente, los incrementos de fuerza asociados con el entrenamiento han sido mucho más grandes que la respuesta hipertrofica. Además, el entrenamiento de fuerza parece ser relativamente seguro, incluso en los participantes con múltiples comorbilidades^{83,84}. Como resultado, se obtiene una mayor capacidad para realizar las actividades de la vida diaria, la prevención del deterioro funcional y la discapacidad. Por otra parte, es importante destacar que se han reportado escasos efectos secundarios asociados a este tipo de tratamiento, y que únicamente habría que limitarlo en pacientes con insuficiencia cardíaca congestiva⁷⁰.

Entrenamiento de la fuerza en personas mayores

Revisiones sistemáticas han demostrado que incluso en los ancianos más viejos el entrenamiento de fuerza aumenta la masa muscular, la potencia y la fuerza muscular⁸², además de mejorar parámetros objetivos del síndrome de fragilidad tales como la velocidad de la marcha y el tiempo de levantarse de una silla⁸². Aunque inicialmente estos resultados sobre la mejoría de la función física no eran claros, los estudios de Liu y Latham⁸², han demostrado que es una intervención eficaz para mejorar la función física en ancianos y retrasar por lo tanto la discapacidad. Otros estudios experimentales han demostrado, 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^{85,86}. Sin embargo, los efectos del entrenamiento sobre el área de la sección transversal muscular se tiene 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 muscular⁸⁷. Así, en un estudio realizado en mujeres de edad avanzada por Häkkinen y cols.⁸⁷ se puso de manifiesto que los cambios inducidos tras 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, de tal forma 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, estos hallazgos no se observaron en el músculo vasto intermedio ni en el recto femoral.

Por otro lado, al analizar la influencia que tiene la proporción de fibras rápidas y lentas sobre los incrementos en la fuerza muscular y el área de sección transversal, se observaron mayores incrementos en el área de sección transversal de los músculos entrenados que aquellos sujetos que tenían una menor proporción de fibras rápidas⁸⁸. Esto podría 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. La explicación podría encontrarse en los cambios producidos a nivel del sistema nervioso y por pequeñas modificaciones en las propiedades contráctiles de las fibras con el entrenamiento. Así, un anciano vigoroso con funcionalidad conservada, sin comorbilidad y con un nivel de actividad física previa elevado, necesitará un tipo de entrenamiento más exigente que aquel que sea frágil y presente patologías asociadas que afecten a su función y que deberá comenzar el programa con un estímulo menor.

Está claro, conforme a lo establecido por Seguin y Miriam⁸⁹, que a partir de una variedad de programas de entrenamiento de fuerza controlado y supervisado, incluso en el propio domicilio, se pueden reportar beneficios significativos en la salud de los adultos mayores. Los principales retos de este campo del ejercicio serían identificar las mejores recomendaciones para los adultos mayores y aumentar, en gran medida, el acceso a métodos seguros y eficaces en programas de entrenamiento de fuerza.

Frischknecht⁹⁰ concluyó que el entrenamiento de fuerza en personas de edad avanzada produce hipertrofia de las fibras musculares y mejora los factores neurales implicados en la producción de fuerza. La fuerza a su vez mejora el rendimiento físico y permite una vida más activa e independiente hacia el final de la misma. Frontera y Bigard⁹¹ indicaron que el entrenamiento de fuerza ha demostrado invertir parcialmente las pérdidas relacionadas con la edad en la función muscular. El progreso en los resultados del entrenamiento de fuerza au-

menta de forma espectacular la fuerza muscular, hipertrofia (aunque en menor medida), aumento en la síntesis de proteínas, aumento en la fuerza de la fibra muscular específica, y cambios en pruebas funcionales, tales como caminar y poder subir escaleras. Todas estas afirmaciones refuerzan la hipótesis de que el entrenamiento de la fuerza progresivo podría ser una herramienta eficaz y segura contra la sarcopenia también en los pacientes geriátricos. Por lo tanto, desde un punto de vista preventivo, todos los sujetos de edad avanzada deben ser advertidos para iniciar este tipo de programa de ejercicio y continuar tanto tiempo como sea posible^{92,93}. De hecho, si realizamos una comparación con personas jóvenes, los ejercicios de fuerza en ancianos producen un incremento en la fuerza muscular menor en términos absolutos pero similares en términos relativos⁷⁰.

Componentes del entrenamiento de la fuerza

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 fuerza⁹⁴. Estos ejercicios de fuerza deben ser realizados en la modalidad de circuitos con intensidades del 70-90% de (1RM) y enfatizando el movimiento excéntrico por lo menos dos días a la semana no consecutivos^{25,33,76,78,95}. Las personas mayores retienen la capacidad de mejorar su fuerza muscular después de participar en un programa de entrenamiento sistemático de fuerza máxima siempre y cuando la intensidad y duración del periodo de entrenamiento sean suficientes⁹⁶. Estos programas deberán seguir los mismos principios básicos de entrenamiento que los diseñados para jóvenes o deportistas: 1) principio de sobrecarga, 2) progresión, 3) especificidad e individualidad del entrenamiento, y 4) desentrenamiento o reversibilidad⁹⁷. 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 obtener la respuesta de adaptación deseada (principio de sobrecarga), pero sin llegar a producir agotamiento o esfuerzo indebido⁹⁴. 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 mayor⁹⁴. Cuando una persona deja de entrenar, se producirá la regresión de las adaptaciones conseguidas. Además, el entrena-

miento de fuerza deberá ser específico para los grupos musculares más utilizados y con transferencia directa (principio de especificidad) a actividades de la vida diaria como, por ejemplo, sostener una bolsa de la compra o subir escaleras.

No obstante, 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 físico necesitará un tipo de entrenamiento más exigente que aquel que sea inactivo y deba comenzar el programa de entrenamiento con un estímulo menor. Por ello, los programas de entrenamiento de fuerza suelen variar en función de su intensidad, número de repeticiones y series, así como la duración y la frecuencia de las unidades según el objetivo del entrenamiento (tabla I).

El entrenamiento de fuerza muscular progresiva requiere instrucciones precisas acerca de la carga externa, principalmente según la intensidad. La carga a levantar por cada sujeto está definida por los equipos

tradicionales de entrenamiento: pesas, bandas de resistencia, propio peso corporal entre otros. La forma en que se realizan los ejercicios contribuye a la transferencia de la fuerza muscular en las actividades de la vida cotidiana como por ejemplo, levantarse de una posición sentada o llevar las compras⁹⁸.

Existe la opinión generalizada de que, a una edad avanzada, la intensidad de la carga debe reducirse a fin de evitar lesiones y uso excesivo crónico. Sin embargo, este efecto no se apoya en la evidencia actual, y varios grupos de trabajo han señalado la necesidad de una mayor intensidad para ancianos y jóvenes. En varios estudios controlados aleatoriamente que incluyeron un total de 1,313 sujetos mayores de 65 años, Steib y cols.⁹⁹ demostraron una dependencia notable de la capacidad de fuerza a la mejora de la intensidad del entrenamiento de fuerza (> 75% de la capacidad de la fuerza máxima)⁹⁹. Ciolac y cols.¹⁰⁰ realizaron un estudio combinado durante 13 semanas de un entrenamiento de alta intensidad en dos grupos (mujeres entre 29 y 65 años) y registraron aumentos en la fuerza en ambos grupos, sin

Tabla I
Efectos y ejemplos de las dosis recomendadas en el entrenamiento de fuerza y los posibles enfoques organizativos para diferentes formas de entrenamiento en las personas mayores (modificado de Mayer y cols.⁹⁸)

<i>Objetivos</i>	<i>Posibles efectos del entrenamiento</i>	<i>Dosis</i>	<i>Posibles enfoques organizativos</i>
Aumento de la fuerza muscular	Incremento de la masa muscular	8-12 repeticiones por grupo muscular de un 70-85% de una repetición máxima, 3 sets; 2-3 unidades de entrenamiento por semana, por lo menos 8 a 12 semanas.	Ejercicios en estudio, gimnasio, programa en el hogar, inicialmente bajo la instrucción, luego de forma independiente.
	Entrenamiento de la coordinación intramuscular	Hasta 8 repeticiones por grupo muscular con intensidades de más del 80% de una repetición máxima, 3-5 series, 3 unidades de entrenamiento por semana, varias semanas.	Ejercicio en estudio, gimnasio, programa en el hogar, bajo instrucción.
	Entrenamiento de la coordinación intermuscular	Varias repeticiones, mas unidades de entrenamiento diario, de alta velocidad de movimiento, entre otros.	Entrenamiento sobre superficies irregulares, con o sin pesos adicionales; bajo instrucción, luego de forma independiente.
Reducción de la sarcopenia	Incremento de la masa muscular	8-12 repeticiones por grupo muscular de un 60-80% de una repetición máxima, 3 series, 3 unidades de entrenamiento por semana, por lo menos 8-12 semanas	Ejercicios en estudio, gimnasio, programa en el hogar, inicialmente bajo la instrucción, luego de forma independiente.
Adaptación a tendones y huesos	Aumento de la síntesis neta de colágeno, reducción en la pérdida de densidad ósea	Intensidades medias a elevadas (> 60-80% de una repetición máxima, > peso corporal), varias unidades de entrenamiento por semana, semanas o meses.	Ejercicio en estudio, gimnasio, bajo instrucción.
Prevención de caídas y lesiones	Optimizar el control postural, la formación de la coordinación intermuscular	Varias repeticiones, mas unidades de entrenamiento diario, de alta velocidad de movimiento.	Entrenamiento sobre superficies irregulares, con o sin pesos adicionales; bajo instrucción, luego de forma independiente.
	Entrenamiento de la coordinación intramuscular	Hasta 8 repeticiones por grupo muscular en las intensidades de más de 80% de una repetición máxima; 3-5 series; 3 unidades de entrenamiento por semana; varias semanas.	Ejercicio en estudio, gimnasio, programa en el hogar, bajo instrucción.

diferencias entre los grupos y sin efectos adversos. En otro estudio de seguimiento, hombres (con edades comprendidas entre 65 y 72 años) también se sometieron a 13 semanas de entrenamiento de fuerza. Los resultados también pusieron de manifiesto aumentos relevantes en la fuerza como una adaptación al entrenamiento con pesos¹⁰¹. Por lo tanto, en las personas de edad avanzada, la fuerza de alta intensidad progresiva es efectiva y no son de esperar efectos adversos importantes.

Junto al componente de la intensidad es importante recalcar la importancia del tiempo de duración y el volumen de ejercicios en el entrenamiento de fuerza para esta población. Strasser y cols.¹⁰² demostraron que después de 6 meses de entrenamiento de fuerza 3 veces por semana como máximo, la fuerza se incrementó un promedio del 15% para el press de pierna ($P < ,01$), 25% para el press de banca ($P < 0,01$), 30% para jalón al pecho ($P < ,001$), y la masa corporal magra se incrementó en un $1,0 \pm 0,5$ kg en los adultos de edad avanzada. Sobre la base de este ensayo controlado aleatoriamente, concluyeron que la intensidad de carga para promover la hipertrofia con el entrenamiento de la fuerza debe acercarse a un 60-80% de una repetición máxima (1RM), con un volumen de ejercicio de 3 a 6 series por grupo muscular por semana y de 10 a 15 repeticiones por ejercicio. Binder y cols.¹⁰³, en un ensayo aleatorio y controlado, estudiaron los efectos del entrenamiento de la fuerza en 91 sujetos con el síndrome de fragilidad (≥ 78 años) residentes de una comunidad. Tres meses de entrenamiento de fuerza supervisado provocó un aumento en la fuerza máxima voluntaria y la masa libre de grasa en el cuerpo de las mujeres y hombres que participaron en el estudio, principalmente en el área de las piernas. En general, las mejorías significativas (hasta $> 50\%$ de aumento de la fuerza) se puede esperar hasta después de 6 semanas del entrenamiento de fuerza a un ritmo de 2 a 3 sesiones por semana. Por el contrario, Vincent y cols.¹⁰⁴ realizaron un estudio en adultos mayores sanos con una duración de 26 semanas, en un programa de ejercicios de fuerza de baja y alta intensidad y sólo encontraron una mejora modesta en la fuerza muscular del muslo en el entrenamiento de alta intensidad. Por otra parte, Roth y cols.¹⁰⁵ demostraron que 6 meses de entrenamiento de fuerza en las personas mayores de 65-75 años, produce beneficios en la fuerza muscular similares a los obtenidos en individuos más jóvenes de 20 a 30 años. El tiempo de tratamiento necesario para observar efectos positivos es de 10 a 12 semanas, aunque en algunos estudios se observan efectos positivos con 2 semanas de entrenamiento¹⁰⁶.

Además del objetivo de la hipertrofia muscular, el entrenamiento de la fuerza tiene como fin aumentar la fuerza muscular mediante la mejora de la adquisición, la frecuencia y sincronización de las unidades de motoras⁹. Este entrenamiento de la coordinación intramuscular como regla de oro debe realizarse en personas de edad avanzada con mayor peso y con un menor número de repeticiones por serie.

Conclusión

La realización de entrenamiento físico, de forma más específica el entrenamiento de la fuerza, es una de las intervenciones más eficaces para retrasar la sarcopenia y los eventos relacionados que se asocian habitualmente con esta condición. Cada vez se confirman más resultados beneficiosos del entrenamiento de fuerza en la población de personas mayores y sus efectos se extienden a otras situaciones como lo son las caídas y el deterioro cognitivo. En la actualidad se necesitan más estudios que continúen aportando una visión más clara sobre la utilización e integración del entrenamiento fuerza a condiciones como la sarcopenia, así como a otras patologías relacionadas con el deterioro funcional de las personas mayores.

Referencias

1. Porias Cuéllar H, Diez García MP, Lamm Wiechers L. Sarcopenia. Parte 1: Los aspectos fisiológicos del músculo y la fisiopatología de este síndrome. *Rev Metab Óseo y Min* 2011; 9: 114-27.
2. Cruz Jentoft A, Pierre Baeyens J, Jürgen Bauer J, Boirie Y, Cederholm T, Landi F y cols. Sarcopenia: consenso europeo sobre su definición y diagnóstico. *Age Ageing* 2010; 39: 412-23.
3. Delmonico MJ, Harris TB, Lee JS. Alternative definitions of sarcopenia, lower extremity performance, and functional impairment with aging in older men and women. *J Am Geriatr Soc* 2007; 55: 769-74.
4. Goodpaster BH, Park SW, Harris TB. The loss of skeletal muscle strength, mass, and quality in older adults: the health, aging and body composition study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2006; 61: 1059-64.
5. Janssen I, Baumgartner R, Ross R. Skeletal muscle cut points associated with elevated physical disability risk in older men and women. *Am J Epidemiol* 2004; 159: 413-21.
6. Clark BC, Manini TM. Sarcopenia \neq dynapenia. *J Gerontol Biol Sci Med Sci* 2008; 63: 829-34.
7. Bales CW, Ritchie CS. Sarcopenia, weight loss and nutritional frailty in elderly. *Ann Rev Nutr* 2002; 22: 302-23.
8. Narici MV, Maffulli N. Sarcopenia: characteristics, mechanisms and functional significance. *Br Med Bull* 2010; 95: 139-59.
9. Aagaard P, Suetta C, Caserotti P, Magnusson SP, Kjaer M. Role of the nervous system in sarcopenia and muscle atrophy with aging: strength training as a countermeasure. *Scand J Med Sci Sports* 2010; 20: 49-64.
10. Newman AB, Lee JS, Visser M. Weight change and the conservation of lean mass in old age: the health, aging and body composition study. *Am J Clin Nutr* 2005; 82: 915-6.
11. Faulkner JA, Larkin LM, Claflin DR, Brooks SV. Age-related changes in the structure and function of skeletal muscles. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 2007; 34: 1091-6.
12. Petrella RJ, Chudyk A. Exercise prescription in the older athlete as it applies to muscle, tendon, and arthroplasty. *Clin J Sport Med* 2008; 18: 522-30.
13. Brown L. Entrenamiento de la fuerza. Madrid. *Médica Panamericana* 2008. p. 33-342.
14. Rosenberg IH. Summary comments: epidemiological and methodological problems in determining nutritional status of older persons. *Am J Clin Nutr* 1989; 50: 1231-3.
15. Bross R, Javanbakht M, Bhasin S. Anabolic interventions for aging-associated sarcopenia. *J Clin Endocrinol Metab* 1999; 84: 3420-31.
16. Rosenberg IH. Sarcopenia: origins and clinical relevance. *J Nutr* 1997; 127: 990-1.

17. Roubenoff R. The pathophysiology of wasting in the elderly. *J Nutr* 1999; p. 256-59.
18. Yarasheski K, Pak Loduca J, Hasten D, Obert K, Brown MB, Sinacore D. Resistance exercise training increases mixed muscle protein synthesis rate in frail women and men >76-yr-old. *Am J Physiol* 1999; 227: 118-25.
19. Doherty TJ. Aging and sarcopenia. *J Appl Physiol* 2003; 95: 1717-27.
20. Serra Rexach JA. Consecuencias clínicas de la sarcopenia. *Nutr Hosp* 2006; 21: 46-50.
21. Macaluso A, Nimmo MA, Foster JE, Cockburn M, McMillan NC, De Vito G. Contractile muscle volume and agonist-antagonist coactivation account for differences in torque between young and older women. *Muscle Nerve* 2002; 25: 858-63.
22. Morse CI, Thom JM, Davis MG, Fox KR, Birch KM, Narici MV. Reduced plantar flexor specific torque in the elderly is associated with a lower activation capacity. *Eur J Appl Physiol* 2004; 92: 219-26.
23. Reid KF, Naumova EN, Carabello RJ, Phillips EM, Fielding RA. Lower extremity muscle mass predicts functional performance in mobility-limited elders. *J Nutr Health Aging* 2008; 12: 493-8.
24. Nicklas BJ, Brinkley TE. Exercise training as a treatment for chronic inflammation in the elderly. *Exerc Sport Sci Rev* 2009; 37: 165-70.
25. Rolland Y, Czerwinski S, Abellan Van Kan G. Sarcopenia: its assessment, etiology, pathogenesis, consequences and future perspectives. *J Nutr Health Aging* 2008; 12: 433-50.
26. Adamo ML, Farrar RP. Resistance training, and IGF involvement in the maintenance of muscle mass Turing the aging process. *Ageing Res Rev* 2006; 5: 310-31.
27. Gómez Cabello G, Vicente Rodríguez S, Vila Maldonado JA, Casajús JA. Envejecimiento y composición corporal: la obesidad sarcopénica en España. *Nutr Hosp* 2012; 27: 22-30.
28. Miller SL, Wolfe RR. The danger of weight loss in the elderly. *J Nutr Health Aging* 2008; 12: 487-91.
29. Zhai G, Ding C, Stankovich J, Cicuttini F, Jones G. The genetic contribution to longitudinal changes in knee structure and muscle strength: a sib pair study. *Arthritis Rheum* 2005; 52: 2830-4.
30. Tiainen K, Sipilä S, Alen M, Heikkinen E, Kaprio J, Koskenvuo M y cols. Heritability of maximal isometric muscle strength in older female twins. *J Appl Physiol* 2004; 96: 173-80.
31. Huygens W, Thomis MA, Peeters MW, Aerssens J, Vlietinck R, Beunen GP. Quantitative trait loci for human muscle strength: linkage analysis of myostatin pathway genes. *Physiol Genomics* 2005; 22: 390-7.
32. Verdijk LB, Koopman R, Schaart G, Meijer K, Savelberg HH, Van Loon LJ. Satellite cell content is specifically reduced in type II skeletal muscle fibres in the elderly. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2007; 292: 151-7.
33. Jones TE, Stephenson KW, King JG, Knight KR, Marshall TL, Scott WB. Sarcopenia mechanisms and treatments. *J Geriatr Phys Ther* 2009; 32: 83-9.
34. Thompson LV. Age-related muscle dysfunction. *Exp Gerontol* 2009; 44: 106-11.
35. Beas Jiménez J, López Lluch G, Sánchez Martínez I, Muro Jiménez A, Rodríguez Bies E, Navas P. Sarcopenia: implications of physical exercise in its pathophysiology, prevention. *Rev Andal Med Deporte* 2011; 4: 158-66.
36. Peake J, Della Gatta P, Cameron Smith D. Aging and its effects on inflammation in skeletal muscle at rest and following exercise-induced muscle injury. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2010; 298: 1485-95.
37. Dargelos E, Poussard S, Brule C, Daury L, Cottin P. Calcium-dependent proteolytic system and muscle dysfunctions: A possible role of calpains in sarcopenia. *Biochimie* 2008; 90: 359-68.
38. Drummond M, McCarthy JJ, Fry CS, Esser K, Rasmussen BB. Aging differentially affects human skeletal muscle microRNA expression at rest and after an anabolic stimulus of resistance exercise and essential amino acids. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2008; 295: 1333-40.
39. Chow LS, Nair KS. Sarcopenia of male aging. *Endocrinol Metab Clin North Am* 2005; 34: 833-52.
40. González E, Messi ML, Delbono O. The specific force of single intact extensor digitorum longus and soleus mouse muscle fibers declines with aging. *J Membr Biol* 2000; 178: 175-83.
41. Janssen I, Heymsfield SB, Ross R. Low relative skeletal muscle mass (sarcopenia) in older persons is associated with functional impairment and physical disability. *J Am Geriatr Soc* 2002; 50: 889-96.
42. Argilés J, Busquets S, López Soriano F, Figueras M. Fisiología de la sarcopenia. Similitudes y diferencias con la caquexia neoplásica. *Nutr Hosp* 2006; 21: 38-45.
43. Feldman H, Longcope C, Derby C, Johannes C, Araujo A, Coviello A y cols. Age trends in the level of serum testosterone and other hormones in middle-aged men: longitudinal results from the Massachusetts male aging study. *J Clin Endocrinol Metab* 2002; 87: 589-98.
44. Nieuwenhuizen WF, Weenen H, Rigby P, Hetherington MM. Older adults and patients in need of nutritional support: review of current treatment options and factors influencing nutritional intake. *Clin Nutr* 2010; 29: 160-9.
45. García de Lorenzo y Mateos J, Álvarez F, De Man F. Aging and hyponutrition: A challenge for the sustainability of the nhs; conclusions of the 9th abbott-senpe debate forum. *Nutr Hosp* 2012; 27: 1060-4.
46. Kaiser M, Bandinelli S, Lunenfeld B. Frailty and the role of nutrition in older people. A review of the current literature. *Acta Biomed* 2010; 81: 37-45.
47. Ha L, Hauge T, Spennings AB, Iversen PO. Individual, nutritional support prevents undernutrition, increases muscle strength and improves QoL among elderly at nutritional risk hospitalized for acute stroke: a randomized, controlled trial. *Clin Nutr* 2010; 29: 567-73.
48. Bischoff Ferrari HA, Dawson Hughes B, Staehelin HB. Fall prevention with supplemental and active forms of vitamin D: a meta analysis of randomised controlled trials. *Clin Res* 2009; 339: 3692-703.
49. Calder PC. N-3 Polyunsaturated fatty acids, inflammation, and inflammatory diseases. *Am J Clin Nutr* 2006; 83: 1505-19.
50. Vazquez Morales A, Wanden Berghe C, Sanz Valero J. Exercise and nutritional supplements; effects of combined use in people over 65 years; A systematic review. *Nutr Hosp* 2013; 28: 1077-84.
51. Ghez C, Kandell ER, Schwartz JH, Jessell TM. Posture: principles of neural science. Norwalk, CT: Elsevier Sci Publish. 1991. p. 596-607.
52. Evans WJ, Morley JE, Argiles J. Cachexia: a new definition. *Clin Nutr* 2008; 27: 793-9.
53. Cuevas MJ, Almar M, García Glez JC, García López D, De Paz JA, Alvear Ordenes I, González Gallego J. Changes in oxidative stress markers and NF-kappaB activation induced by sprint exercise. *Free Radic Res* 2005; 39: 431-9.
54. Mauriz JL, Molpeceres V, García Mediavilla MV, González P, Barrio JP, González Gallego J. Melatonin prevents oxidative stress and changes in antioxidant enzyme expression and activity in the liver of aging rats. *J Pineal Res* 2007; 42: 222-30.
55. Laviano A, Meguid MM, Preziosa I, Fanelli FR. Oxidative stress and wasting in cancer. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2007; 10: 449-56.
56. Siu PM, Wang Y, Alway SE. Apoptotic signaling induced by H2O2-mediated oxidative stress in differentiated C2C12 myotubes. *Life Sci* 2009; 84: 468-81.
57. Allen DL, Roy RR, Edgerton VR. Myonuclear domains in muscle adaptation and disease. *Muscle Nerve* 1999; 22: 1350-60.
58. Kadi F, Schjerling P, Andersen LL, Charifi N, Madsen JL, Christensen LR y cols. The effects of heavy resistance training and detraining on satellite cells in human skeletal muscles. *J Physiol* 2004; 558: 1005-12.
59. Zammit PS, Golding JP, Nagata Y, Hudon V, Partridge TA, Beauchamp JR. Muscle satellite cells adopt divergent fates: a mechanism for self-renewal. *J Cell Biol* 2004; 166: 347-57.
60. Shefer G, Van de Mark DP, Richardson JB, Yablonka Reuveni Z. Satellite cell pool size does matter: defining the myogenic potency of aging skeletal muscle. *Dev Biol* 2006; 294: 50-66.

61. Renault V, Thornell LE, Eriksson PO, Butler Browne G, Mouly V. Regenerative potential of human skeletal muscle during aging. *Aging Cell* 2002; 1: 132-9.
62. Stenholm S, Harris TB, Rantanen T. Sarcopenic obesity: definition, cause and consequences. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2008; 11: 693-700.
63. Ding J, Kritchevsky SB, Newman AB. Effects of birth cohort and age on body composition in a sample of community based elderly. *Am J Clin Nutr* 2007; 85: 405-10.
64. Hughes VA, Roubenoff R, Wood M, Frontera WR, Evans WJ, Singh MA. Anthropometric assessment of 10-years changes in body composition in the elderly. *Am J Clin Nutr* 2004; 80: 475-82.
65. Song MY, Ruts E, Kim J, Janumala I, Heymsfield S, Gallagher D. Sarcopenia and increased adipose tissue infiltration of muscle in elderly African American women. *Am J Clin Nutr* 2004; 79: 874-80.
66. Bauer JM, Sieber CC. Sarcopenia and frailty: a clinician's controversial point of view. *Exp Gerontol* 2008; 43: 674-8.
67. Fried LP, Tangen CM, Walston J. Frailty in older adults: evidence for a phenotype. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2001; 56: 146-56.
68. Kortebein P, Ferrando A, Lombeida J, Wolf R. Effect of 10 days of bed rest on skeletal muscle in healthy older adults. *JAMA* 2007; 297: 1772-4.
69. Paddon Jones D, Sheffield Moore M, Zhang XJ, Volpi E, Wolf SE, Aarsland A y cols. Amino acid ingestion improves muscle protein synthesis in the young and elderly. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2004; 286: 321-8.
70. Malafarina V, Úriz Otano F, Iniesta R, Gil Guerrero L. Sarcopenia in the elderly: diagnosis, physiopathology and treatment. *Maturita* 2012; 71: 109-14.
71. Roubenoff R. Sarcopenia and its implications for the elderly. *Eur J Clin Nutr* 2000; 54: 40-7.
72. Velázquez Alva M, Irigoyen Camacho ME, Delgadillo Vázquez J, Lazarevich I. The relationship between sarcopenia, undernutrition, physical mobility and basic activities of daily living in a group of elderly women of Mexico City. *Nutr Hosp* 2013; 28: 514-21.
73. Johnston AP, De Lisio M, Parise G. Resistance training, sarcopenia, and the mitochondrial theory of aging. *Appl Physiol Nutr Metab* 2008; 33: 191-9.
74. Abellan Van Kan G, Andre E, Bischoff Ferrari HA, Boirie Y, Onder G y cols. Carla task force on sarcopenia: propositions for clinical trials. *J Nutr Health Aging* 2009; 13: 700-7.
75. Thomas DR. Sarcopenia. *Clin Geriatr Med* 2010; 26: 331-346.
76. Boirie Y. Physiopathological mechanism of sarcopenia. *J Nutr Health Aging* 2009; 13: 717-23.
77. Messier V, Rabasa Lhoret R, Barbat Artigas S, Elisha B, Karelis AD, Aubertin Leheudre M. Menopause and sarcopenia: a potential role for sex hormones. *Maturitas* 2011; 68: 331-6.
78. Borst SE. Intervention for sarcopenia and muscle weakness in older people. *Age Ageing* 2004; 33: 548-55.
79. Hunter GR, McCarthy JP, Bamman M. Effects of resistance training on older adults. *Sports Med* 2004; 34: 329-48.
80. Macaluso A, De Vito G. Muscle strength, power and adaptations to resistance training in older people. *Eur J Appl Physiol* 2004; 91: 450-72.
81. Marini M, Sarchielli E, Brogi L, Lazzeri R, Salerno R, Sgambati E y cols. Role of adapted physical activity to prevent the adverse effects of the sarcopenia. A pilot study. *It J Anat Embryol* 2008; 113: 217-26.
82. Liu C, Latham NK. Progressive resistance strength training for improving physical function in older adults. *Cochrane Database Syst Rev* 2009; 3: CD002759.
83. Gillespie LD, Robertson MC, Gillespie WJ. Interventions for preventing falls in older people living in the community. *Cochrane Database Syst Rev* 2009; 3: CD007146.
84. García M, Martínez JA, Izquierdo M, Gorotiaga EM, Grijalba A, Ibáñez J. Effect of resistance training and hypocaloric diets with different protein content on body composition and lipid profile in hypercholesterolemic obese women. *Nutr Hosp* 2012; 27: 1511-20.
85. Frontera WR, Meredith CN, O'Reilly KP, Knuttgen HG, Evans WJ. Strength conditioning in older men; skeletal muscle hypertrophy and improved function. *J Appl Physiol* 1988; 64: 1038-44.
86. Häkkinen K, Häkkinen A. Neuromuscular adaptations during intensive strength training in middle-aged and elderly males and females. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1995; 35: 137-47.
87. Häkkinen K, Pakarinen A, Kraemer WJ, Häkkinen A, Valkeinen H, Alen M. Selective muscle hypertrophy, changes in EMG and force, and serum hormones during strength training in older women. *J Appl Physiol* 2001; 91: 569-80.
88. Häkkinen K, Alen M, Kallinen M, Newton RU, Kraemer WJ. Neuromuscular adaptation during prolonged strength training and detraining, and re-strength training in middle-aged and elderly people. *Eur J Appl Physiol* 2000; 83: 51-62.
89. Seguin R, Miriam N. Los beneficios del entrenamiento de la fuerza en los adultos mayores. *Am J Med Anterior* 2003; 25: 141-9.
90. Frischknecht R. Effect of training on muscle strength and motor function in the elderly. *Reprod Nutr Dev* 1998; 38: 167-74.
91. Frontera W, Bigard X. The benefits of strength training in the elderly. *Sci Sports* 2002; 17: 109-16.
92. Bautmans I, Van Puyvelde K, Mets T. Sarcopenia and functional decline: pathophysiology, prevention and therapy. *Acta Clin Belg* 2009; 64: 303-16.
93. Rolland Y, Dupuy C, Abellan van Kan G, Gillette S, Vellas B. Treatment Strategies for sarcopenia and frailty. *Med Clin North Am* 2011; 95: 427-38.
94. Casas Herrero A, Izquierdo M. Ejercicio físico como intervención eficaz en el anciano frágil. *An Sist Sanit Navar* 2012; 35: 69-85.
95. Nelson ME, Rejeski WJ, Blair SN, Duncan PW, Judge JO, King AC y cols. Physical activity and public health in older adults: recommendation from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation* 2007; 116: 1094-105.
96. Pedersen BK, Saltin B. Evidence for prescribing exercise as therapy in chronic disease. *Scand J Med Sci Sports* 2006; 1: 3-63.
97. American college of sports medicine position stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 1998; 30: 975-91.
98. Mayer F, Scharhag Rosenberger F, Carlssohn A, Cassel M, Müller S, Scharhag JM. The Intensity and Effects of Strength Training in the Elderly. *Dtsch Arztebl Int* 2011; 108: 359-64.
99. Steib S, Schoene D, Pfeifer K. Dose-response relationship of resistance training in older adults: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 2010; 42: 902-14.
100. Ciolac EG, Brech GC, Greve JM. Age does not affect exercise intensity progression among women. *J Strength Cond Res* 2010; 24: 3023-31.
101. Ciolac EG, Garcez Leme LE, Greve JM. Resistance exercise intensity progression in older men. *Int J Sports Med* 2010; 31: 433-8.
102. Strasser B, Keinrad M, Haber P, Schobersberger W. Efficacy of systematic endurance and resistance training on muscle strength and endurance performance in elderly adults a randomized controlled trial. *Wien Klin Wochenschr* 2009; 121: 757-64.
103. Binder BF, Yarasheski KE, Steger May K. Effects of progressive resistance training on body composition in frail older adults: results of a randomized, controlled trial. *J Gerontol Biol Sci Med Sci* 2005; 60: 1425-31.
104. Vincent KR, Braith RW, Feldman RA. Resistance exercise and physical performance in adults aged 60 to 83. *J Am Geriatr Soc* 2002; 50: 1100-7.
105. Roth SM, Martel GF, Ivey FM. Skeletal muscle satellite cell characteristics in young and older men and women after heavy resistance strength training. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2001; 56: 240-7.
106. Burgos Peláez R. Enfoque terapéutico global de la sarcopenia. *Nutr Hosp* 2006; 21: 51-60.