

Implicaciones funcionales del entrenamiento de la fuerza en el adulto mayor: una revisión de literatura

Roberto Rebolledo-Cobos¹, Cleiton Silva Correa², Jesse Juliao-Castillo³, Raúl Polo Gallardo⁴, Olga Suarez Landazabal⁵

¹Universidad Metropolitana de Barranquilla, Colombia. ²Instituto Federal Farroupilha, Santo Augusto, Rio Grande do Sul, Brasil. ³Universidad Metropolitana de Barranquilla, Colombia. ⁴Programa Universidad Simón Bolívar de Barranquilla, Colombia. ⁵Universidad Metropolitana de Barranquilla, Colombia.

Recibido: 29.04.2016

Aceptado: 29.07.2016

Resumen

El envejecimiento es un conjunto de procesos, inherente a los seres vivos, los cuales inducen a la pérdida de la capacidad de adaptación al ambiente mediante la disminución de la funcionalidad. Está asociado a un declive de las funciones de los sistemas osteomuscular y neuromuscular, convergiendo en el decrecimiento de todas las expresiones de la fuerza muscular, incluyendo la máxima, la potencia y también el tiempo de reacción. La capacidad funcional hace referencia a una cualidad multidimensional, sin embargo, para el aspecto particular de funcionalidad física, se considera como la capacidad fisiológica para realizar las actividades de la vida diaria de forma segura y autónoma, sin provocar agotamiento. Para batallar los fenómenos que promueven la pérdida continua de la capacidad funcional, se requieren de estrategias que promuevan beneficios en los sistemas osteomuscular y neuromuscular, especialmente si logran disminuir la velocidad de deterioro. Las diferentes modalidades de entrenamiento de la fuerza pueden constituir una estrategia adecuada para combatir estos efectos. El objetivo de presente artículo de revisión fue sistematizar las alteraciones del músculo esquelético durante el envejecimiento y las adaptaciones musculares derivadas de los diferentes sistemas entrenamiento de la fuerza en adultos mayores, con base a la literatura científica más conspicua. La síntesis de resultados justifica la importancia de la aplicación del entrenamiento de la fuerza para evitar la sarcopenia y optimizar la capacidad funcional en adultos mayores. Es de suma importancia el conocimiento sobre las particularidades musculares (morfológicas y neuromusculares) necesarias en la implementación de las diferentes modalidades de entrenamiento. Las adaptaciones proporcionadas por el sistema de entrenamiento reactivo, muestran mayores beneficios funcionales para los adultos mayores, cotejado con las modalidades de entrenamiento tradicional y de potencia.

Palabras clave:

Envejecimiento. Adulto mayor.
Adulto mayor frágil.
Fuerza muscular.
Entrenamiento resistido.
Entrenamiento de la fuerza.

Functional implications of the strength training on older adult: a literature review

Summary

Aging is a set of processes, inherent of living beings, of which induce loss of capacity to adapt into the environment by decreased functionality. It is associated to a declivity of the functions of the musculoskeletal and neuromuscular systems converging in degrowth of all expressions of muscular strength, including maximum, power and the reaction time. The functional capacity makes reference to a multidimensional quality, however, for the particular aspect of physical functioning, it is considered as the physiologic capacity to perform activities of daily living safely and independently, without provoking exhaustion. To fight the phenomena that promote the continued loss of functional capacity, they require strategies that promote benefits in musculoskeletal and neuromuscular systems, especially if you manage to decrease the speed of deterioration, benefit the quality of life, functional independence and influence increased life expectancies. Both older men and women, the different modalities of strength training can constitute a proper strategy to combat these effects. The purpose of this review article was to systematize the alterations of skeletal muscle during aging and the derivatives muscular adaptations of the different strength training in older adults systems, based on the most conspicuous and relevant scientific literature. The synthesis of results justifies the importance of the application of strength training to avoid sarcopenia, dynapenia and optimize the functional capacity in older adults. Is paramount the knowledge on muscle characteristics (morphological and neuromuscular) necessary in the implementation of the different modalities of training. The adaptations provided by the reagent system training, showing greater functional benefits for older adults, collated with traditional training modalities and the power training.

Key words:

Aging. Older adult. Frail elderly.
Muscle strength.
Resistance training.

Para la realización de este estudio bibliográfico se contó con apoyo económico de la Universidad Metropolitana de Barranquilla.

Correspondencia: Roberto Carlos Rebolledo Cobos

E-mail: rrebolledo@unimetro.edu.co- robertocareco@hotmail.com

Introducción

Los cambios en el músculo esquelético durante el proceso de envejecimiento están relacionados con la disminución de las características morfológicas y de la función neuromuscular, induciendo en la decadencia de la fuerza voluntaria máxima, la potencia y el tiempo de reacción muscular¹. Como principal deterioro morfológico, durante el envejecimiento se evidencia la disminución del área de sección transversa y de la espesura del músculo, fenómeno asociado a la disminución en el número total de fibras musculares, primordialmente de tipo IIX, responsables de la producción de fuerza rápida².

El patrón de reclutamiento de unidades motoras, la tasa de disparo y la sincronización de la función neuromuscular se ven gradualmente involucradas en el envejecimiento de los tejidos, alterando la coordinación intramuscular y la mecánica del movimiento, factores que inciden negativamente en la capacidad de generar fuerza³. En conjunto, estos eventos importantes para la funcionalidad del músculo esquelético afectan especialmente a los músculos que accionan las articulaciones de miembro inferior, afectando la independencia física y en el nivel de actividad física, fenómeno conocido como Dinapenia⁴.

Para batallar este fenómeno, se requieren de estrategias que promuevan beneficios en el sistema musculoesquelético, especialmente si logran disminuir la velocidad del deterioro. Se ha evidenciado que el entrenamiento de la fuerza es una estrategia adecuada que impacta positivamente la fuerza, calidad y el volumen muscular, así como la optimización del equilibrio corporal en adultos mayores^{5,6}.

Entre mayor sea la eficiencia del músculo esquelético para generar tensión a los segmentos corporales, mayor será la capacidad funcional del individuo⁷. La capacidad de contractibilidad del músculo esquelético para inducir el movimiento de las articulaciones, depende de factores morfológicos y fisiológicos condicionados por la edad biológica, y a la vez, del estado de integralidad o del nivel de deterioro depende de factores morfológicos y fisiológicos condicionados por la edad biológica, y a la vez, del estado de integralidad o deterioro del sistema musculoesquelético, influenciando de esta manera la salud física general^{8,9}.

Para la realización de las actividades de la vida diaria (AVD), como sentarse y levantarse de una silla, subir escaleras o trasladar un objeto, es importante que el músculo esquelético mantenga la capacidad de producir fuerza reactiva y que los tiempos de reacción muscular sean coherentes con la tarea^{10,11}, para que se puedan mantener tanto la capacidad funcional relacionada con la fuerza como los mecanismos musculares preventivos para disminuir el riesgo de caídas en los adultos mayores¹².

Las adaptaciones generadas a partir del entrenamiento de la fuerza (EF), permiten disminuir la velocidad con que las fibras musculares se deterioran, influir positivamente en el riesgo de caídas y conservar la independencia física. El presente estudio de revisión tiene como objetivo, sistematizar los cambios asociados al envejecimiento en el músculo esquelético y las adaptaciones musculares de los distintos sistemas de entrenamiento de la fuerza en dicha población.

Metodología

Estrategia de búsqueda

En un periodo comprendido entre el mes de octubre del 2015 a febrero del 2016 se realizó una búsqueda exhaustiva de la literatura

científica concerniente a las relaciones existentes entre las repercusiones fisiológicas del envejecimiento musculoesquelético y las diferentes modalidades de entrenamiento de la fuerza en adultos mayores. Para el hallazgo y la obtención de los artículos académicos se emplearon las bases de datos *PubMed*, *Scopus* y *Ovid*. Se utilizaron los siguientes términos de búsqueda: "older adult", "Aging" y "Frail Elderly" asociando con los términos: "skeletal muscle", "resistance training", "resistance exercise" y "strength training".

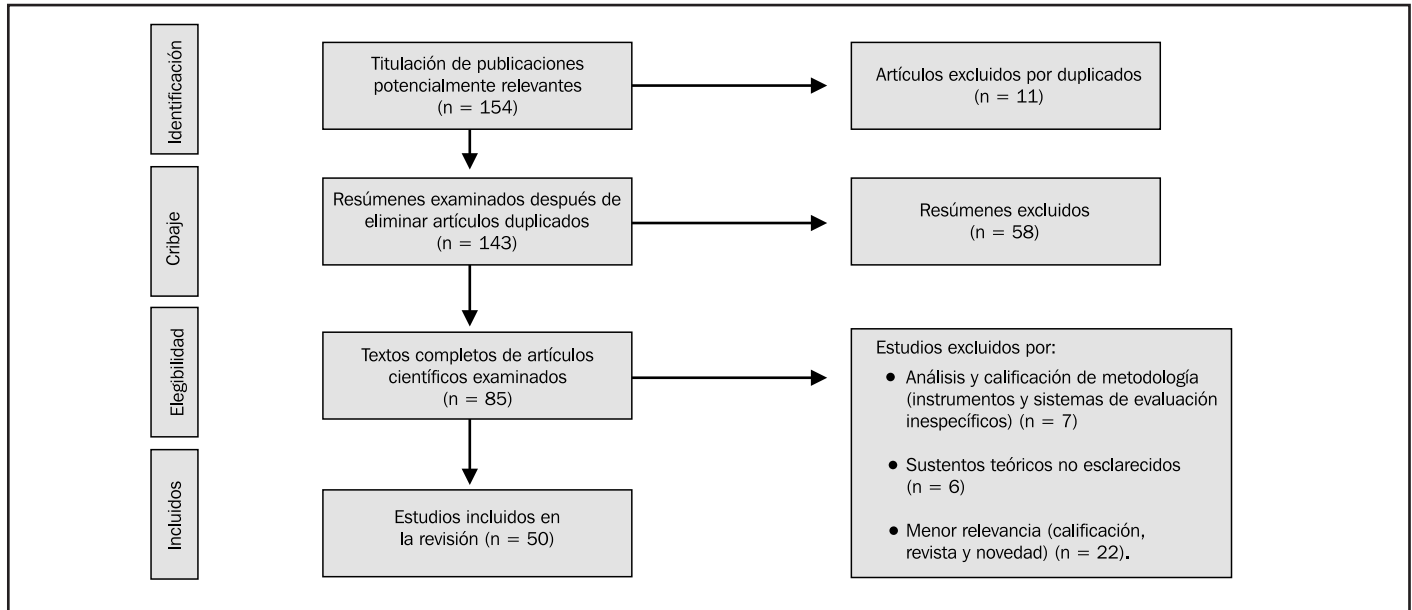
Selección de estudios

Los artículos compilados son de lengua española, inglesa y portuguesa. Para la obtención de los diferentes estudios se excluyeron aquellos que se sustentaban con argumentos teóricos basados en opiniones personales, preferiblemente fueron empleados ensayos clínicos y revisiones de expertos reconocidos a nivel mundial en el tema. La selección se llevó a cabo a través de tres filtros: 1ro) De los artículos arrojados por las bases de datos, inicialmente fueron preseleccionados por su titulación, descartando las publicaciones que evidentemente no se relacionaban con el objetivo del estudio; 2do) Posteriormente se procedió a realizar una lectura del resumen, seleccionando los estudios relacionados directamente con el interés central del presente trabajo, identificando las publicaciones que aparecían en más de una base de datos. Luego fueron recuperados los textos completos de los artículos potenciales para circularlos al filtro final; 3ro) En esta fase se realizó la lectura crítica, análisis y evaluación de cada estudio para constatar su veracidad metodológica y calidad. Se utilizaron instrumentos para la valoración para los artículos, empleando la lista de chequeo CONSORT 2010 para los estudios experimentales con estructura de ensayo clínico y para las revisiones de expertos, se aplicó la lista de chequeo PRISMA. Cada estudio fue evaluado de manera independiente por lo menos 3 de los autores y las calificaciones obtenidas fueron promediadas para priorizar la selección de los estudios con mayor puntaje. Finalmente, para la elaboración de cada componente del presente estudio, fueron incluidas las publicaciones con mayor calificación, relevancia e importancia, aquellas que para los autores garantizarán la contextualización teórica más pertinente a la idea principal del estudio y argumentaban sus hallazgos con pruebas clínicas válidas internacionalmente (Figura 1).

Resultados

Luego de la revisión exhaustiva de la literatura obtenida durante la búsqueda en las bases de datos consultadas, se encontraron un total de 85 artículos potencialmente conspicuos, de los cuales se tomó una muestra de 50 artículos que para los autores se sustentaban con las mejores bases teóricas, además de poseer eficacia metodológica y mayor relevancia científica. De manera general se encontró una cantidad significativa de trabajos relacionados con los cambios específicos del envejecimiento del músculo esquelético, así como una cantidad moderada de estudios que relacionan mecanismos específicos del EF, con las habilidades funcionales y sus alcances en el envejecimiento del sistema musculoesquelético. La elaboración de la síntesis de apreciaciones y hallazgos científicos que relacionan las características generales

Figura 1. Diagrama de flujo que representa la estrategia de búsqueda y selección de artículos académicos en los que se basa la presente revisión.



del envejecimiento del músculo esquelético, el EF y las habilidades funcionales de adultos mayores se presenta en los siguientes apartados.

El envejecimiento del músculo esquelético

El músculo esquelético luego de alcanzar la madurez física en el ser humano, presenta una reducción significativa de masa libre de grasa, rondando entre el 10% al 16%, obedeciendo a la pérdida de masa a nivel óseo, muscular y en el contenido de agua corporal total, fenómenos relacionados al envejecimiento del organismo humano¹³⁻¹⁵.

La pérdida paulatina de masa en el músculo esquelético es conocida como sarcopenia, se acompaña de la pérdida de la fuerza y del mismo modo, puede influir a la decadencia de la movilidad articular y capacidad funcional que transcurre con el paso de la edad, y así converger en la dinapenia propia del adulto mayor¹⁶. La dinapenia es un término genérico que indica la pérdida de masa, fuerza y calidad muscular, que tiene una influencia significativa dentro del campo de la salud pública, debido a sus bien reconocidas consecuencias funcionales en la marcha y el equilibrio, ampliando el riesgo de caídas y la pérdida de la independencia física, del mismo modo que intervienen en el aumento del riesgo de desarrollar enfermedades crónicas no transmisibles como la diabetes, la osteoporosis o enfermedades cardiovasculares¹⁷.

Dentro de las alteraciones morfológicas relacionadas con el músculo esquelético en el envejecimiento se pueden señalar: 1). Disminución en el área de sección transversa de las fibras musculares en las personas mayores de 70 años de edad, así como cambios en la forma de las fibras¹⁸; 2). Disminución del área muscular hasta del 40% entre los 30 a los 80 años¹⁸; 3). Disminución del número total de fibras musculares hasta de un 39%⁷; 4). Disminución selectiva en el tamaño de las fibras musculares tipo IIX o fibras rápidas glucolíticas hasta de 26%¹⁹; 5). Dife-

renciación en la configuración del área muscular, en comparación con el adulto joven, donde 70% de la masa muscular está conformado por fibras musculares, en el adulto mayor desciende este porcentual hasta un 50%²⁰. Efectivamente, a partir de los 25 años de edad, la disminución de la masa muscular es ocasionada tanto por la disminución del número de fibras (especialmente tipo II) como también por la disminución del tamaño de estas²¹.

En los adultos mayores se evidencian cambios neuromusculares que influyen directamente en la producción de fuerza, tales como la disminución del número de unidades motoras asociado a un aumento en el tamaño de las unidades motoras de bajo umbral y una pérdida del número de neuronas motoras alfa de la medula espinal, con la subsecuente decadencia de sus axones². Una evidencia indirecta de este proceso neurodegenerativo es el aumento en los grupos de tipos de fibras encontrados en los músculos de adultos mayores, expresado por los diferentes ciclos de denervación, seguidos por re-inervación, que ocurren en las fibras musculares¹¹. Estas alteraciones en el proceso neurogénico, que por lo general inician aproximadamente alrededor de los 50 años de edad, explican el porqué, cuando la capacidad de re-inervación esta tan reducida, las fibras que quedan totalmente denervadas son suplidas por grasa o tejido fibroso^{17,22}.

Existen varios mecanismos que están ligados a la alteración de la funcionalidad de las motoneuronas en el envejecimiento, como la alteración de la función de la mitocondria, ligado factiblemente a mutaciones del ADN mitocondrial y daños oxidativos, así también como a la disminución de algunos de los factores neurotróficos derivados del cerebro, como la neurotrófina (NT) 3, 4 y 5 y el factor inhibidor de leucemia (LIF), que pueden tener un efecto nocivo en la función de la motoneurona^{14,23,24}.

Trascendiendo a las alteraciones neurológicas y morfológicas del músculo esquelético, en la literatura también han sido descritas las alteraciones del envejecimiento en el metabolismo de la fibra muscular²⁵. El aumento de la edad está relacionado a una reducción aproximadamente del 25% de la capacidad muscular oxidativa y de la perfusión sanguínea durante la actividad contráctil²⁶, en la concentración muscular de glucógeno en reposo, así como una disminución en la actividad de la ATPasa miofibrilar, de las enzimas glucolíticas y oxidativas, de los estoques de ATP, CP y proteína mitocondrial^{27,28}.

La capacidad de regeneración del músculo esquelético igualmente es afectada por el proceso de envejecimiento. Los factores envueltos en la regeneración de la fibra muscular que son alterados con el progreso de la edad son el factor de crecimiento del fibroblasto (FGF), la somatostatina C (IGF-1 o factor de crecimiento insulínico tipo 1 y el factor de crecimiento nervioso (NGF)²⁹. Estos factores son importantes reguladores del crecimiento celular precursoras del músculo esquelético, así como de la mantención o establecimiento del contacto neuromuscular²⁷.

De forma paralela a estos fenómenos, asociado a las disfunciones musculares en el envejecimiento, también se encuentra la disminución en la actividad fagocitaria, fenómeno que influye de manera directa en el decrecimiento de la eficacia durante la reparación del tejido lesionado

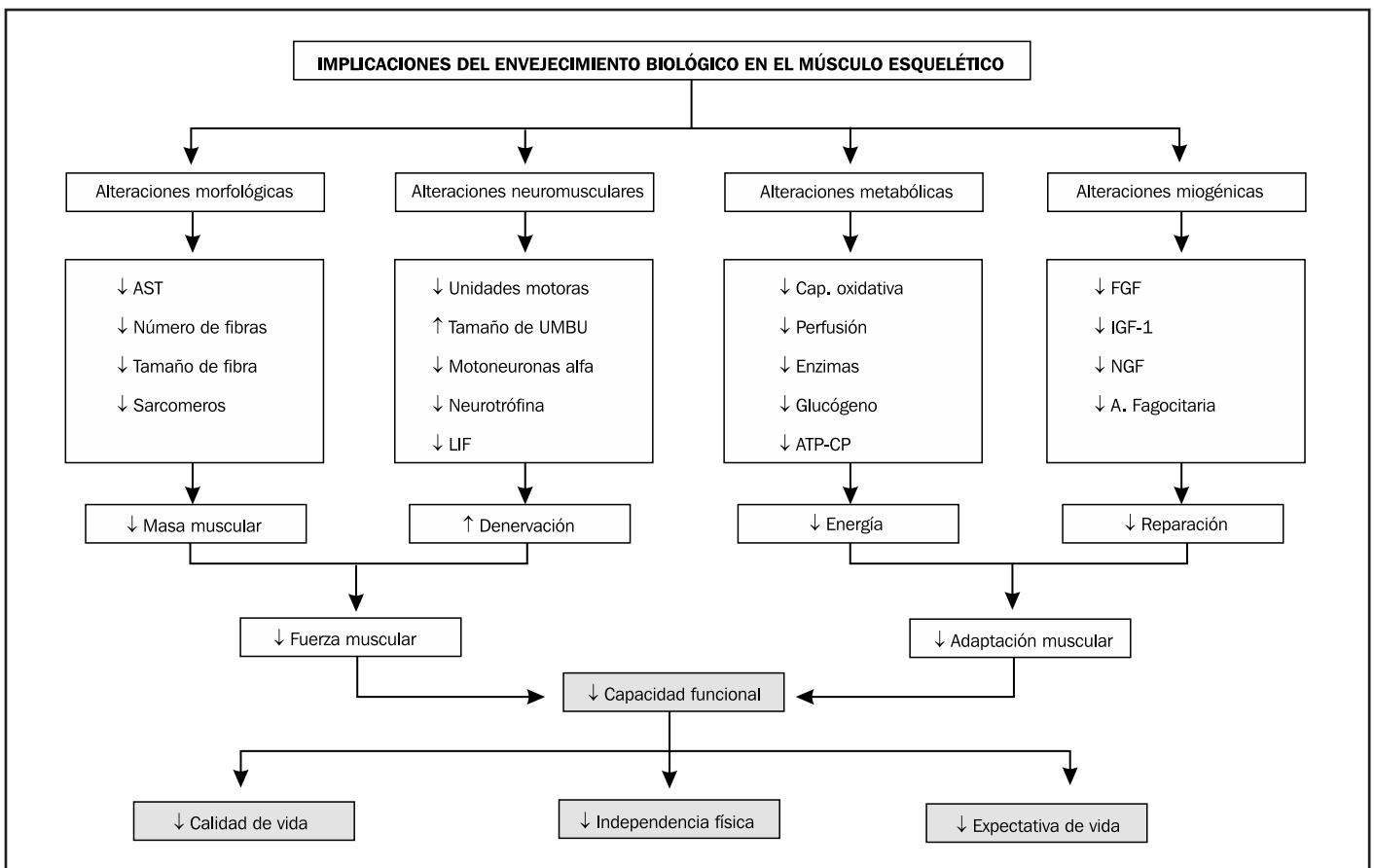
o con alteraciones funcionales²⁹. Considerando este aspecto específico, en particular, al efecto originado por los ejercicios excéntricos, en los cuales se puede incitar a una ruptura de la estructura miofibrilar, fundamentalmente de las bandas Z de los sarcómeros, y además en daño de la membrana celular, el músculo del adulto mayor es menos eficiente en la formación de un nuevo tejido muscular, aunque conserve una buena capacidad de proliferación y fusión de mioblastos²⁹. Más allá de los factores extrínsecos que participan en el proceso, los factores intrínsecos del músculo esquelético, como las variaciones de la matriz extracelular, vascularización, expresión de los factores de crecimiento y en especial, de los receptores de las células satélites, pueden favorecer también para la regeneración menos eficiente observada en los adultos mayores¹³.

En la Figura 2 se esquematizan los cambios en la estructura y función del músculo esquelético que propician la pérdida de funcionalidad y sus implicaciones subsecuentes.

La capacidad funcional en el adulto mayor

El envejecimiento ha sido referido como un proceso, o conjunto de procesos, inherentes de todos los seres vivos que se expresa por la pérdida de la capacidad de adaptación al ambiente y por disminución

Figura 2. Implicaciones del envejecimiento biológico en el músculo esquelético.



AST: área de sección transversa; UMBU: unidades motoras de bajo umbral; LIF: factor inhibidor de leucemia; FGF: factor de crecimiento del fibroblasto; IGF-1: factor de crecimiento insulínico tipo 1; NGF: factor de crecimiento nervioso. El símbolo ↓ representa la disminución o atenuación de la función, nivel o magnitud de la variable. El símbolo ↑ representa el aumento o progresión de la función, nivel o magnitud de la variable.

Tabla 1. Adaptaciones proporcionadas por diferentes modalidades de entrenamiento de la fuerza.

Autor	Año	Sujetos	Modalidad	Características del entrenamiento	Adaptaciones
Sousa, <i>et al.</i>	2011	10 hombres (edad media: 73±6 años).	EFC	12 semanas de entrenamiento, frecuencia de 3 sesiones semanales con intensidades del 50 al 80% de 1RM, 7 ejercicios de 2 a 3S X 12 reps.	Aumento de la fuerza máxima en las cuatro extremidades. Mayor adaptación en extremidades superiores.
Rebolledo-Cobos, <i>et al.</i>	2014	25 mujeres (edad media 63±5 años).	EFC	12 semanas de entrenamiento, frecuencia de 3 sesiones semanales con intensidad del 70% de 1RM, 8 ejercicios con volúmenes de 1 o 3S X 15 reps.	Aumento de la fuerza máxima, calidad muscular y en el área de sección transversa anatómica. Sin adaptaciones funcionales reportadas.
Miszko, <i>et al.</i>	2003	28 hombres y mujeres (edad media: 72.5±6.3 años).	EFC y EFR	Dos grupos con entrenamientos diferentes, 16 semanas continuas con 3 sesiones semanales, 6 ejercicios, 3S X 10 reps.	Adaptaciones en la fuerza máxima mayores en el grupo de EFC. Adaptaciones funcionales más importantes en el grupo de EFR.
Fielding, <i>et al.</i>	2002	30 mujeres (edad media 70.1±1 años).	EFC y EFR	16 semanas de entrenamiento, dos grupos con velocidades de contracción diferentes. 3 sesiones semanales, solo ejercicios para extensores de rodilla 3S X 10 reps.	Aumentos en los picos de fuerza máxima mayores en el grupo de EFC. Adaptaciones funcionales relacionadas con la realización de EFR.
Henwood, <i>et al.</i>	2008	67 hombres y mujeres (edad media: 74.5±1 años).	EFC y EFR	24 semanas de entrenamiento, dos grupos con velocidades de contracción diferentes. 2 sesiones semanales, 6 ejercicios al 75% 1RM, 3S X 8 reps.	Aumentos similares en la fuerza máxima en ambos grupos. Adaptaciones funcionales más importantes relacionadas con la ejecución de EFR.
de Vos, <i>et al.</i>	2005	112 hombres y mujeres (edad media: 69±6 años).	EFR	De 8 a 12 semanas de entrenamiento, con 3 grupos intensidades diferentes (20, 50 y 80% 1RM), 2 sesiones por semana, 3S X 8 reps.	Las diferentes intensidades de entrenamiento mostraron adaptaciones similares en el rendimiento muscular general, sin embargo, a mayor intensidad fue más probable lograr mejoras simultáneas en la fuerza muscular, potencia y resistencia.
Caserotti, <i>et al.</i>	2008	54 mujeres (edad media 70±1 años)	EPA	12 semanas de entrenamiento, 2 sesiones por semana, intensidades entre el 70 a 80% de 1RM	Aumento de la fuerza explosiva y en la capacidad funcional. Mejores adaptaciones en adultos mayores de 80 años.
Laroche, <i>et al.</i>	2008	24 mujeres (73.2±1 años)	EPA	8 semanas de entrenamientos isocinéticos, 3 sesiones por semana al 80% de la MCV.	Aumentos importantes en la fuerza máxima. Sin cambios de consideración en la fuerza explosiva, el tiempo de reacción muscular y contractibilidad.
Correa, <i>et al.</i>	2012	58 mujeres (edad media 67±5 años)	EFC, EFR y EPA	12 semanas de entrenamiento, 3 modalidades diferentes, 2 sesiones semanales.	Aumento en la fuerza máxima y desempeño muscular. Adaptaciones funcionales más importantes en el grupo con EPA.

RM: repetición máxima; S: series; reps: repeticiones; X: por; MCV: máxima contracción voluntaria; EFC: entrenamiento de fuerza convencional; EFR: entrenamiento de la fuerza rápida; EPA: entrenamiento polimétrico adaptado.

de la funcionalidad^{30,31}. Al hablar de capacidad funcional nos referimos a una cualidad multidimensional, sin embargo, para el aspecto particular de funcionalidad física, diversos autores la consideran como la capacidad fisiológica y/o física para hacer las actividades de la vida diaria de forma segura y autónoma, sin provocar agotamiento³². Al hacer referencia a la funcionalidad, lo asociamos la concepción teórica que la define como la capacidad para realizar actividades o tareas pedidas en el diario vivir y poder resistir de forma independiente^{33,34,31}.

Es de gran relevancia asociar la inactividad física o las conductas sedentarias como un agravante a los fenómenos descritos en los apartados anteriores, y consigo, a la pérdida mucho más rápida de la capacidad funcional³⁵. La falta de activación muscular induce al descondicionamiento progresivo de las aptitudes musculoesqueléticas y cardiometabólicas, favoreciendo a la fragilidad de las estructuras óseas y la pérdida de la velocidad de reacción muscular, del mismo modo que favorece la aparición de enfermedades cardiovasculares, lo

que a su vez predispone a caídas que pueden sobrellevar fracturas y eventos cardiovasculares catastróficos. Entendiendo las implicaciones funcionales, emocionales y en la calidad de vida que desencadenan las alteraciones ortopédicas o crónicas no transmisibles, se puede asociar la inactividad física del adulto mayor como un factor trascendental en la pérdida de la independencia física²⁵.

Los profesionales en las ciencias de la salud, a los cuales le compete la salud del adulto mayor deben intervenir directamente en sus estilos de vida, para favorecer la realización periódica de actividad física planificada, de esta manera se impulsa la principal estrategia no farmacológica que impacta en el bienestar físico del ser humano, promoviendo la funcionalidad, movilidad y autonomía. Considerar el déficit funcional de los adultos mayores como un problema de salud pública favorece al aumento de la expectativa de vida en las diferentes comunidades debido a que se puede impactar de manera positiva en la calidad de vida de esta población y en los años vividos sin trastornos incapacitan-

tes²⁵. El desenvolvimiento de las distintas actividades diarias, laborales o recreacionales en el adulto mayor requiere la suficiente fuerza muscular, mecanismo primordial desarrollado a través de la realización constante de ejercicio físico, que es especialmente efectivo si está regido por un profesional competente en el área^{30,25,35}.

Implicaciones fisiológicas y funcionales de distintas modalidades del EF en el adulto mayor

Las distintas modalidades de entrenamiento de la fuerza muscular (EF) muestran diferentes adaptaciones en el tejido muscular, como es el desarrollo de la fuerza máxima, la potencia o la fuerza reactiva (Tabla 1). Dentro de los tipos de EF se pueden encontrar los siguientes: sistemas de entrenamiento convencionales (EFC), el entrenamiento de la fuerza rápida (EFR) y de fuerza reactiva a través de los sistemas de entrenamientos polimétricos adaptados (EPA), donde se encuentra presente el período de estiramiento y acortamiento¹². La habilidad de producir fuerza rápidamente requiere de la intervención intensa de las fibras musculares tipo IIX, capacidad que habitualmente está reducida en adultos mayores. La fuerza rápida tiene una importancia significativa, tanto para los hombres como para las mujeres de cualquier edad, ya que esta nos permite realizar actividades donde se requiere una aplicación intensa pero breve, de fuerza¹⁷. La prescripción de un tipo de EF que influya de la mejor manera en la manutención de la capacidad funcional, es elemental para la autonomía física y una buena calidad de vida de los adultos mayores¹⁶.

Entrenamiento convencional de la fuerza muscular -EFC

El EFC, recurre a las máquinas y pesos libres con velocidad de contracción controlada (tanto concéntrica como excéntrica), en la que tiene como objetivo principal acrecentar la fuerza dinámica máxima y la espesura muscular, reduciendo el proceso de sarcopenia en adultos mayores¹⁶.

La adaptación de un programa sistemático y frecuente de EFC, previene la manifestación de enfermedades crónicas y, por lo tanto, reduce también los costos en procedimientos médicos²⁹. El EFC en adultos mayores evidencia aumento del tono y la fuerza muscular³⁶. Especialmente cuando se realizan sesiones de ejercicios con intensidades entre el 70% y el 90% de una repetición máxima (1RM) han demostrado incrementos significativos en la fuerza muscular, calidad muscular y así, aumentos importantes en la masa muscular³⁷. Dichos incrementos están más relacionados a la alta intensidad en la realización de los ejercicios, próximos al 100% de 1RM, con volumen de entrenamiento entre 1 y 3 series por ejercicio³⁷, con una frecuencia semanal mínimo de dos veces, usando máquinas y pesos libres²⁰.

Entrenamiento de la fuerza rápida -EFR

El EFR utilizado en la mayoría de los estudios, se fundamenta en la adaptación del EFC, siendo la primordial diferencia, la ejecución de una fase concéntrica con máxima velocidad de contracción^{31,38,39}. La realización de contracciones rápidas está influenciada por factores neuromusculares asociados a la tasa de disparo de las unidades motoras, el número de fibras musculares inervadas y la fatigabilidad⁴¹.

Si bien el EFC se muestra efectivo en el progreso de la fuerza máxima, siendo en menor magnitud en la potencia muscular, el efecto del EFR sobre las habilidades funcionales se observa con mayor impacto debido a su efecto sobre la producción rápida de fuerza muscular^{10,38-40}. En el EFR, más allá de promover las adaptaciones efectivas similares al EFC en la fuerza máxima, se encuentran mejores resultados en las evaluaciones funcionales, logrando impactar de excelente manera la capacidad funcional, las AVD y un estilo de vida más autónomos^{23,41,42}.

Los adultos mayores que requieren de ayuda para realizar actividades como caminar, subir escaleras o levantarse de una silla, tienen entre 42% y 54% menos potencia muscular en los músculos extensores de las rodillas, en comparación de adultos mayores que no lo necesitan⁴². La disminución de la potencia muscular está directamente relacionada con un aumento del riesgo de caídas, es por eso que las modalidades de entrenamiento de la fuerza con contracciones rápidas, favorecen de manera importante, la funcionalidad e independencia física de los adultos mayores, debido a las adaptaciones positivas que proporcionan en la contractibilidad y potencia musculoesquelética²⁰.

Entrenamiento Pliométrico Adaptado (entrenamiento reactivo)- EPA

La capacidad de elaboración de fuerza muscular es influenciada por dos factores imprescindibles: la morfología del tejido (ángulo de penación, área de sección transversa fisiológica, longitud y tipo de fibras) y las propiedades de activación neuromuscular²⁰. En el adulto mayor, está demostrada una decadencia de la capacidad de activación de las unidades motoras, asociado principalmente de la sarcopenia^{3,22}. En tanto, cuando los adultos mayores son sometidos a un programa de entrenamiento de la fuerza, estos efectos deletéreos del envejecimiento consideran ser contrarrestados, indicando que grandes partes de los mecanismos relacionados con la pérdida de masa y fuerza muscular son procedidos del sedentarismo^{43,44}.

Existe evidencia referente a los beneficios en la ejecución de EPA con población adulta mayor, especialmente en relación a las mejoras en la activación y respuesta muscular. De esta forma, ha sido protegida la aplicación de entrenamientos de fuerza explosiva con ciclos de alargamiento-acortamiento que incrementan la producción de fuerza, considerando que existe una pérdida más significativa en la capacidad de producción de fuerza explosiva que en la fuerza isométrica en adultos mayores. Sin embargo, es menos usual encontrar estudios que ejecuten programas de EPA en adultos mayores en comparación a sistemas de EFT y EFR¹².

En el 2008, uno de los hallazgos de Caserotti *et al.*, comprobó el aumento en la fuerza explosiva de los músculos extensores de rodilla en adultos mayores alrededor de los 60 y 80 años de edad, posterior a las 12 semanas de EPA (2 veces por semanas, con intensidad de 70% a 80% de 1RM)⁴⁵. Del mismo modo, fue demostrado que una frecuencia baja de entrenamiento con cargas adecuadas fue capaz de optimizar la capacidad de producción de fuerza explosiva en adultos mayores. Otro resultado del estudio pudo mostrar un mayor aumento en la potencia muscular en sujetos con edades superiores a los 80 años en comparación con sujetos de edades entre los 60 y 70 años⁴⁵. Esta conclusión derivada del estudio fortalece la idea que, a pesar de tener mayores

déficits funcionales relacionados con la dinapenia, los adultos mayores de 80 años tienen una entrenabilidad muscular superior.

En relación a las pérdidas de fuerza entre los hombres y mujeres, parece que los sujetos de sexo femenino pueden manifestar mayores pérdidas de fuerza explosiva en los miembros inferiores, relacionándose esta situación con la menor cantidad de masa muscular, respaldando la noción de que las mujeres adultas mayores sedentarias presentan mayor riesgo de caídas que los hombres de la misma edad y características^{46,47}.

El tiempo de reacción y activación de la musculatura de tobillo y rodilla en mujeres adultas mayores es mucho menor en comparación a mujeres más jóvenes, teniendo en cuenta que los grupos musculares de estas articulaciones son esenciales para el sostenimiento del equilibrio, posterior a una perturbación de la postura, siendo también exigidos durante la marcha⁴⁷, tal como lo evidenciaron los hallazgos de Laroche *et al.*, en 2008 donde demuestran que si bien, en mujeres adultas mayores⁸ semanas de EPA no son suficientes para obtener adaptaciones importantes en la potencia o tiempo de reacción muscular, es tiempo suficiente para disminuir la coactivación antagonista que modula el aumento en la fuerza máxima y capacidad funcional, especialmente en la musculatura de miembros inferiores⁴⁶.

Siguiendo con la comparación entre ambos sexos, en el 2008 Caserotti *et al.*, evaluaron las posibles diferencias en los elementos precisos de la potencia muscular durante las fases concéntricas y excéntricas de la ejecución de un salto con contra movimiento en adultos mayores. Los autores pudieron observar que los hombres presentan un mayor pico de potencia muscular en la fase concéntrica en comparación a las mujeres de la misma edad, además de descubrir que las mujeres adultas mayores presentan mayor eficiencia en el final de la fase concéntrica de los saltos que los hombres, lo que fue manifestado por la disminución entre la velocidad al tiempo de la pérdida de contacto del pie con el suelo y la máxima velocidad concéntrica, resultando en una mínima altura alcanzada por las mujeres⁴⁸. Acorde con los autores, la menor velocidad conseguida por las mujeres, permite considerar que la disminución en el desempeño en la mecánica muscular durante las contracciones concéntricas intensas que promueven movimientos rápidos, sería un factor responsable por el mayor manejo de tiempo para readquirir el equilibrio después de su pérdida, lo que también podría expresar el mayor índice de caídas sufridas en relación a los hombres adultos mayores.

Por lo tanto, el EPA se puede considerar una estrategia importante, pero poco explorada, para el aumento de la potencia muscular en los adultos mayores, especialmente por disminuir las consecuencias resultantes de los efectos mortales del envejecimiento¹², como son la pérdida de fuerza, la disminución de la activación/respuesta neuromuscular siendo éste resultado de la sarcopenia y la denervación de fibras musculares rápidas, que son las primordiales causas de caídas en los adultos mayores⁴⁹.

Discusión

Con base a las consideraciones obtenidas en los apartados anteriores, es substancial dilucidar cuales son los efectos fisiológicos proporcionados por las diferentes modalidades de EF para el sostenimiento de

la fuerza, la promoción de la hipertrofia muscular y la optimización de la capacidad funcional en los adultos mayores. Para esto, fue de suma importancia, el conocimiento sobre los cambios en las características del músculo esquelético (morfológicas, neuromusculares, metabólicas y miogénicas) sobrellevadas en el envejecimiento biológico.

La falta de fuerza, primordialmente de los músculos dorsiflexores, puede reducir la capacidad de los adultos mayores de sobrepasar dificultades y acrecentar la periodicidad de tropiezos. Más allá de estos acontecimientos, la menor rigidez tendinosa, que afecta la transmisión de fuerza para el músculo, la disminución de la liberación de calcio por el retículo sarcoplasmático y los factores extrínsecos como la depresión, falta de sueño, artritis e hipertensión, pueden ampliar el riesgo de caídas en adultos mayores⁴⁶. Es una realidad innegable, que los adultos mayores con estilos de vida físicamente poco activos tienden a acelerar el deterioro morfológico y fisiológico del músculo esquelético, y de forma paralela, se acrecienta el riesgo de caídas y lesiones más graves. Adultos mayores con historial de vida activo, tienen una capacidad superior de incorporar unidades motoras en circunstancias que exijan una rápida respuesta muscular, como un tropiezo⁴⁷.

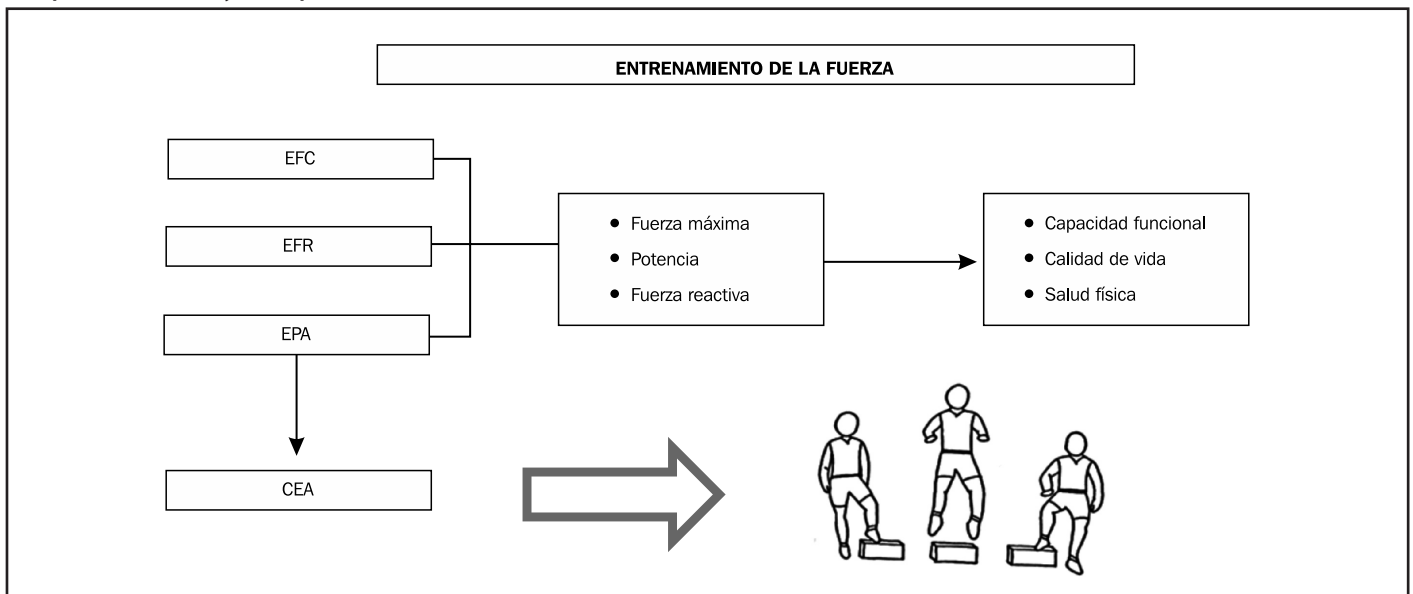
Las adaptaciones en la fuerza máxima y en la fuerza resistente del músculo esquelético proporcionadas por alguna modalidad de EF es un componente importante para limitar el deterioro muscular sobrellevado en el envejecimiento biológico, sin embargo, para poder impactar de manera positiva en la capacidad funcional, calidad y expectativa de vida de las personas, los sistemas de entrenamiento deben proveer adaptaciones no solo enfocadas a la fuerza, sino que también logren potenciar la respuesta neuromuscular rápida y consigo, adaptaciones funcionales que promueven la independencia física del sujeto^{50,24}.

Aunque las respuestas fisiológicas que provienen de la realización periódica del EFT y EFR en el adulto mayor generalmente convergen en el aumento de las condiciones morfológicas y neuronales del músculo, las magnitudes de dichas adaptaciones dependen de dos factores primordialmente, las características intrínsecas del sujeto que entrenará y las especificaciones del sistema de entrenamiento.

La edad biológica, el sexo, la presencia de patologías sistémicas, la dimensión del deterioro físico, cognitivo y las características conductuales en la adultez mayor, fijan de gran manera los cambios que pueden proporcionar la realización periódica de ejercicio físico. Antes de poder realizar paralelos para la aplicabilidad de algún mecanismo de intervención basado en un estudio publicado dirigido a esta población, es necesario verificar las características propias de la población que fue estudiada y el sujeto que será objeto de la intervención, debido a que muchas veces las comorbilidades que ostentan los adultos mayores influyen en la obtención de resultados similares y pueden sesgar la aplicación de una intervención ya ensayada. Del mismo modo, al querer comparar de manera general diferentes modalidades de entrenamiento contra resistencias, las especificaciones propias de la sistematización, periodización, volumen, intensidad, grupos musculares involucrados, velocidad de contracción, intervalo de recuperación, tipo de resistencia externa, entre otros factores enmarcados en la estructura del programa de entrenamiento, serán elementos a tener en cuenta, ya que determinarán la repuesta metabólica, morfológica y fisiológica subsecuente.

Decidir que modalidad de EF se efectuará en un grupo o en un individuo, sigue siendo inicialmente circunstancial al estado físico y mental

Figura 3. Esquematación de los tres tipos específicos de entrenamiento de la fuerza; EFC: entrenamiento de fuerza convencional; EFR: entrenamiento de la fuerza rápida; EPA: entrenamiento polimétrico adaptado; y CEA: ciclo estiramiento-acortamiento. Las tres modalidades muestran tener eficiencia en la mejora en las expresiones de la fuerza muscular y en la capacidad funcional, promoviendo la salud, la independencia física y una óptima calidad de vida.



del adulto mayor, luego pasando por la sensibilidad y tolerancia al esfuerzo proporcionado, debido a la elevada exigencia física que conlleva algunos de los tipos de EF. Los autores recomiendan que la aplicación de sistemas de EFR y EPA deben ser precedidos de una preparación física general, como lo evidencia Correa *et al.*, (2012), donde antes de implementar EFR y EPA en adultos mayores, realizó un periodo inicial de 6 semanas de preparación con EFC, esto con el fin de garantizar la adecuada realización de los movimientos y limitar los eventos adversos que se podrían presentar¹².

El EPA parece ser una eficaz estrategia para el desarrollo de las capacidades procedidas del bienestar muscular e incremento del desempeño para pruebas funcionales¹². Hoy en día, existe la necesidad de establecer evidencias más amplias sobre los sistemas de entrenamiento que involucren el período estiramiento-acortamiento de músculo esquelético, ya que su implementación ha demostrado resultados positivos en el desempeño de actividades que requieren de fuerza reactiva de los miembros inferiores, componentes trascendentales para la buena ejecución y mantenimiento de la capacidad funcional, salud motora y consecuentemente, calidad de vida en adultos mayores^{12,47,49} (Figura 3).

Conclusiones

El deterioro de las funciones sistémicas que trae consigo el proceso de envejecimiento, encamina a una serie de alteraciones en la función musculoesquelética. La sarcopenia y la reducción en la inervación neuromuscular, trae consigo implicaciones negativas en la calidad de vida del adulto mayor, debido a la disminución de la capacidad funcional e independencia física. La inactividad física y el sedentarismo son factores catalizadores de estos fenómenos.

Las carencias funcionales suscitan las caídas y fracturas en los adultos mayores, por tanto, los profesionales en las ciencias de la salud con pertinencia en el campo de la salud física de esta población, deben incitar al uso de estrategias que limiten la decadencia del sistema musculoesquelético, como el EF. La evidencia científica citada en los anteriores apartados, argumenta la ejecución de programas de fortalecimiento muscular, debido a que provee grandiosos beneficios en la salud física y autonomía física del adulto mayor, promoviendo el bienestar y calidad de vida.

A pesar que el EPA se muestra como el método de entrenamiento con óptimos resultados funcionales, se debe destacar que su implementación exige estar inspeccionada por profesionales en el área de la prescripción del ejercicio y el acondicionamiento físico, debido a su metodología y exigencia física. No obstante, debido a la variedad en las repercusiones biológicas del envejecimiento de sujeto a sujeto, efectuar las distintas estrategias de EF también evidencia resultados positivos en las variadas manifestaciones de la fuerza, promoviendo la reducción del deterioro motor y optimizando la capacidad funcional del adulto mayor.

Bibliografía

1. Bottaro M, Machado S, Nogueira W, Scale R, Veloso J. Effect of high versus low-velocity resistance training on muscular fitness and functional performance in older men. *Eur J Appl Physiol.* 2007;99(3):257-64.
2. Sturnieks D, St George R, Lord S. Balance disorders in the elderly. *Neurophysiol Clin.* 2008;38(1):467-78.
3. Hakkinen K, Newton R, Gordon S, McCormick M, Volek J, Nindl B, Kraemer WJ. Changes in muscle morphology, electromyographic activity, and force production characteristics during progressive strength training in young and older men. *J Gerontol Biol Sci and Med Sci.* 1998; 53(6):B415-B423.
4. Cadore E, Pinto R, Lhullier F, Correa C, Alberton C, Pinto S, Krue L. Physiological effects of concurrent training in elderly men. *Int J Sports Med.* 2010;31(10):689-97.

5. Correa C, Baroni B, Radaelli R, Lanferdini F, Cunha G, Reischak-oliveira A, et al. Effects of strength training and detraining on knee extensor strength, muscle volume and muscle quality in elderly women. *Age (Dordr)*. 2013;35(5):1899-904.
6. Sayers S. High velocity power training in older adults. *Curr Aging Sci*. 2008;1(1):62-7.
7. Bean J, Kiely D, LaRose S, Alian J, Frontera W. Is stair climb power a clinically relevant measure of leg power impairments in at risk older adults?. *Arch Phys Med Rehabil*. 2007; 88(5):604-9.
8. Bean J, Kiely D, Herman S, Leveille S, Mizer K, Frontera W, et al. The relationship between leg power and physical performance in mobility-limited older people. *J Am Geriatr Soc*. 2002;50(3):461-7.
9. Bean J, Herman S, Kiely D, Frey I, Leveille S, Fielding R, et al. Increased Velocity Exercise Specific to Task (InVEST) training: a pilot study exploring effects on leg power, balance, and mobility in community-dwelling older women. *J Am Geriatr Soc*. 2004; 52(5): 799-804.
10. Macaluso A, De Vito G. Muscle strength, power and adaptations to resistance training in older people. *Eur J of Appl Physiol*. 2004;91(4):450-72.
11. Granacher U, Gruber M, Gollhofer A. Resistance training and neuromuscular performance in seniors. *Int J Sports Med*. 2009;30(9):652-7.
12. Correa C, Laroche D, Cadore E, Reischak-Oliveira A, Bottaro M, Krue L, et al. 3 different types of strength training in older women. *Int J Sports Med*. 2012;33(12):962-9.
13. Steib S, Schoene D, Pfeifer K. Dose-response relationship of resistance training in older adults: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 2010; 42(5): 902-914.
14. Mero A, Hulmi J, Salmijarvi H, Katajajuuri M, Haverinen M, Holviala, J, et al. Resistance training induced increase in muscle fiber size in young and older men. *Eur J Appl Physiol*. 2013;113(3):641-50.
15. Raymond M, Bramley-tzerefos R, Jeffs K, Winter A, Holland A. Systematic Review of High-Intensity Progressive Resistance Strength Training of the Lower Limb Compared With Other Intensities of Strength Training in Older Adults. *Arch Phys Med Rehabil* 2013; 94(8):1458-72.
16. Mitchell W, Williams J, Atherton P, Larvin M, Lund J, Narici M. Sarcopenia, dynapenia, and the impact of advancing age on human skeletal muscle size and strength; a quantitative review. *Front Physiol*. 2012;3(1):260-6.
17. Deschenes M. Effects of aging on muscle fibre type and size. *Sports Med*. 2004;34(12): 809-24.
18. Hughes V, Frontera W, Wood M, Evans W, Dallal G, Roubenoff R, et al. Longitudinal muscle strength changes in older adults: influence of muscle mass, physical activity, and health. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2001;56(5): B209-B217.
19. Frontera W, Hughes V, Lutz K, Evans W. A cross-sectional study of muscle strength and mass in 45- to 78-yr-old men and women. *J Appl Physiol*. 1991;71(2):644-50.
20. Correa C, Pinto R. Efeitos de Diferentes Tipos de Treinamento de Força no Desempenho de Capacidades Funcionais em Mulheres Idosas. *Estud Interdiscipl Envelhec*. 2011;16(1): 41-60.
21. Sturmeiers D, St George R, Fitzpatrick R, Lord S. Effects of spatial and nonspatial memory tasks on choice stepping reaction time in older people. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2008;63(10):1063-8.
22. Hakkinen K, Kraemer W, Newton R, Alen M. Changes in electromyographic activity, muscle fibre and force production characteristics during heavy resistance/power strength training in middle-aged and older men and women. *Acta Physiol Scand*. 2001; 171(1):51-62.
23. Granacher U. Strength training or balance training: what best protects seniors from falls? (interview by Dr. Susanne Kammerer). *MMW Fortschr Med*. 2004;146(15):18-20.
24. Dennis R, Ponnappan U, Kodell R, Garner K, Parkes C, Bopp M, et al. Immune Function and Muscle Adaptations to Resistance exercise in Older Adults: Study Protocol for a Randomized Controlled Trial of a Nutritional Supplement. *Trials*. 2015;16(1):121-5.
25. Yasuda T, Fukumura K, Fukuda T, Uchida Y, Iida H, Meguro M, et al. Muscle size and arterial stiffness after blood flow-restricted low-intensity resistance training in older adults. *Scand J Med Sci Sports*. 2014;24(5):799-806.
26. Clark B, Manini T. Sarcopenia \neq Dynapenia. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2008;63(8): 829-34.
27. Jackman R, Kandarian S. The molecular basis of skeletal muscle atrophy. *Am J Physiol Cell Physiol*. 2004;287(4):C834-C843.
28. Kandarian S. The molecular basis of skeletal muscle atrophy—parallels with osteoporotic signaling. *J Musculoskelet Neuronal Interact*. 2008;8(4):340-1.
29. Tinetti M. Clinical practice: preventing falls in elderly persons. *N Engl J Med*. 2003; 348(1): 42-9.
30. Hunter G, Wetzstein C, McLafferty C, Zuckerman P, Landers K, Bamman M. High-resistance versus variable-resistance training in older adults. *Med Sci Sports Exerc*. 2001; 33(10):1759-64.
31. Miszko T, Cress M, Slade J, Covey C, Agrawal S, Doerr C. Effect of strength and power training on physical function in community-dwelling older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2003;58(2):171-5.
32. Lobo A, Santos MP, Carvalho J. Anciano institucionalizado: calidad de vida y funcionalidad. *Rev Esp Geriatr Gerontol*. 2007;42(1):22-6.
33. Medina B, Rodríguez G, García Mena L. *Abatimiento funcional y falla para recuperarse en función de la funcionalidad*. México: 2.a ed, Mc-Graw-Hill; 2007. 130-134.
34. Lázcano B. *Evaluación geriátrica multidimensional*. México: 2.a ed, Mc-Graw-Hill; 2007. 83-104.
35. Brill P, Macera C, Davis D, Blair A, Gordon N. Muscular strength and physical function. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32(2):412-6.
36. Sousa N, Mendes R, Abrantes C, Sampaio J. Differences in maximum upper and lower limb strength in older adults after a 12 week intense resistance training program. *J Hum Kinet*. 2011;30(1):183-8.
37. Rebolledo-Cobos R, Correa C, Reischak-Oliveira A. Metabolic response and muscle adaptation to high and low volume of resistance training in postmenopausal women. *Rev Mov Cient*. 2014;8(1):8-17.
38. Fielding R, Lebrasseur N, Cuoco A, Bean J, Mizer K, Fiataronesingh M. High-velocity resistance training increases skeletal muscle peak power in older women. *J Am Geriatr Soc*. 2002; 50(4):655-62.
39. Henwood T, Riek S, Taaffe D. Strength versus muscle power-specific resistance training in community-dwelling older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2008;63(1):83-91.
40. de Vos N, Singh N, Ross D, Stavrinou T, Orr R, Fiatarone-Singh M. Optimal load for increasing muscle power during explosive resistance training in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2005;60(5):638-47.
41. Foldvari M, Clark M, Laviolette L, Bernstein M, Kaliton D, Castaneda C, et al. Association of muscle power with functional status in community-dwelling elderly women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2000;55(4):M192-M199.
42. Cuoco A, Callahan D, Sayers S, Frontera W, Bean J, Fielding R. Impact of muscle power and force on gait speed in disabled older men and women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2004;59(11):1200-6.
43. Barbat-Artigas S, Dupontgand S, Fex A, Karelis A, Aubertin-leheudre M. Relationship between dynapenia and cardiorespiratory functions in healthy postmenopausal women: novel clinical criteria. *Menopause*. 2011;18(4):400-5.
44. Manini T, Clark B. Dynapenia and aging: an update. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2012; 67(1):28-40.
45. Caserotti P, Aagaard P, Puggaard L. Changes in power and force generation during coupled eccentric-concentric versus concentric muscle contraction with training and aging. *Eur J Appl Physiol*. 2008;103(2):151-61.
46. Laroche D, Roy S, Knight C, Dickie J. Elderly women have blunted response to resistance training despite reduced antagonist coactivation. *Med Sci Sports Exerc*. 2008;40(9): 1660-8.
47. Laroche D, Knight C, Dickie J, Lussier M, Roy S. Explosive force and fractionated reaction time in elderly low- and high-active women. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39(9):1659-65.
48. Caserotti P, Aagaard P, Larsen J, Puggaard L. Explosive heavy-resistance training in old and very old adults: changes in rapid muscle force, strength and power. *Scand J Med Sci Sports*. 2008;18(6):773-82.
49. Goulart N, Antunes A, Schmitz V, Correa C, Pinto R. Plyometric training: evaluation methods, benefits other sports modalities and comparison with other types of training. *Arquivos do Movimento*. 2011;7(1):86-103.
50. Emerson N, Stout J, Fukuda D, Robinson E, Scanlon T, Beyer K, et al. Resistance training improves capacity to delay neuromuscular fatigue in older adults. *Arch Gerontol Geriatr*. 2015;61(1):27-33.