



Entrenamiento de fuerza isoinercial en adultos mayores: una revisión literaria

Cristian Andrés Yáñez^{1*} , Erica Mabel Mancera²  y Carlos Suárez³ 

¹Fundación Universitaria del Área Andina, Bogotá (Colombia).

²Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

³Universidad Sergio Arboleda, Bogotá (Colombia).

Citación

Yáñez, C.A., Mancera, E.M. & Suárez, C. (2022). Isoinertial Strength Training in Older Adults: A systematic review. *Apunts Educación Física y Deportes*, 147, 36-44. [https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2022/1\).147.04](https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2022/1).147.04)

Resumen

La conservación del músculo esquelético y su capacidad en la generación de mayores estímulos nerviosos se favorecen con el uso de equipos isoinerciales, ya que estos permiten un mayor desempeño tendinoso y neuromuscular junto con una mejor dinámica metabólica ante la pérdida de masa magra (sarcopenia) y de fuerza muscular (dinapenia) en los adultos mayores, debida a efectos multifactoriales tales como: incremento de citoquinas catabólicas que generan la degradación de proteínas, atrofia, desórdenes hormonales, incremento o disminución de masa grasa. El propósito del presente estudio fue establecer los efectos neuromusculares del entrenamiento de fuerza isoinercial en adultos mayores. Se presenta una revisión de la literatura científica mediante una búsqueda en bases de datos (PubMed/MEDLINE, ScienceDirect, ProQuest) sobre los efectos del entrenamiento isoinercial en el desempeño neuromuscular en adultos mayores. El mecanismo del entrenamiento isoinercial genera cambios positivos sobre el reclutamiento de unidades motoras, los niveles de fuerza y potencia, preservando la función neuromuscular y tendinosa en los adultos mayores.

Palabras clave: adulto mayor, ejercicio isoinercial, entrenamiento excéntrico, envejecimiento, sarcopenia.

Editado por:

© Generalitat de Catalunya
Departament de la Presidència
Institut Nacional d'Educació
Física de Catalunya (INEFC)

ISSN: 2014-0983

*Correspondencia:

Cristian Andrés Yáñez*
cyanez@areandina.edu.co

Sección:

Entrenamiento deportivo

Idioma del original:

Castellano

Recibido:

7 de mayo de 2021

Aceptado:

5 de octubre de 2021

Publicado:

1 de enero de 2022

Portada:

Prueba femenina
de esquí cross.
Juegos Olímpicos de
Invierno de la
Juventud 2020.
Lausana (Suiza)
© EFE/ Gabriel Monnet

Introducción

De acuerdo a los cambios relacionados con la edad y el rendimiento funcional en el adulto mayor, se han identificado modificaciones a nivel hormonal, neuronal y muscular (Algiani et al., 2014; Strasser et al., 2018; Ticinesi et al., 2019; Vandervoort, 2002). Dichas modificaciones generan una disminución de la fuerza y la potencia muscular (Latham et al., 2009; Vandervoort, 2002), y se asocian a variaciones en las neuronas motoras, la capacidad de síntesis proteica, y cambios en el cartílago, las articulaciones y los tendones (Fernández-Argüelles et al., 2015). De otro modo, se han reconocido repercusiones en el sistema neurológico que incluyen alteraciones en el tamaño y número de unidades motoras, ramificaciones dendríticas y debilidad de impulso en la conducción nerviosa de los movimientos (Foldvari et al., 2000). Así, el desempeño de la fuerza se afecta en la tercera década de la vida y continúa disminuyendo progresivamente (Granacher et al., 2008), dependiendo de múltiples factores como la edad, el sexo y la actividad física, entre otros (Russ et al., 2012; Vandervoort, 2002).

Según los datos científicos, se ha establecido una disminución significativa de la fuerza de 1 % a 1.5 % por cada año entre las edades de 50 a 70 años (Vandervoort, 2002), así como una alteración y degeneración del raquis que produciría disfunción en la estabilidad, postura, funcionalidad y dinamismo (Borde et al., 2015; Mitchell et al., 2012; Russ et al., 2012). Por consiguiente, el desempeño motriz del adulto mayor depende de la resistencia a través de programas de entrenamiento, los cuales buscan preservar las características en el mantenimiento de la fuerza muscular a través de la dinámica excéntrica, como base fundamental de la condición física adaptativa que procura conservar el número y el diámetro de miofibrillas, en especial de tipo II, consecuente a la producción de potencia (Maroto-Izquierdo et al., 2017; Wonders, 2019) como factor indispensable en la capacidad funcional humana.

Por tal motivo, el desempeño mecánico muscular a través de las contracciones negativas (excéntricas) dentro del entrenamiento con tensión justifica el uso de equipos de acción isoinercial. Estos equipos buscan aumentar la fuerza, mejorar la elongación musculotendinosa (Guilhem et al., 2010; Hedayatpour y Falla, 2015; Schoenfeld et al., 2017) e incrementar la producción de potencia con eficiencia metabólica, junto con una menor exigencia cardiovascular, generando estrategias que combatan la sarcopenia (Hedayatpour y Falla, 2015), debido a la pérdida de masa y fuerza muscular, disminución de masa ósea, fragilidad, depresión, alteraciones del sueño e incidencia de caídas (Granacher et al., 2013; Petré et al., 2018; Sañudo et al., 2019).

Según lo descrito por estudios recientes, la capacidad de aplicar la resistencia excéntrica en todo el rango de movimiento genera ganancias de fuerza satisfactorias en

comparación con el entrenamiento tradicional (Bogdanis et al., 2018; Sánchez-Moreno et al., 2017; Yamada et al., 2012), lo que llevaría a ejecutar un trabajo con un menor gasto energético, ideal en procesos de readaptación clínica y deportiva (Aboodarda et al., 2016; Guilhem et al., 2010; Pareja-Blanco et al., 2014). Hablando más específicamente de la población de adultos mayores, existen investigaciones diseñadas con el fin de estudiar la mejor forma de lograr resultados satisfactorios en cuanto a la ganancia de fuerza.

De la misma forma, se ha planteado que los ejercicios isoinerciales pueden originar mejoras en términos de hipertrofia y adaptación funcional, los cuales se relacionan con la capacidad contráctil y la elongación muscular en población de adultos mayores (Maroto-Izquierdo et al., 2017). Igualmente, los estudios han revelado que los entrenamientos isoinerciales pueden mejorar aspectos de la función muscular, tales como: fuerza, potencia, activación neuromuscular y mejoría estructural (Bruseghini et al., 2019).

Por tal motivo, se destaca el propósito de la presente revisión al establecer los efectos neuromusculares del entrenamiento de fuerza isoinercial en adultos mayores.

Metodología

A través de un estudio descriptivo transversal de artículos publicados mediante una revisión narrativa, se realizó una búsqueda entre marzo y septiembre de 2020 en bases de datos como PubMed/MEDLINE, ScienceDirect y ProQuest. Asimismo, se excluyeron estudios publicados que no estuvieran en el idioma español o inglés.

Estrategia de búsqueda

Se realizó una búsqueda de publicaciones usando la herramienta MeSH, con palabras clave como *aging*, *flywheel training*, *sarcopenia*, *strength training*, *eccentric overload*, *older adults*. Posteriormente, se realizó una nueva búsqueda utilizando operadores booleanos (lógicos) como: “isoinertial” OR “isoinertial training” OR “training eccentric overload” AND “flywheel training*”, “older adults*” OR “senior training*” AND “strength training”, “muscle*” AND “neuromuscular function”, “skeletal muscle” AND “older adults*” OR “training*”, “muscle coactivation” AND “seniors*” OR “older adults*”, “sarcopenia” AND “aging*” OR “older adults*”

Proceso de selección

Se encontraron 300 artículos, de los cuales se eliminaron estudios duplicados y aquellos que no correspondían a los objetivos del estudio (criterios de exclusión), con un resultado final de 70 publicaciones.

De los artículos restantes que incluían ejercicios de fuerza, se eliminaron aquellos ($n = 20$) que realizaron un entrenamiento que no incluía sobrecargas inerciales.

Finalmente, de 50 artículos que cumplieron los criterios de inclusión propuestos por los investigadores, 18 fueron los empleados para la presente revisión (Figura 1).

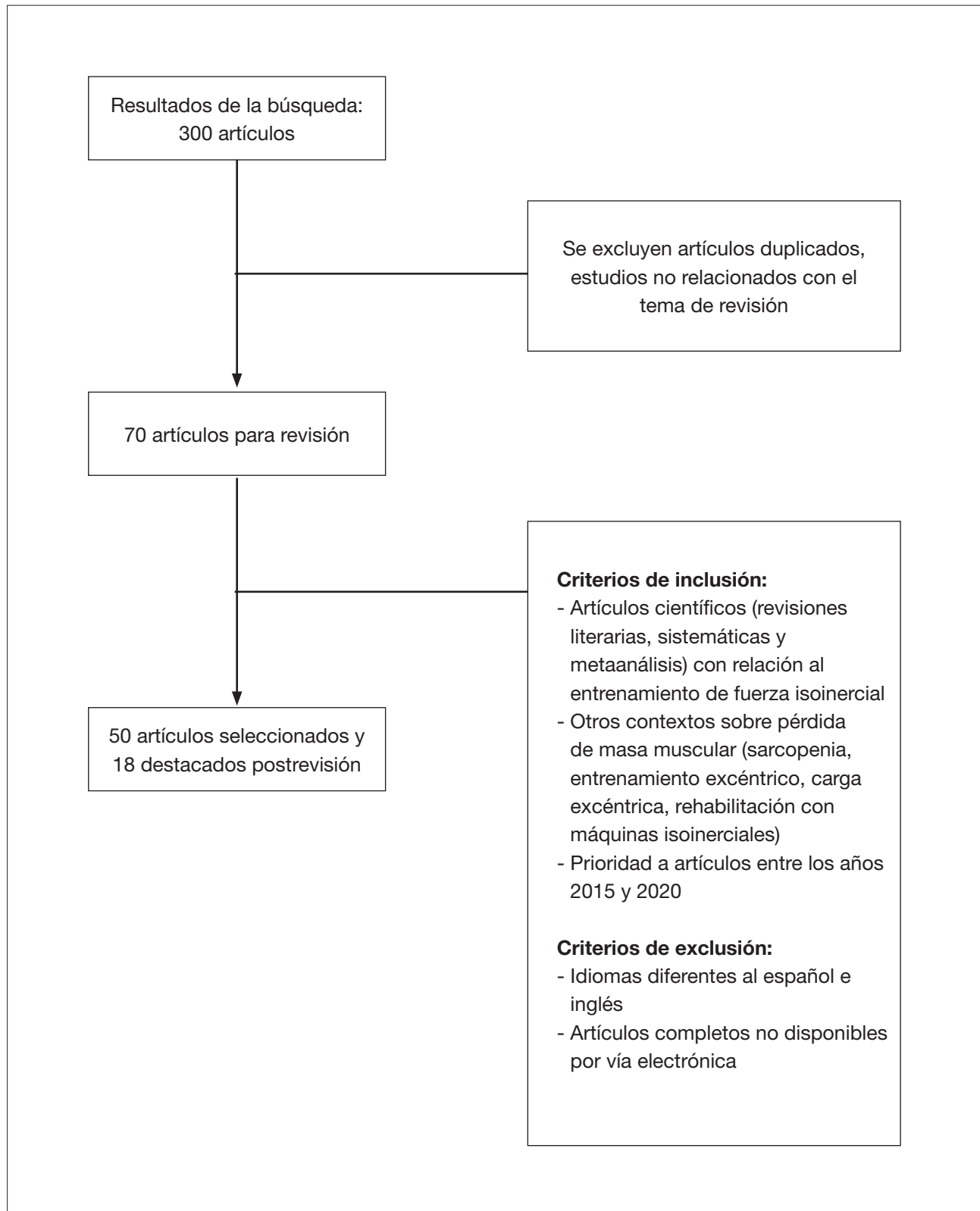


Figura 1
Diagrama de flujo de selección de artículos.

Resultados

Se encontraron artículos sobre ensayos clínicos aleatorizados, revisiones de literatura, revisiones sistemáticas y metaanálisis referentes a la intervención del entrenamiento de fuerza isoinercial en adultos mayores entre los 60 y 75 años, así como, también, incluyendo esta población en procesos

de rehabilitación y deportistas, resaltando características pertinentes sobre las adaptaciones neuromusculares, destacando el aporte científico de la intervención. Igualmente, se resalta la utilidad de los documentos relacionados con entrenamiento de fuerza y ejercicios isoinerciales que podrían ser útiles (Tabla 1).

Tabla 1

Resultados de los efectos neuromusculares del entrenamiento isoinercial.

Autor (es)	Año	Efectos del entrenamiento isoinercial (resultados)	Característica de la muestra
(Beato et al.)	2020	Hipertrofia - Aumento de fuerza y potencia.	Adultos mayores
(Kowalchuk y Butcher)	2019	Mantenimiento de masa magra ante la sarcopenia	
(Suchomel et al.)		Maximiza el tamaño, la fuerza y la potencia muscular	Estudio de revisión
(Bruseghini et al.)	2019	Aumento del área de sección transversal anatómica (cuádriceps). Conservación de tejido magro	Adultos mayores
(Fisher et al.)	2020	Mejora la velocidad y la fuerza muscular. Reduce la incidencia de lesiones de miembros inferiores (especialmente, el bíceps femoral)	Deporte y rehabilitación
(Hedayatpour y Falla)	2015	Mayor tensión muscular pasiva. Mantenimiento de niveles de fuerza	Estudio de revisión
(Illera-Domínguez et al.)	2018	Aumento de fuerza y potencia en rodilla (CVM extensión rodilla 28 %) - Hipertrofia en cuádriceps	Jóvenes
(Lastayo et al.)	2017	Gasto de energía bajo - Alta producción de fuerza muscular - Reduce déficits en el tamaño, la fuerza y la movilidad muscular. Reduce el perfil de riesgo de caídas en adultos mayores	Adultos mayores
(Maroto-Izquierdo et al.)	2017	Cambios funcionales y anatómicos y mejoría del rendimiento	Deportistas
(Norrbrand et al.)	2010	Aumento de CVM y fuerza específica del entrenamiento. Mayor estrés mecánico	Hombres sanos no activos
(Núñez et al.)	2018	Mejoras en el volumen muscular de las extremidades inferiores y el rendimiento funcional	Jóvenes masculinos jugadores de deportes de equipo
(Onambélé et al.)	2008	Mayor rigidez tendinosa del gastrocnemio. Mejora en el equilibrio postural de los individuos	Adultos mayores
(Petré et al.)	2018	Aumento de fuerza y potencia. Hipertrofia	Deportistas
(Sañudo et al.)	2019	Mejora el equilibrio, la movilidad funcional y la potencia muscular	Adultos mayores
(Tesch et al.)	2017	Herramienta útil para mejorar la función neuromuscular en población clínica y saludable	Personas y poblaciones saludables, sedentarias o físicamente activas que padecen atrofia, enfermedad o lesión muscular
(Tous-Fajardo et al.)	2016	Mejoría en la capacidad de CD, velocidad lineal y salto reactivo	Deportistas
(Walker et al.)	2016	Aumento en la producción de fuerza máxima, capacidad de trabajo y activación muscular	Hombres entrenados en fuerza
(Wonders)	2019	Activación muscular - elongación y rigidez tendinosa	Aletas en rehabilitación

Nota. CVM: contracción voluntaria máxima. CD: cambio de dirección. Fuente: elaboración propia.

Discusión

Sarcopenia y población adulta mayor

La presente revisión del entrenamiento isoinercial en población adulta mayor se establece de acuerdo con los efectos del deterioro muscular y en general del ser humano, ya que, para el año 2030, se estima un incremento de aproximadamente 71 millones de adultos de 65 años o más, en países como los EE. UU., quienes tendrán alteraciones funcionales debido al deterioro musculoesquelético (U.S. Census Bureau International Database, 2015). Por tal motivo, la disminución en la práctica de ejercicio físico tiene efectos sobre la composición muscular, la masa grasa y la reducción progresiva de la fuerza (Walston, 2012), siendo esta última una capacidad fisiológica que debe mantenerse saludable, ya que es pieza fundamental de la conservación de la locomoción y la movilidad funcional de las personas mayores. Por este motivo, la pérdida de masa magra y el deterioro de la fuerza muscular en personas adultas, junto con el aumento de la edad, generan una disminución en las capacidades de resistencia, que puede mejorarse por medio de estilos de vida activos y saludables (Aagaard et al., 2010; Papadopoulou, 2020; Shafiee et al., 2017).

De otro modo, la fuerza muscular máxima en los individuos presenta un declive constante desde la quinta década de vida y se incrementa desde la séptima década (Hughes et al., 2018; Kosek et al., 2006). Esta disminución de la fuerza muscular se relaciona con la reducción de la función motora, daño mitocondrial, incremento de la edad y alteración del equilibrio, los cuales se ven afectados junto con un mayor riesgo de caídas y lesiones óseas por fracturas (Campbell y Vallis, 2014; Gschwind et al., 2013; Lastayo et al., 2017). De igual manera, se asocia fuertemente con un mal estado de salud y mortalidad, según estudios realizados con medición de la fuerza prensil y fuerza de los músculos de las extremidades inferiores (Grgic et al., 2020; Newman et al., 2006; Zeng et al., 2016).

Entrenamiento de fuerza y envejecimiento

Existe evidencia del entrenamiento de la fuerza como alternativa y solución ante el deterioro fisiológico muscular esquelético (Papa et al., 2017). Es el caso del estudio que plantean Kosek et al. (2006), en el cual se demuestra que el entrenamiento muscular es el más prometedor para reducir o revertir los efectos de la sarcopenia, realizando un trabajo a una intensidad del 80 % de una repetición máxima, con el que se logran efectos satisfactorios de la fuerza entre los 3-4 meses en los adultos mayores, generando adaptaciones de las propiedades neuronales que juegan un papel destacado dentro del entrenamiento mencionado (Fragala et al., 2019;

Onambélé et al., 2008; Unhjem et al., 2015). Por ello, dentro del entrenamiento de la fuerza, junto con el uso de elementos y máquinas, se destaca el método isoinercial, el cual figura como seguro, práctico y efectivo para aumentar la fuerza (tasa del desarrollo) excéntrica y la potencia (Maroto-Izquierdo et al., 2017; Núñez et al., 2018; Wonders, 2019) con sobrecarga, que permite atenuar los cambios relacionados con la edad y, asimismo, mejorar la calidad de vida de los individuos (Kowalchuk y Butcher, 2019; Lee y Park, 2013; Sañudo et al., 2019), manteniendo la masa muscular esquelética y la mejora de la estimulación neural a través del entrenamiento de la fuerza como factor esencial de salud y bienestar (Stewart et al., 2014; Voet et al., 2019).

De igual modo, al referir los parámetros de dosificación del entrenamiento, existen variables de tiempo, intensidad y velocidad de ejecución, los cuales generan beneficios en períodos a corto plazo (Burd et al., 2012; Cadore et al., 2014). Entre ellos, destaca el parámetro de intensidad, como un factor predisponente en las adaptaciones musculares hacia el mantenimiento de los impulsos nerviosos (Fragala et al., 2019; Granacher et al., 2008; Gschwind et al., 2013; Illera-Domínguez et al., 2018; Kowalchuk y Butcher, 2019), los cuales justifican la óptima ganancia de fuerza. Es por esto por lo que el entrenamiento con equipos isoinerciales favorece la acción excéntrica, la cual se caracteriza por el alargamiento de los músculos (estiramiento musculotendinoso) hacia la fuerza de ruptura bajo tensión, debido a la capacidad para aplicar resistencia constante e ilimitada a través de todas las fases de la contracción, lo que da como resultado una mayor producción de potencia. Por este motivo, la actividad mecánica de aceleración y desaceleración de tipo concéntrica y excéntrica a través de los equipos mencionados logra un incremento en la tensión (intensidad) sobre los músculos, durante las contracciones, según la velocidad de ejecución y la fuerza producidas (Suchomel et al., 2019).

Entrenamiento de fuerza excéntrica

Dentro de los beneficios del entrenamiento de fuerza y especificando el trabajo sobre la fase excéntrica, el entrenamiento isoinercial proporciona un estímulo adecuado partiendo de la resistencia negativa (Herzog et al., 2015) en la fase desaceleradora del movimiento y en los diferentes ejercicios de sentadilla, *curl* de bíceps o flexión de rodilla, los cuales logran mayores estímulos neuromusculares (Katz, 1939; Meylan et al., 2008; Núñez et al., 2018; Wonders, 2019). Por consiguiente, la intervención con dispositivos isoinerciales en adultos mayores sustenta la importancia de su práctica, adaptando el sistema musculoesquelético a mayores tasas de reclutamiento e impulsos hacia la unidad motora durante la elongación resistida (Beato et al., 2020; Kowalchuk y Butcher, 2019), aprovechando adaptaciones

positivas que contrarrestan los efectos de la sarcopenia (Konopka y Harber, 2014; Liao et al., 2019), mejorando el ambiente muscular interno (aumento en la frecuencia de impulsos nerviosos) (Camera et al., 2016; Conceição et al., 2018; Gehlert et al., 2015; Remaud et al., 2010).

Entrenamiento isoinercial en adultos mayores

La fiabilidad y validez del entrenamiento de fuerza isoinercial en personas mayores es una estrategia que ha manifestado efectos relevantes a nivel neuromuscular (Solà-Serrabou et al., 2019). Por ello, la contracción muscular excéntrica en conjunto con la sobrecarga inercial genera a nivel molecular una regulación e inducción de células satélite que favorecen un mejor desempeño en la recuperación de la microlesión fibrilar producida por el entrenamiento (Cermak et al., 2013). Ayuda, además, al mantenimiento de la masa muscular junto con una mayor síntesis proteica, ocasionada por la actividad musculotendinosa, que conlleva a sustentar el incremento del área seccional transversa y el efecto hipertrófico (Hody et al., 2019). También conlleva un aumento de la velocidad de contracción, duración, tensión y amplitud de movimiento concéntrico, con desaceleración por parte del músculo de la energía (cinética) de manera ligera, previamente a la acción producida en la fase excéntrica (Tesch et al., 2017).

En relación con lo anterior, el músculo y el tendón presentan propiedades mecánicas que posibilitan una mayor producción de los niveles de fuerza y potencia, así como la generación de una máxima activación al final de la fase de alargamiento o elongación muscular en mayor proporción que sobre lo concéntrico, logrando que el efecto de cargas repetidas provoque el aumento del grado de rigidez tendinosa con un menor gasto de energía, con lo cual se genera una mayor eficiencia en el trabajo dirigido dentro de un programa de entrenamiento con la población adulta mayor (Bruseghini et al., 2019; Douglas et al., 2017).

Máquinas isoinerciales

Con el fin de prevenir la pérdida de masa muscular y ósea en los astronautas, secundaria a la falta de gravedad y a la imposibilidad para ejercitar los diferentes grupos musculares, se desarrolló la modalidad de ejercicio isoinercial (Aboodarda et al., 2016; Petré et al., 2018; Sañudo et al., 2019), que consiste en realizar movimientos concéntricos y excéntricos contra una resistencia constante (Fisher et al., 2020), generada por la acción de un volante, que produce mayores ganancias de fuerza en fase excéntrica que en la concéntrica (Petré et al., 2018; Tesch et al., 2017).

Así pues, anteriormente se habían desarrollado máquinas isoinerciales menos sofisticadas, pero que mantenían la

misma capacidad de generar contracciones concéntricas y excéntricas con la misma inercia. Por tal motivo y gracias a la tecnología, esta metodología se ha desarrollado y aplicado en diversas poblaciones en general, no solo para el proceso de entrenamiento sino también como una importante ayuda en la ganancia muscular de las personas mayores, que, por la edad, cursan con un proceso de sarcopenia, así como también en el proceso deportivo, de rehabilitación física (Lienhard et al., 2013) y/o cardiopulmonar (Tesch et al., 2017).

De la misma forma, el principio fundamental de las máquinas isoinerciales es similar al mecanismo reversible conocido como Yo-Yo (Figura 2) (Bogdanis et al., 2018; Granacher et al., 2013; Kowalchuk y Butcher, 2019; Lee y Park, 2013). Este consta de una cuerda anclada a un sistema pivotante para el movimiento de flexión y extensión de segmentos corporales, y se busca halar la cuerda desenrollándola del sistema de pivote y gracias a unos resortes. “El sistema gira en sentido contrario volviendo a enrollar la cuerda, a lo cual debe oponerse la persona que está realizando el ejercicio” (Fisher et al., 2020). Por consiguiente, la intensidad de la inercia va a depender entonces de la fuerza que se aplique durante el ejercicio y del diámetro de la circunferencia del pivote (Figuras 2 y 3) (Petré et al., 2018; Sañudo et al., 2019), el cual aumenta las demandas en la actividad excéntrica posterior a una acción concéntrica debido a las cargas inerciales. El trabajo realizado se registra a través de un *encoder* rotativo sobre las diversas variables, tales como potencia (vatios), rango de potencia (vatios) y velocidad (m/s).



Figura 2
Máquina isoinercial squat.



Figura 3
Polea de radio fijo (arriba) y polea cónica isoinercial (abajo).

Cabe destacar que la fuerza excéntrica depende de la fuerza concéntrica que se aplique y que, debido a que la actividad isoinercial es libre de pesos y de los efectos de la fuerza de la gravedad, la máquina garantiza que la energía utilizada durante ambos movimientos sea prácticamente idéntica; de ahí su denominación (Kowalchuk y Butcher, 2019).

Por otra parte, una de las ventajas de utilizar los ejercicios isoinerciales en adultos mayores o en personas que requieren procesos de rehabilitación es que, con este método de Yo-Yo (Petré et al., 2018), el gasto energético es bajo (en comparación con otros tipos de ejercicios para ganancia muscular), dado que la persona está trabajando tanto en la fase concéntrica como en la excéntrica, pero en esta última fase el gasto energético es una quinta parte del requerido en la fase concéntrica (Illera-Domínguez et al., 2018; Tous-Fajardo et al., 2016).

Asimismo, acerca de la utilidad de los ejercicios isoinerciales, se ha publicado que en adultos mayores de 70 años se pueden obtener ganancias en potencia de hasta el 28 % (Bruseghini et al., 2019; Walker et al., 2016), logrando mejorar los niveles de estabilidad corporal y disminuyendo la progresión en la pérdida de densidad ósea (Bruseghini et al., 2019). Sin embargo, no se han encontrado datos que

soporten mejoras en la capacidad cardiovascular de los adultos mayores (Tesch et al., 2017).

Conclusiones

El mecanismo del entrenamiento isoinercial genera cambios positivos sobre el reclutamiento de unidades motoras, los niveles de fuerza y potencia, preservando la composición del tejido magro, la función neuromuscular y tendinosa en los adultos mayores frente al proceso de envejecimiento, debido al mayor rendimiento de la contracción excéntrica y su tensión progresiva con un bajo gasto energético y a su vez siendo una alternativa efectiva en el campo terapéutico y funcional.

Futuras direcciones de investigación

Establecer los parámetros de entrenamiento isoinercial en el proceso metodológico justificando su aplicación en diversas poblaciones, así como la determinación de los grados de inercia y la fuerza de resistencia a la fricción.

Referencias

- Aagaard, P., Suetta, C., Caserotti, P., Magnusson, S. P., & Kjær, M. (2010). Role of the nervous system in sarcopenia and muscle atrophy with aging: Strength training as a countermeasure. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 20(1), 49-64. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01084.x>
- Aboodarda, S. J., Page, P. A., & Behm, D. G. (2016). Muscle activation comparisons between elastic and isoinertial resistance: A meta-analysis. In *Clinical Biomechanics* (vol. 39). <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2016.09.008>
- Algilani, S., Östlund-Lagerström, L., Kihlgren, A., Blomberg, K., Brummer, R. J., & Schoultz, I. (2014). Exploring the concept of optimal functionality in old age. *Journal of Multidisciplinary Healthcare*, 7, 69-79. <https://doi.org/10.2147/JMDH.S55178>
- Beato, M., McErlain-Naylor, S. A., Halperin, I., & Iacono, A. Dello. (2020). Current evidence and practical applications of flywheel eccentric overload exercises as postactivation potentiation protocols: A brief review. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(2), 154-161. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0476>
- Bogdanis, G. C., Tsoukos, A., Brown, L. E., Selima, E., Veligeas, P., Spengos, K., & Terzis, G. (2018). Muscle Fiber and Performance Changes after Fast Eccentric Complex Training. In *Medicine and Science in Sports and Exercise* (Vol. 50, Issue 4). <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001507>
- Borde, R., Hortobágyi, T., & Granacher, U. (2015). Dose-Response Relationships of Resistance Training in Healthy Old Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 45(12), 1693-1720. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0385-9>
- Bruseghini, P., Capelli, C., Calabria, E., Rossi, A. P., & Tam, E. (2019). Effects of High-Intensity Interval Training and Isoinertial Training on Leg Extensors Muscle Function, Structure, and Intermuscular Adipose Tissue in Older Adults. *Frontiers in Physiology*, 10(October), 1-14. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01260>
- Burd, N. A., Andrews, R. J., West, D. W. D., Little, J. P., Cochran, A. J. R., Hector, A. J., Cashaback, J. G. A., Gibala, M. J., Potvin, J. R., Baker, S. K., & Phillips, S. M. (2012). Muscle time under tension during resistance exercise stimulates differential muscle protein sub-fractional synthetic responses in men. *Journal of Physiology*, 590(2), 351-362. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.221200>
- Cadore, E. L., Pinto, R. S., Bottaro, M., & Izquierdo, M. (2014). Strength and endurance training prescription in healthy and frail elderly. *Aging and Disease*, 5(3), 183-195. <https://doi.org/10.14336/AD.2014.0500183>

- Camera, D. M., Smiles, W. J., & John, A. (2016). Author's Accepted Manuscript. *Free Radical Biology and Medicine*. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2016.02.007>
- Campbell, T. M., & Vallis, L. A. (2014). Predicting fat-free mass index and sarcopenia in assisted-living older adults. *Age*, 36(4). <https://doi.org/10.1007/s11357-014-9674-8>
- Cermak, N. M., Snijders, T., McKay, B. R., Parise, G., Verdijk, L. B., Tarnopolsky, M. A., Gibala, M. J., & Van Loon, L. J. C. (2013). Eccentric exercise increases satellite cell content in type II muscle fibers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(2), 230-237. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318272cf47>
- Conceição, M. S., Vechin, F. C., Lixandrão, M., Damas, F., Libardi, C. A., Tricoli, V., Roschel, H., Camera, D., & Ugrinowitsch, C. (2018). Muscle Fiber Hypertrophy and Myonuclei Addition: A Systematic Review and Meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 50(7), 1385-1393. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001593>
- Douglas, J., Pearson, S., Ross, A., & McGuigan, M. (2017). Eccentric Exercise: Physiological Characteristics and Acute Responses. *Sports Medicine*, 47(4), 663-675. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0624-8>
- Fernández-Argüelles, E. L., Rodríguez-Mansilla, J., Antunez, L. E., Garrido-Ardila, E. M., & Muñoz, R. P. (2015). Effects of dancing on the risk of falling related factors of healthy older adults: A systematic review. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 60(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2014.10.003>
- Fisher, J. P., Ravalli, S., Carlson, L., Bridgeman, L. A., Roggio, F., Scuderi, S., Maniaci, M., Cortis, C., Fusco, A., & Musumeci, G. (2020). The "Journal of Functional Morphology and Kinesiology" Journal Club series: Utility and advantages of the eccentric training through the isoinertial system. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 5(1). <https://doi.org/10.3390/jfmk5010006>
- Foldvari, M., Clark, M., Laviolette, L. C., Bernstein, M. A., Kaliton, D., Castaneda, C., Pu, C. T., Hausdorff, J. M., Fielding, R. A., & Fiatarone Singh, M. A. (2000). Association of muscle power with functional status in community-dwelling elderly women. *Journals of Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences*, 55(4), 24-27. <https://doi.org/10.1093/gerona/55.4.M192>
- Fragala, M. S., Cadore, E. L., Dorgo, S., Izquierdo, M., Kraemer, W. J., Peterson, M. D., & Ryan, E. D. (2019). Resistance Training for Older Adults: Position Statement From the National Strength and Conditioning Association. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(8), 2019-2052. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003230>
- Gehlert, S., Suhr, F., Gutsche, K., Willkomm, L., Kern, J., Jacko, D., Knicker, A., Schiffer, T., Wackerhage, H., & Bloch, W. (2015). High force development augments skeletal muscle signalling in resistance exercise modes equalized for time under tension. *Pflügers Archiv European Journal of Physiology*, 467(6), 1343-1356. <https://doi.org/10.1007/s00424-014-1579-y>
- Granacher, U., Gollhofer, A., Hortobágyi, T., Kressig, R. W., & Muehlbauer, T. (2013). The importance of trunk muscle strength for balance, functional performance, and fall prevention in seniors: A systematic review. *Sports Medicine*, 43(7), 627-641. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0041-1>
- Granacher, U., Lacroix, A., Muehlbauer, T., Roettger, K., & Gollhofer, A. (2013). Effects of core instability strength training on trunk muscle strength, spinal mobility, dynamic balance and functional mobility in older adults. *Gerontology*, 59(2), 105-113. <https://doi.org/10.1159/000343152>
- Granacher, U., Zahner, L., & Gollhofer, A. (2008). Strength, power, and postural control in seniors: Considerations for functional adaptations and for fall prevention. *European Journal of Sport Science*, 8(6), 325-340. <https://doi.org/10.1080/17461390802478066>
- Grgic, J., Garofolini, A., Orazem, J., Sabol, F., Schoenfeld, B. J., & Pedisic, Z. (2020). Effects of Resistance Training on Muscle Size and Strength in Very Elderly Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Sports Medicine*, 50(11), 1983-1999. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01331-7>
- Gschwind, Y. J., Kressig, R. W., Lacroix, A., Muehlbauer, T., Pfenninger, B., & Granacher, U. (2013). A best practice fall prevention exercise program to improve balance, strength / power, and psychosocial health in older adults: Study protocol for a randomized controlled trial. *BMC Geriatrics*, 13(1), 1. <https://doi.org/10.1186/1471-2318-13-105>
- Guilhem, G., Cornu, C., & Guével, A. (2010). Adaptations neuromusculaires et musculo-tendineuses à l'exercice excentrique isotonique et isocinétique. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 53(5), 319-341. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2010.04.003>
- Hedayatpour, N., & Falla, D. (2015). Physiological and Neural Adaptations to Eccentric Exercise: Mechanisms and Considerations for Training. *BioMed Research International*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/193741>
- Herzog, W., Powers, K., Johnston, K., & Duvall, M. (2015). A new paradigm for muscle contraction. *Frontiers in Physiology*, 6(MAY), 1-11. <https://doi.org/10.3389/fphys.2015.00174>
- Hody, S., Croisier, J. L., Bury, T., Rogister, B., & Leprince, P. (2019). Eccentric muscle contractions: Risks and benefits. In *Frontiers in Physiology* (Vol. 10, Issue MAY). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00536>
- Hughes, D. C., Ellefsen, S., & Baar, K. (2018). Adaptations to endurance and strength training. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, 8(6), 1-18. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a029769>
- Illera-Domínguez, V., Nuell, S., Carmona, G., Padullés, J. M., Padullés, X., Lloret, M., Cussó, R., Alomar, X., & Cadefau, J. A. (2018). Early functional and morphological muscle adaptations during short-term inertial-squat training. *Frontiers in Physiology*, 9(SEP), 1-12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01265>
- Katz, B. Y. B. (1939). The relation between force and speed in muscular contraction. *The Journal of Physiology*, 96(1), 45-64. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1939.sp003756>
- Konopka, A. R., & Harber, M. P. (2014). Skeletal muscle hypertrophy after aerobic exercise training. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 42(2), 53-61. <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000007>
- Kosek, D. J., Kim, J. S., Petrella, J. K., Cross, J. M., & Bamman, M. M. (2006). Efficacy of 3 days/wk resistance training on myofiber hypertrophy and myogenic mechanisms in young vs. older adults. *Journal of Applied Physiology*, 101(2), 531-544. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01474.2005>
- Kowalchuk, K., & Butcher, S. (2019). Eccentric overload flywheel training in older adults. In *Journal of Functional Morphology and Kinesiology* (Vol. 4, Issue 3). <https://doi.org/10.3390/jfmk4030061>
- Lastayo, P., Marcus, R., Dibble, L., Wong, B., & Pepper, G. (2017). *Eccentric versus traditional resistance exercise for older adult fallers in the community: a randomized trial within a multi-component fall reduction program*. 1-11. <https://doi.org/10.1186/s12877-017-0539-8>
- Latham, N., Anderson, C., Bennett, D., S. C. (2009). Progressive resistance strength training for physical disability in older people (Review). *Cochrane Database Syst Rev*, 2. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD002759>
- Lee, I. H., & Park, S. Y. (2013). *Balance Improvement by Strength Training for the Elderly*. 1591-1593. <https://doi.org/10.1589/jpts.25.1591>
- Liao, C. De, Chen, H. C., Huang, S. W., & Liou, T. H. (2019). Reply to: "Comment on the role of muscle mass gain following protein supplementation plus exercise therapy in older adults with sarcopenia and frailty risks: A systematic review and meta-regression analysis of randomized trials, nutrients 2019, 11, 1713." *Nutrients*, 11(10), 1-23. <https://doi.org/10.3390/nu11102420>
- Lienhard, K., Lauer, M., Schneider, D., Item-Glatthorn, J. F., Casartelli, N. C., & Maffiuletti, N. A. (2013). Validity and reliability of isometric, isokinetic and isoinertial modalities for the assessment of quadriceps muscle strength in patients with total knee arthroplasty. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23(6), 1283-1288. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2013.09.004>
- Lohne-Seiler, H., Torstveit, M. K., & Anderssen, S. A. (2013). Traditional versus functional strength training: Effects on muscle strength and power in the elderly. *Journal of Aging and Physical Activity*, 21(1), 51-70. <https://doi.org/10.1123/japa.21.1.51>
- Maroto-Izquierdo, S., García-López, D., & De Paz, J. A. (2017). Functional and Muscle-Size Effects of Flywheel Resistance Training with Eccentric-Overload in Professional Handball Players. *Journal of Human Kinetics*, 60(1), 133-143. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0096>
- Meylan, C., Cronin, J., & Nosaka, K. (2008). Isoinertial assessment of eccentric muscular strength. *Strength Cond J*, 30(2), 56-64.
- Mitchell, W. K., Williams, J., Atherton, P., Larvin, M., Lund, J., & Narici, M. (2012). Sarcopenia, dynapenia, and the impact of advancing age on human skeletal muscle size and strength; a quantitative review. *Frontiers in Physiology*, 3 JUL(July), 1-18. <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00260>

- Newman, A. B., Kupelian, V., Visser, M., Simonsick, E. M., Goodpaster, B. H., Kritchevsky, S. B., Tylavsky, F. A., Rubin, S. M., & Harris, T. B. (2006). Strength, but not muscle mass, is associated with mortality in the health, aging and body composition study cohort. *Journals of Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences*, 61(1), 72-77. <https://doi.org/10.1093/gerona/61.1.72>
- Norrbrand, L., Pozzo, M., & Tesch, P. A. (2010). Flywheel resistance training calls for greater eccentric muscle activation than weight training. *European Journal of Applied Physiology*, 110(5), 997-1005. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1575-7>
- Núñez, F. J., Santalla, A., Carrasquilla, I., Asian, J. A., Reina, J. I., & Suarez-Arrones, L. J. (2018). The effects of unilateral and bilateral eccentric overload training on hypertrophy, muscle power and COD performance, and its determinants, in team sport players. *PLoS ONE*, 13(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193841>
- Onambélé, G. L., Maganaris, C. N., Mian, O. S., Tam, E., Rejc, E., McEwan, I. M., & Narici, M. V. (2008). Neuromuscular and balance responses to flywheel inertial versus weight training in older persons. *Journal of Biomechanics*, 41(15), 3133-3138. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.09.004>
- Papa, E. V., Dong, X., & Hassan, M. (2017). Resistance training for activity limitations in older adults with skeletal muscle function deficits: A systematic review. *Clinical Interventions in Aging*, 12, 955-961. <https://doi.org/10.2147/CIA.S104674>
- Papadopoulou, S. K. (2020). Sarcopenia: A contemporary health problem among older adult populations. *Nutrients*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/nu12051293>
- Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Gorostiaga, E. M., & González-Badillo, J. J. (2014). Effect of movement velocity during resistance training on neuromuscular performance. *International Journal of Sports Medicine*, 35(11), 916-924. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1363985>
- Petré, H., Wernstål, F., & Mattsson, C. M. (2018). Effects of Flywheel Training on Strength-Related Variables: a Meta-analysis. *Sports Medicine - Open*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s40798-018-0169-5>
- Remaud, A., Cornu, C., & Guével, A. (2010). Neuromuscular adaptations to 8-week strength training: Isotonic versus isokinetic mode. *European Journal of Applied Physiology*, 108(1), 59-69. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1164-9>
- Russ, D. W., Gregg-Cornell, K., Conaway, M. J., & Clark, B. C. (2012). Evolving concepts on the age-related changes in "muscle quality." *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 3(2), 95-109. <https://doi.org/10.1007/s13539-011-0054-2>
- Sánchez-Moreno, M., Rodríguez-Rosell, D., Pareja-Blanco, F., Mora-Custodio, R., & González-Badillo, J. J. (2017). Movement velocity as indicator of relative intensity and level of effort attained during the set in pull-up exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(10), 1378-1384. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0791>
- Sañudo, B., González-Navarrete, Á., Álvarez-Barbosa, F., de Hoyo, M., Del Pozo, J., & Rogers, M. E. (2019). Effect of flywheel resistance training on balance performance in older adults. A randomized controlled trial. *Journal of Sports Science and Medicine*, 18(2), 344-350.
- Schoenfeld, B. J., Grgic, J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2017). Strength and Hypertrophy Adaptations Between Low- vs. High-Load Resistance Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(12), 3508-3523. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002200>
- Shafiee, G., Keshkar, A., Soltani, A., Ahadi, Z., Larijani, B., & Heshmat, R. (2017). Prevalence of sarcopenia in the world: A systematic review and meta-analysis of general population studies. *Journal of Diabetes and Metabolic Disorders*, 16(1), 1-10. <https://doi.org/10.1186/s40200-017-0302-x>
- Solà-Serrabou, M., López, J. L., & Valero, O. (2019). Effectiveness of training in the elderly and its impact on health-related quality of life. *Apunts Educación Física y Deportes*, 137, 30-42. [https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2019/3\).137.03](https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2019/3).137.03)
- Stewart, V. H., Saunders, D. H., & Greig, C. A. (2014). Responsiveness of muscle size and strength to physical training in very elderly people: A systematic review. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 24(1), 1-10. <https://doi.org/10.1111/sms.12123>
- Strasser, B., Volaklis, K., Fuchs, D., & Burtscher, M. (2018). Role of Dietary Protein and Muscular Fitness on Longevity and Aging. *Aging Dis.*, 9(1), 119-132. <https://doi.org/10.14336/AD.2017.0202>
- Suchomel, T. J., Wagle, J. P., Douglas, J., Taber, C. B., Harden, M., Gregory Haff, G., & Stone, M. H. (2019). Implementing eccentric resistance training—Part 1: A brief review of existing methods. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 4(2), 1-25. <https://doi.org/10.3390/jfmk4020038>
- Tesch, P. A., Fernandez-Gonzalo, R., & Lundberg, T. R. (2017). Clinical applications of iso-inertial, eccentric-overload (YoYo™) resistance exercise. *Frontiers in Physiology*, 8(APR). <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00241>
- Ticinesi, A., Nouvenne, A., Cerundolo, N., Catania, P., Prati, B., Tana, C., & Meschi, T. (2019). *Gut Microbiota, Muscle Mass and Function in Aging: A Focus on Physical Frailty and Sarcopenia*. 1-21.
- Tous-Fajardo, J., Gonzalo-Skok, O., Arjol-Serrano, J. L., & Tesch, P. (2016). Enhancing change-of-direction speed in soccer players by functional inertial eccentric overload and vibration training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(1), 66-73. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0010>
- U.S. Census Bureau. International database. (2015). Tables. <https://www.census.gov/data/tables.html>
- Unhjem, R., Lundestad, R., Fimland, M. S., Mosti, M. P., & Wang, E. (2015). Strength training-induced responses in older adults: attenuation of descending neural drive with age. *Age*, 37(3). <https://doi.org/10.1007/s11357-015-9784-y>
- Vandervoort, A. A. (2002). Aging of the human neuromuscular system. *Muscle and Nerve*, 25(1), 17-25. <https://doi.org/10.1002/mus.1215>
- Voet, N. B. M., van der Kooij, E. L., van Engelen, B. G. M., & Geurts, A. C. H. (2019). Strength training and aerobic exercise training for muscle disease. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2019(12). <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003907.pub5>
- Walker, S., Blazevich, A. J., Haff, G. G., Tufano, J. J., Newton, R. U., & Häkkinen, K. (2016). *Greater Strength Gains after Training with Accentuated Eccentric than Traditional Isoinertial Loads in Already Strength-Trained Men*. 7(April), 1-12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00149>
- Walston, J. D. (2012). Sarcopenia in older adults. *Current Opinion in Rheumatology*, 24(6), 623-627. <https://doi.org/10.1097/BOR.0b013e328358d59b>
- Wonders, J. (2019). Flywheel Training in Musculoskeletal Rehabilitation: a Clinical Commentary. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 14(6), 994-1000. <https://doi.org/10.26603/ijsp.20190994>
- Yamada, A. K., Verlengia, R., & Bueno Junior, C. R. (2012). Mechanotransduction pathways in skeletal muscle hypertrophy. *Journal of Receptors and Signal Transduction*, 32(1), 42-44. <https://doi.org/10.3109/10799893.2011.641978>
- Zeng, P., Han, Y., Pang, J., Wu, S., Gong, H., Zhu, J., Li, J., & Zhang, T. (2016). Sarcopenia-related features and factors associated with lower muscle strength and physical performance in older Chinese: A cross sectional study Physical functioning, physical health and activity. *BMC Geriatrics*, 16(1). <https://doi.org/10.1186/s12877-016-0220-7>

Conflicto de intereses: las autoridades no han declarado ningún conflicto de intereses.



© Copyright Generalitat de Catalunya (INEFC). Este artículo está disponible en la url <https://www.revista-apunts.com/es/>. Este trabajo está bajo la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License. Las imágenes u otro material de terceros en este artículo se incluyen en la licencia Creative Commons del artículo, a menos que se indique lo contrario en la línea de crédito. Si el material no está incluido en la licencia Creative Commons, los usuarios deberán obtener el permiso del titular de la licencia para reproducir el material. Para ver una copia de esta licencia, visite https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es_ES