

Selected Papers from Impact

Ejercicio Excéntrico: Adaptaciones y Aplicaciones para la Salud y el Rendimiento

Eccentric Exercise: Adaptations and Applications for Health And Performance

Michael O. Harris-Love^{1,2,3}, Jared M. Gollie^{3,4} y Justin W. L. Keogh^{5,6,7,8}

¹Physical Therapy Program, Department of Physical Medicine and Rehabilitation, University of Colorado Anschutz Medical Campus, Aurora, CO 80045, USA

²Geriatric Research Education and Clinical Center, VA Eastern Colorado Healthcare System, Aurora, CO 80045, USA

³Muscle Morphology, Mechanics, and Performance Laboratory, Geriatrics Service, Veterans Affairs Medical Center, Washington, DC 20422, USA

⁴Department of Health, Human Function, and Rehabilitation Sciences, School of Medicine & Health Sciences, George Washington University, Washington, DC 20052, USA

⁵Faculty of Health Sciences and Medicine, Bond University, Robina, QLD 4226, Australia

⁶Sports Performance Research Centre New Zealand, Auckland University of Technology, Auckland 1010, New Zealand

⁷Cluster for Health Improvement, Faculty of Science, Health, Education and Engineering, University of the Sunshine Coast, Sunshine Coast, QLD 4556, Australia

⁸Kasturba Medical College, Mangalore, Manipal Academy of Higher Education, Manipal 576104, Karnataka, India

RESUMEN

Los objetivos de esta revisión narrativa son proporcionar una breve descripción de las adaptaciones de músculos y tendones al ejercicio de fuerza excéntrica y abordar las aplicaciones de esta forma de entrenamiento para ayudar en las intervenciones de rehabilitación y mejorar el rendimiento deportivo. Este trabajo se centra en las contribuciones del autor al Número Especial titulado "Ejercicio excéntrico: adaptaciones y aplicaciones para la salud y el rendimiento". Los temas principales de los autores contribuyentes incluyen la necesidad de prestar mayor atención a la selección del modo de ejercicio excéntrico en función de los objetivos de entrenamiento y el nivel de condición física individual, los enfoques óptimos para implementar el ejercicio de fuerza excéntrica con fines terapéuticos, los factores que afectan el uso del ejercicio excéntrico a lo largo de la vida, y recomendaciones generales para integrar el ejercicio excéntrico en los regímenes de entrenamiento deportivo. Los autores proponen que la velocidad de movimiento y la absorción o recuperación de energía cinética son componentes críticos de la programación de ejercicios excéntricos. Con respecto al uso terapéutico del entrenamiento de la fuerza excéntrica, los factores del nivel del paciente con respecto a la gravedad de la condición, el nivel de condición física y la etapa de rehabilitación deben regir el plan de atención. En poblaciones deportivas, el uso de ejercicios excéntricos puede mejorar la realización del movimiento y promover una mejor seguridad y desempeño de tareas específicas del deporte. El entrenamiento de la fuerza excéntrica es una opción viable para jóvenes, adultos jóvenes y adultos mayores cuando la prescripción del ejercicio aborda adecuadamente los objetivos del programa, la tolerancia del ejercicio y el cumplimiento. A pesar de los beneficios del ejercicio excéntrico, varias preguntas clave siguen sin respuesta con respecto a su aplicación, lo que subraya la necesidad de una mayor investigación.

Palabras Clave: entrenamiento excéntrico, entrenamiento de resistencia, rehabilitación, fuerza, potencia, hipertrofia, tendinopatía, atletas juveniles, envejecimiento, entrenamiento con flywheel

ABSTRACT

The goals of this narrative review are to provide a brief overview of the muscle and tendon adaptations to eccentric resistance exercise and address the applications of this form of training to aid rehabilitative interventions and enhance sports performance. This work is centered on the author contributions to the Special Issue entitled "Eccentric Exercise: Adaptations and Applications for Health and Performance". The major themes from the contributing authors include the need to place greater attention on eccentric exercise mode selection based on training goals and individual fitness level, optimal approaches to implementing eccentric resistance exercise for therapeutic purposes, factors that affect the use of eccentric exercise across the lifespan, and general recommendations to integrate eccentric exercise in athletic training regimens. The authors propose that movement velocity and the absorption or recovery of kinetic energy are critical components of eccentric exercise programming. Regarding the therapeutic use of eccentric resistance training, patient-level factors regarding condition severity, fitness level, and stage of rehabilitation should govern the plan of care. In athletic populations, use of eccentric exercise may improve movement competency and promote improved safety and performance of sport-specific tasks. Eccentric resistance training is a viable option for youth, young adults, and older adults when the exercise prescription appropriately addresses program goals, exercise tolerability, and compliance. Despite the benefits of eccentric exercise, several key questions remain unanswered regarding its application underscoring the need for further investigation.

Keywords: eccentric training, resistance training, rehabilitation, strength, power, hypertrophy, tendinopathy, youth athletes, aging, flywheel training

INTRODUCCIÓN

Las acciones musculares excéntricas, que generan una producción de fuerza neta durante el alargamiento muscular activo, siguen siendo una curiosidad científica y un elemento muy presente de la movilidad y de la realización de tareas. Han pasado más de 90 años desde que AV Hill y su protegido, Wallace Fenn, brindaron conocimientos profundos sobre lo que los fisiólogos ahora consideran el "efecto Fenn negativo", por el cual una fuerza dada producida a través de acciones musculares excéntricas requiere un costo metabólico más bajo en comparación con acciones musculares isométricas y concéntricas [1]. Los avances incrementales han dado lugar a importantes hallazgos con respecto a la bioenergética de las acciones musculares excéntricas y las peculiaridades de la curva fuerza-velocidad durante los ejercicios de "trabajo negativo" [2,3]. Métodos que van desde enfoques moleculares y varias técnicas de bioimagen hasta modelos mecánicos han dado lugar a importantes líneas de investigación, incluida la hipótesis del "filamento enrollado" y el papel de la titina en la mejora de la fuerza activa, el impacto de la mecánica muscular *in vivo* en la producción de fuerza excéntrica, la variación en estrategias de activación neuromuscular basadas en el modo de acción muscular y las adaptaciones morfológicas diferenciales de músculos y tendones que resultan a partir de acciones musculares excéntricas crónicas [3,4,5,6,7].

Es importante destacar que las características únicas de las acciones musculares excéntricas han estimulado el interés en el uso del ejercicio excéntrico en una amplia variedad de entornos experimentales y aplicados. El uso del ejercicio excéntrico ha evolucionado desde un modelo para inducir daño muscular en condiciones de laboratorio, hasta formas seleccionadas de ejercicios de fortalecimiento utilizados para mejorar el rendimiento deportivo y, más recientemente, como un método para identificar el riesgo de lesiones musculoesqueléticas en el deporte y como una forma de ejercicio terapéutico para poblaciones clínicas y deportivas [8,9,10]. A pesar de los avances en la comprensión de los beneficios del ejercicio excéntrico, quedan preguntas fundamentales sobre la implementación adecuada y la prescripción óptima del ejercicio. Esta edición especial del *Journal of Functional Morphology and Kinesiology* aborda algunos de los vacíos de la evidencia relacionados con los mecanismos de adaptación de músculos y tendones al ejercicio excéntrico y las aplicaciones emergentes de esta forma única de ejercicio. En esta introducción al número especial, los editores presentan una revisión narrativa que destaca los temas principales de los autores contribuyentes. Estos trabajos colectivos hacen distinciones importantes entre múltiples modos de ejercicio excéntrico, examinan las adaptaciones al alargamiento muscular activo con fines terapéuticos, consideran el uso de ejercicio excéntrico a lo largo de la vida y brindan recomendaciones para integrar el ejercicio excéntrico en los regímenes de entrenamiento deportivo.

EJERCICIO EXCÉNTRICO: UNA ACCIÓN MUSCULAR, DOS USOS DE LA ENERGÍA CINÉTICA, MUCHOS MODOS DE EJERCICIO

La fuerza neta generada durante el alargamiento muscular activo ocurre cuando la resistencia externa excede la fuerza momentánea producida por el músculo agonista [1,11]. Las acciones musculares excéntricas se rigen por la integración compleja del comportamiento viscoelástico de la unidad músculo-tendinosa (MTU) y el aumento de la fuerza residual. El aumento de la fuerza residual asociado con el alargamiento muscular activo no se explica completamente por las interacciones de los puentes cruzados o los elementos pasivos de la MTU [3,4], y puede aumentarse por los cambios mediados por el Ca^{++} en la rigidez de las proteínas sarcoméricas como la titina [4,12,13].

El rendimiento muscular durante las actividades que se focalizan en el alargamiento muscular activo está influenciado por la velocidad articular angular, la rigidez muscular instantánea, así como el momento y la magnitud de la resistencia externa o la fuerza impuesta [1]. Stan Lindstedt proporcionó notablemente el ejemplo del "absorber el impacto" (es decir, como un amortiguador) en serie con un resorte para caracterizar el espectro del rendimiento de las acciones musculares excéntricas [1,14]. El ejercicio excéntrico debe conceptualizarse como dos categorías distintas de actividad con diferentes usos de la energía cinética (Figura 1). En base en el modelo de Lindstedt de un resorte en serie con un amortiguador, estas categorías de ejercicios excéntricos se definen en gran medida por la función de la energía cinética [1,10,15]:

(1) *Recuperación de energía cinética*: actividades que potencian la producción de fuerza a través de movimientos balísticos que implican una aceleración máxima con un tiempo de contacto con la superficie muy corto. Estas actividades repetitivas facilitan la recuperación de la energía elástica de recobro y contribuyen a las fases de acoplamiento del ciclo de estiramiento-acortamiento (SSC) [15,16].

(2) *Absorción de energía cinética*: Actividades que típicamente dan como resultado la desaceleración de la velocidad de la articulación angular durante los movimientos no balísticos. Estas actividades dan como resultado la producción de fuerza excéntrica y la absorción de energía cinética que se disipa en forma de calor [4,17].



Figura 1. La mecánica de los músculos y tendones durante acciones musculares excéntricas refleja un amortiguador en serie con un resorte. El estiramiento rápido de músculos y tendones en la fase de carga de un salto vertical produce el recobro de energía elástica almacenada que se libera durante la fase de vuelo del movimiento (es decir, la extensión del resorte). Por el contrario, el descenso de escaleras a la velocidad habitual normalmente da como resultado la desaceleración del movimiento de la articulación durante la fase de descenso controlado del descenso-ascenso de la escalera con la absorción de la energía elástica de recobro perdida como calor (es decir, absorción a través del amortiguador). Estas características de músculos y tendones están influenciadas por la velocidad de movimiento, la magnitud de la fuerza y la rigidez del tejido. Figura adaptada de Lindstedt y cols. [1].

En consecuencia, es fundamental que la interpretación general de los hallazgos de las revisiones de la literatura, los comentarios y los estudios de meta-análisis consideren estas distintas categorías de ejercicio excéntrico y no sólo parámetros como la carga de trabajo, la frecuencia o el volumen (Figura 2). Los parámetros de programación convencionales siguen siendo esenciales para caracterizar los regímenes de ejercicio excéntrico [10]. Sin embargo, las características temporales de la activación muscular durante las acciones musculares excéntricas y la velocidad de movimiento de la actividad del ejercicio dado también impulsan las demandas impuestas a la MTU e influyen sobre las adaptaciones fisiológicas esperadas en respuesta al ejercicio excéntrico [9,10,15,18]. Los comentaristas anteriores han reconocido que los ejercicios excéntricos que implican la desaceleración de cargas externas son ideales para el desarrollo de la capacidad de fuerza máxima y explosiva en atletas como los esquiadores alpinos [15]. El ejercicio excéntrico que implica la desaceleración de cargas externas también se ha utilizado para la rehabilitación de personas con afecciones musculoesqueléticas crónicas [10]. Por el contrario, los ejercicios que involucran una aceleración máxima y una activación muscular excéntrica rápida, como los ejercicios pliométricos, involucran adaptaciones del SSC que son favorables para eventos atléticos que involucran carreras de velocidad, saltos y otras maniobras explosivas [16].



Figura 2. Los métodos de ejercicio que se focalizan en las acciones musculares excéntricas pueden clasificarse según la tarea de movimiento general y la función de la energía cinética. Las actividades de ejercicio excéntrico definidas por el almacenamiento y

recuperación de energía cinética (por ej., recobro de energía elástica) o la absorción de energía cinética, pueden constituir distintas formas de ejercicio excéntrico con diferentes adaptaciones fisiológicas. Figura adaptada de Harris-Love y cols. [10] y Vogt y Hoppeler [15] (SSC, ciclo de estiramiento-acortamiento; rad, radianes).

Las revisiones recientes de Suchomel y cols. [19,20] son instructivos con respecto a la consideración de modos de ejercicio excéntrico en función de los objetivos del rendimiento físico, el estado de entrenamiento individual y las demandas y limitaciones del ejercicio. Los autores destacan que la absorción de energía cinética y el estímulo de sobrecarga resultante aplicado a la MTU difieren con los diversos modos de ejercicio excéntrico que incluyen: el entrenamiento excéntrico con *tempo*, entrenamiento con sobrecarga en dispositivo *flywheel*, carga excéntrica acentuada y entrenamiento pliométrico [20]. En consecuencia, las adaptaciones inducidas por el ejercicio sobre la hipertrofia muscular, la producción de fuerza máxima y la potencia varían con los diferentes métodos de entrenamiento excéntrico (Tabla 1).

Tabla 1. Resumen de los efectos subyacentes del entrenamiento excéntrico que pueden beneficiar la hipertrofia, la fuerza y la producción de potencia. Las flechas representan un aumento (o disminución) en el resultado específico de interés en respuesta al entrenamiento excéntrico.



Es bien sabido que el entrenamiento pliométrico induce adaptaciones fisiológicas que enfatizan el desarrollo de la potencia muscular máxima [16,19], mientras que el entrenamiento con sobrecarga por medio del dispositivo *flywheel* y el entrenamiento excéntrico con tempo pueden ser relativamente ventajosos para aumentar la hipertrofia muscular [19,21]. Suchomel y cols. y otros autores [19,20,22] señalan correctamente que las actividades deportivas normalmente incorporan una combinación de acciones musculares tanto concéntricas como excéntricas, y que algunos modos de ejercicio con un componente significativo de alargamiento muscular activo pueden aplicarse a lo largo de un continuo de almacenamiento y absorción de energía cinética [19]. Las características de las fases de acción muscular concéntrica y excéntrica se acoplan a la carga excéntrica acentuada con una mayor carga durante el alargamiento muscular activo [19,23]. La fase concéntrica ininterrumpida junto con la fase de sobrecarga excéntrica permiten tanto grandes magnitudes de tensión mecánica como aumentos potenciales en la tasa excéntrica de desarrollo de la fuerza [19,20]. Se necesitan estudios adicionales para comprender mejor las ventajas neuromusculares y funcionales de la carga excéntrica acentuada en comparación con el ejercicio de fuerza progresivo tradicional. Además, se necesita más evidencia para determinar el estímulo excéntrico óptimo a emplear en relación con los niveles de fuerza individuales. Sin embargo, la evidencia preliminar sugiere que la carga excéntrica acentuada es un modo versátil de ejercicio que puede tener valor en el desarrollo de la hipertrofia muscular, la fuerza máxima y la potencia [19].

EL EJERCICIO EXCÉNTRICO COMO INTERVENCIÓN TERAPÉUTICA

El uso del ejercicio excéntrico como intervención terapéutica ha ganado una mayor aceptación con el tiempo [3,4,10,11], con aplicaciones tempranas empleadas para tratar tendinopatías [7] y expandiéndose gradualmente a estudios de viabilidad y eficacia que involucran una variedad de afecciones crónicas [9,24]. Esta transición se ha caracterizado por el uso aplicado del historial de acción muscular para mitigar los posibles efectos adversos de la sobrecarga excéntrica y el enfoque por fases de carga submáxima en poblaciones clínicas e individuos no entrenados [9,10]. Se ha propuesto un enfoque por fases para el ejercicio excéntrico que incluye fases de familiarización, acostumbamiento y progresión para personas con enfermedades crónicas [10,25]. Las bajas cargas de trabajo iniciales y las velocidades de movimiento permiten que las personas no entrenadas que no conocen los estímulos de sobrecarga excéntrica o están limitadas por condiciones crónicas, disminuyan significativamente la variabilidad del rendimiento motor durante una fase de familiarización que incluye 2 o 3 sesiones de ejercicio [10]. Además, se ha demostrado que el uso de una fase de acostumbamiento de 1 a 2 semanas permite a los participantes con osteoartritis de rodilla significativa participar en cargas de trabajo de flexión/extensión de rodilla isocinética progresivamente más altas sin eventos adversos secundarios a la intervención [10,26]. De manera similar, la incorporación de un enfoque por fases en adultos mayores con enfermedad renal crónica de moderada a grave permitió la identificación y la progresión de la producción de potencia cuando se usa el ejercicio de fuerza con *flywheel* para provocar una sobrecarga excéntrica [27]. Si bien los atletas y otras personas físicamente activas pueden aclimatarse rápidamente a una tarea de ejercicio novedosa que enfatiza el alargamiento muscular activo, el perfil de riesgo de lesiones y el curso temporal de las adaptaciones de la MTU inducidas por el ejercicio difieren para las poblaciones clínicas [25,28]. De hecho, la historia de la acción muscular caracterizada por una alta producción de fuerza da como resultado un mayor daño muscular inducido por el ejercicio y períodos más prolongados del efecto protector repetido [29,30,31]. Sin embargo, las personas con condiciones crónicas pueden requerir fuerzas relativamente más bajas durante un período de tiempo más largo para inducir un efecto de serie repetida suficiente para participar en un ejercicio excéntrico de mayor intensidad. El trabajo fundamental sobre el uso del ejercicio excéntrico como una forma de intervención terapéutica incluye un estudio realizado por Meyer y cols. [32] sobre la implementación efectiva de un régimen de ciclismo excéntrico para personas con enfermedad de las arterias coronarias (CAD). Los participantes del estudio con CAD en el grupo de ciclismo excéntrico completaron más de un 300% más de trabajo total en comparación con los participantes que estaban en el grupo de ciclismo concéntrico. A pesar de la magnitud de esta diferencia, los dos grupos exhibieron respuestas hemodinámicas similares al ejercicio [32]. Se ha demostrado el uso seguro del ejercicio excéntrico en personas con una amplia gama de afecciones, incluidas la enfermedad de Parkinson, las afecciones artríticas, la enfermedad pulmonar y la enfermedad muscular inflamatoria [9,24,25]. Los investigadores informaron una mayor movilidad en una muestra de adultos mayores que vivían en la comunidad al completar un programa de ergometría excéntrica [33], y se observaron mejoras en la velocidad de la marcha después del régimen en personas con

osteoartritis de rodilla (OA) que participaron en ejercicios de fuerza concéntricos y excéntricos combinados [34]. Sin embargo, una investigación reciente que comparó el ejercicio de fortalecimiento excéntrico acentuado con el ejercicio de fortalecimiento estándar para personas con artrosis de rodilla sugirió que no hubo diferencias en los resultados funcionales entre los dos grupos de ejercicios [35].

Si bien la eficacia de las acciones musculares excéntricas utilizadas como intervenciones terapéuticas a menudo se ve a través de la luz de las adaptaciones musculares, los primeros trabajos aplicados dentro de este campo involucraron el tratamiento de tendinopatías [7,36]. El mecanismo de remodelamiento del tejido tendinoso secundario al ejercicio excéntrico incluye la respuesta de los tenocitos a la tensión que da como resultado adaptaciones tales como una mayor síntesis de colágeno y una morfología normalizada del colágeno [36,37]. Estas adaptaciones pueden ser facilitadas a través de la regulación ascendente al ejercicio del factor de crecimiento transformador- β -1 (TGF- β -1), factor de crecimiento como la insulina-1Ea (IGF-1Ea) y factor de crecimiento mecánico (MGF), así como colágeno tipo 1 y tipo 3 [37]. Los elementos de la prescripción del ejercicio excéntrico, como velocidades de movimiento más lentas y cargas de trabajo relativamente altas, pueden afectar la magnitud de las adaptaciones del tejido del tendón después del ejercicio. El trabajo de Quinlan y cols. [37] destaca que las adaptaciones del tejido tendinoso a un estímulo de ejercicio excéntrico son proporcionales a la magnitud de la carga de trabajo y a la tensión. Además, se ha observado que los regímenes de ejercicio que involucran cargas de trabajo relativamente bajas son comparativamente menos efectivos para inducir adaptaciones del tejido del tendón que las rutinas que incorporan cargas de trabajo más altas [37,38]. Sin embargo, quedan dudas sobre si la naturaleza de las acciones musculares excéntricas confiere algún beneficio sobre las acciones musculares concéntricas, además de la magnitud de la carga de trabajo, cuando se emplea el ejercicio terapéutico para tratar las tendinopatías. La revisión presentada por Jayaseelan y cols. [36] refleja este punto ya que sus hallazgos sugirieron que las intervenciones de ejercicio excéntrico para las tendinopatías demuestran eficacia en comparación con los grupos de control sin intervención, pero las conclusiones son equívocas cuando se compara el ejercicio excéntrico con otras formas de ejercicio o intervenciones multimodales. En particular, Jayaseelan y sus colegas [36] destacan el modelo continuo de tendinopatía inducida por carga como un enfoque estructurado para determinar el modo de ejercicio ideal en función de la gravedad de la afección y otros factores del paciente [39]. Los autores recomiendan que las primeras fases del *continuum* de recuperación pueden merecer un enfoque más conservador del ejercicio terapéutico, mientras que la rehabilitación de fase tardía orientada hacia el regreso a actividades físicas relativamente exigentes (por ej., correr y saltar) se beneficiaría de la integración del ejercicio excéntrico en el tratamiento de tendinopatía [36]. Las investigaciones futuras sobre el uso de ejercicios excéntricos para una variedad de condiciones deberían explorar más a fondo los factores centrados en el paciente y las fases de recuperación para impulsar la selección del modo de ejercicio a lo largo de la atención continua.

EJERCICIO EXCÉNTRICO A LO LARGO DE LA VIDA

El ejercicio de fuerza ofrece numerosos beneficios funcionales y de salud tanto en poblaciones jóvenes como en personas mayores [40,41,42]. A pesar de los beneficios conocidos del ejercicio de fuerza, queda mucho por entender con respecto a la implementación del ejercicio excéntrico en estos individuos. Por ejemplo, el ejercicio excéntrico se percibe como importante para los atletas jóvenes, aunque la evidencia empírica que respalda su aplicación es actualmente limitada [43]. La prevención de lesiones es la razón principal para la inclusión de ejercicios excéntricos en atletas jóvenes seguidos de cambios de dirección, fuerza y potencia, rehabilitación de lesiones e hipertrofia muscular [43]. Según una encuesta realizada a entrenadores deportivos, la decisión de incluir ejercicios excéntricos en un régimen de entrenamiento para atletas jóvenes estuvo más influenciada por (1) la competencia de movimiento, (2) la edad de entrenamiento y (3) el estado de madurez [43]. La magnitud del daño muscular inducido por el ejercicio en respuesta al ejercicio de fuerza excéntrica es menor en los jóvenes en comparación con los adultos más jóvenes, tanto en hombres como en mujeres [44,45,46]. Sin embargo, se requiere más investigación para descubrir los factores que contribuyen a las diferencias en el daño muscular inducido por el ejercicio excéntrico en varios rangos de edad. Además, el efecto de los episodios repetidos está presente en individuos más jóvenes, pero no parece estar influenciado por la edad de maduración [45].

Está bien establecido que la capacidad de generar fuerza disminuye con la edad y contribuye a la reducción de las capacidades funcionales [47,48,49,50]. Curiosamente, las disminuciones asociadas con la edad en la fuerza excéntrica son menores que las observadas para la fuerza concéntrica [51]. El hallazgo de una disminución más lenta de la fuerza excéntrica con el envejecimiento, en combinación con las respuestas neuromusculares únicas a la sobrecarga por alargamiento muscular descritas anteriormente, ha hecho del ejercicio excéntrico una opción de tratamiento atractiva para mantener y/o mejorar la salud neuromuscular y la función física en adultos mayores [21, 37,52]. De manera similar a los hallazgos en la juventud, los adultos mayores experimentan menos daño muscular inducido por el ejercicio en respuesta a la sobrecarga excéntrica en comparación con los adultos más jóvenes [30,53]. Por el contrario, mientras que el efecto de turnos repetidos está presente en los adultos mayores, la magnitud de la respuesta es menor que la observada en los

adultos más jóvenes [30,53]. Los efectos del ejercicio excéntrico en adultos mayores han demostrado mejoras en la estructura del músculo esquelético, la fuerza, la potencia, el equilibrio, el descenso de escaleras y el riesgo de caídas [33,54,55,56,57].

Las revisiones de Kowalchuk y Butcher [21] y Quinlan y cols. [37] destacan la mayor producción de fuerza y el bajo costo energético de las contracciones por alargamiento muscular como justificación para la aplicación del ejercicio excéntrico en adultos mayores. Kowalchuk y Butcher [21] describen los beneficios potenciales del ejercicio de fuerza excéntrica utilizando tecnología de *flywheel* en adultos mayores. Señalan específicamente evidencia preliminar de que el uso de ejercicios de fuerza de sobrecarga excéntrica utilizando dispositivos de *flywheel* por parte de adultos mayores puede resultar en una mejora de la fuerza muscular y de la estabilidad postural [21,58]. Si bien los hallazgos iniciales del uso de ejercicios de fuerza con *flywheel* en adultos mayores parecen prometedores, los autores reconocen la necesidad de realizar más investigaciones debido a la escasez de evidencia actualmente disponible. Además, Quinlan y cols. [37] detallaron las implicaciones potenciales del ejercicio excéntrico en adultos mayores sobre las adaptaciones específicas de los tendones. No está claro si el entrenamiento de la fuerza excéntrica ofrece un estímulo superior para las adaptaciones de los tendones en comparación con el entrenamiento tradicional de la fuerza. Los autores plantean la hipótesis de que el ejercicio excéntrico podría acelerar el curso temporal de las adaptaciones de los tendones debido a la mayor tensión impuesta. Sin embargo, es importante considerar tanto los riesgos como los beneficios potenciales del ejercicio excéntrico cuando se trabaja con una población que envejece. Por ejemplo, someter a adultos mayores a altas cargas excéntricas puede aumentar el potencial de lesiones cuando se aplica a una MTU ya comprometida. Estas preocupaciones pueden mitigarse con la inclusión de un período de aclimatación inicial con cargas más ligeras e ir progresando a cargas excéntricas más altas a medida que la MTU se adapta [9, 10, 59]. En general, el ejercicio excéntrico parece brindar una opción de tratamiento segura para los adultos mayores para mejorar la generación de fuerza y el funcionamiento físico. Se deben tener muy en cuenta la modalidad, la intensidad y la tasa de progresión del ejercicio cuando se prescriban ejercicios excéntricos en adultos mayores para maximizar la tolerancia y el cumplimiento.

INTEGRACIÓN DEL EJERCICIO EXCÉNTRICO EN EL ENTRENAMIENTO DEPORTIVO

Si bien ahora hay evidencia considerable sobre la importancia de altos niveles de fuerza excéntrica para actividades deportivas que requieren aceleración y desaceleración, como los saltos, los sprints y las acciones de cambio de dirección (por ejemplo, cortar y reducir el riesgo de lesiones), la cuestión de cómo el ejercicio excéntrico debe integrarse en el entrenamiento deportivo general es aún menos comprendido. En particular, algunas de las preguntas principales con las que los profesionales pueden lidiar continuamente incluyen: (1) cómo limitar el grado de dolor muscular de inicio tardío y la fatiga después del entrenamiento excéntrico, (2) qué tipo de entrenamiento excéntrico debe usarse con sus atletas a través de diferentes fases del plan de periodización, y (3) cómo una variedad de características del atleta como la edad, el sexo, el deporte y el historial de entrenamiento pueden influir en lo que constituye su forma óptima de entrenamiento excéntrico. Dos artículos recientes han revisado la literatura relevante en un intento de brindar una descripción general de los beneficios potenciales del entrenamiento excéntrico para los deportes de equipo [60] y los atletas jóvenes [46] y brindar algunas recomendaciones prácticas con respecto a la integración del entrenamiento excéntrico en programas de entrenamiento general para estos grupos de atletas.

McNeil y cols. [60] realizaron una revisión sistemática que involucró 14 estudios de atletas de deportes de equipo de baloncesto, fútbol, balonmano o rugby, que realizaron un mínimo de tres semanas de sobrecarga excéntrica o entrenamiento de la fuerza excéntrica acentuado. Estas formas de entrenamiento de fuerza excéntrica generalmente produjeron aumentos moderados (tamaño del efecto = 0.6-1.2) sobre la fuerza muscular, la potencia muscular, la velocidad de sprint y la capacidad de cambio de dirección, con un porcentaje de cambio típicamente mayor para la fuerza muscular y la capacidad de cambio de dirección en comparación con la potencia muscular y la velocidad de sprint [60]. Sin embargo, también debe reconocerse que varios de estos estudios también encontraron cambios triviales o pequeños en estas medidas de los resultados [60]. La equivalencia relativa de algunos de estos resultados sugiere que la investigación futura debería explorar cómo las adaptaciones al entrenamiento excéntrico pueden verse influenciadas por las capacidades excéntricas de referencia de los atletas de deportes de equipo. La investigación adicional también debería abordar cómo las adaptaciones al entrenamiento excéntrico se ven afectadas por variables específicas del entrenamiento (algunas de las cuales no se describieron adecuadamente en los estudios revisados) para caracterizar mejor la respuesta a la dosis del entrenamiento excéntrico. Sin embargo, McNeil y cols. [60] recomiendan que el entrenamiento de la fuerza excéntrica se incluya como un componente de los programas generales de entrenamiento de la fuerza de los atletas de deportes de equipo, con una serie de advertencias. Éstas incluyen:

1) Si bien el entrenamiento con *flywheel* inercial puede ser una forma efectiva de entrenamiento con sobrecarga excéntrica, la magnitud de la fuerza excéntrica máxima está influenciada por el esfuerzo y la intención del alumno, y los alumnos con más experiencia en el entrenamiento con *flywheel* producen una mayor fuerza excéntrica máxima [61]. Esto puede significar que sólo los atletas de deportes de equipo entrenados en fuerza con experiencia en el entrenamiento con *flywheel* podrían producir suficiente sobrecarga excéntrica y, por lo tanto, beneficiarse del uso de esta forma de entrenamiento. Sin embargo, también puede significar que dicho entrenamiento podría ser una forma útil de introducir el entrenamiento excéntrico de menor intensidad a los atletas más jóvenes o aquellos con menos experiencia en el entrenamiento de la fuerza.

2) Existe la posibilidad de una especificidad de la velocidad del entrenamiento excéntrico (Figura 2), en el que el entrenamiento excéntrico de alta velocidad puede proporcionar un mejor estímulo de entrenamiento para actividades que involucran acciones excéntricas rápidas como correr y saltar que el entrenamiento excéntrico de baja velocidad. Sin embargo, incluso si existe esta especificidad de velocidad, aún puede ser útil prescribir una variedad de ejercicios excéntricos que involucren acciones musculares más lentas y más rápidas para mejorar las capacidades de movimiento de los atletas de deportes de equipo.

Drury y cols. [46] realizaron una revisión narrativa para determinar la aplicación potencial del entrenamiento de fuerza excéntrico para atletas jóvenes y cómo podría utilizarse mejor como un componente de su desarrollo atlético a largo plazo. Esta revisión resumió una serie de respuestas neuromusculares y metabólicas al ejercicio excéntrico en la juventud, incluido el efecto de turnos repetidos que pueden ser factores importantes a considerar cuando se busca incorporar el entrenamiento excéntrico para esta población [46]. Debido al potencial de fatiga, daño muscular o lesión con alta sobrecarga excéntrica, la revisión también examinó cómo el entrenamiento de fuerza excéntrica puede influir en la fatiga y el daño muscular en atletas jóvenes [46]. Según los 12 estudios identificados que evaluaron la fatiga y el daño muscular asociados con el entrenamiento excéntrico, parece que los atletas jóvenes experimentaron menos daño muscular inducido por el ejercicio después del ejercicio excéntrico que los adultos [46]. (Consulte la Sección **Ejercicio excéntrico a lo largo de la vida** para obtener comentarios adicionales sobre los factores de vida asociados con el entrenamiento excéntrico). Sobre la base de esta seguridad relativa y los beneficios demostrados del entrenamiento excéntrico para atletas jóvenes [62,63], Drury y cols. [46] han hecho las siguientes recomendaciones sobre la mejor manera de incluir diferentes formas de entrenamiento de la fuerza excéntrica en los planes de entrenamiento de desarrollo atlético a largo plazo de atletas jóvenes:

1. Práctica consistente de tareas de saltos y rebotes progresivamente más exigentes por parte de los atletas, en las que se enfatiza la mecánica de la caída. Este enfoque en la mecánica de la caída/aterrizaje es importante para que los atletas desarrollen la capacidad de absorber fuerzas excéntricas y mejorar su rendimiento de movimiento. Este enfoque facilita la mejora de la seguridad y el rendimiento de las habilidades motoras complejas involucradas en tareas específicas deportivas.
2. Se debe enfatizar el desarrollo de la fuerza excéntrica de los isquiotibiales para mejorar el rendimiento de los atletas jóvenes al correr y saltar y reducir el riesgo de lesiones mientras realizan estas tareas motrices. Dicho entrenamiento podría incluir el *curl* nórdico de isquiotibiales, así como más ejercicios de isquiotibiales dominantes de extensores de cadera, como extensiones de cadera de 45°. Todos estos ejercicios excéntricos de isquiotibiales pueden aumentar significativamente la fuerza excéntrica y la longitud de los fascículos musculares [64], con tales adaptaciones relacionadas con reducciones sustanciales en el riesgo de lesión de los isquiotibiales [65].
3. El entrenamiento con *flywheel* inercial es otra opción para aumentar la fuerza excéntrica de los atletas jóvenes, y algunos estudios demuestran que tales ejercicios produjeron mejoras significativas en la capacidad de salto, carrera y cambio de dirección de los atletas jóvenes. Sin embargo, el ejercicio con *flywheel* inercial de baja intensidad debe realizarse inicialmente utilizando *flywheel* con discos de menor inercia que las utilizadas con atletas adultos en el mismo deporte.

También fue evidente que Drury y cols. [46] fueron conscientes de que tales recomendaciones de entrenamiento deben coincidir con el nivel de desarrollo y el historial de entrenamiento del atleta. Así, Drury y cols. [46] proporcionaron recomendaciones prácticas adicionales sobre la mejor manera de incorporar y progresar estas formas de ejercicio excéntrico durante la maduración de los atletas jóvenes antes, durante y después de la velocidad pico de altura. Si se siguen tales progresiones en la selección de ejercicios, la carga, las series, las repeticiones y la velocidad del movimiento, entonces parece que estas formas de entrenamiento excéntrico pueden incorporarse de manera segura en el proceso de desarrollo de los atletas jóvenes y generar mejores resultados de rendimiento.

CONCLUSIONES

El propósito de esta revisión narrativa es proporcionar una breve descripción de las adaptaciones de músculos y tendones al ejercicio de fuerza excéntrica y considerar las aplicaciones de esta forma de entrenamiento en entornos de rehabilitación y rendimiento deportivo. Los artículos clave presentados en este trabajo son de colaboradores del número especial de *Journal of Functional Morphology and Kinesiology* titulado "*Eccentric Exercise: Adaptations and Applications for Health and Performance*". Este número especial presenta un total de 8 artículos, que abarcan 28 afiliaciones diferentes, con autores de 7 países diferentes que abarcan Europa, Australia y América del Norte.

Los números de revistas especiales recientes y las revisiones sistemáticas sobre el ejercicio excéntrico se han centrado en los mecanismos asociados con las adaptaciones de los tejidos a los estímulos por alargamiento muscular activos crónicos, el control espinal y supraespinal de las acciones musculares excéntricas, los biomarcadores del daño posterior por acción muscular excéntrica, el uso del entrenamiento con ejercicios excéntricos para propósitos de rehabilitación, y el bajo gasto de energía en relación con la producción de fuerza durante las acciones musculares excéntricas [3,15,22,24,66]. Estos trabajos recientes aceptan uniformemente la premisa de que "la doctrina primitiva que defendía a los excéntricos como peligrosos y sin utilidad clínica ahora ha sido reemplazada" [4]. De hecho, se reconoce ampliamente un enfoque por etapas para integrar el ejercicio excéntrico en los regímenes de ejercicio terapéutico o en los planes de entrenamiento específicos del deporte que involucra el manejo de la carga de trabajo, la velocidad del movimiento y el efecto de la serie repetida [4,9,10,11,15,33,46,59]. Sin embargo, una opinión compartida en revisiones recientes es que faltan recomendaciones o pautas comunes para el ejercicio excéntrico [4,10,22]. Esta crítica debe compararse con el gran desafío de generar recomendaciones específicas de ejercicios excéntricos en una amplia variedad de condiciones patológicas o necesidades específicas del deporte. Más bien, el uso de ejercicios excéntricos para poblaciones de pacientes debe estar impulsado por marcos a nivel de paciente, como el modelo continuo de tendinopatía inducida por carga, tal como lo transmiten Jayaseelan y cols. [36] y enfoques específicos de rehabilitación para la familiarización con el ejercicio excéntrico y la inducción del efecto de serie repetida según lo propuesto por los autores y otros investigadores [10,59].

La dirección racional para un uso más amplio del ejercicio excéntrico con poblaciones atléticas puede tomarse de los trabajos de Drury y cols. [46] y McNeil y cols. [60]. Reforzar las acciones musculares excéntricas utilizadas en la aplicación funcional de tareas progresivas de rebotes y saltos, junto con el entrenamiento de fuerza excéntrica utilizando velocidades de movimiento consistentes con tareas específicas del deporte, son principios sólidos de una programación de ejercicios para emplear en una variedad de entornos deportivos [46]. La modalidad de ejercicio excéntrico que se aplica complica aún más el desafío de establecer pautas de prescripción ampliamente aceptadas en varias poblaciones. La revisión en dos partes de Suchomel y cols. [19,20] destaca las diferencias metodológicas y las implicaciones prácticas del entrenamiento excéntrico con *tempo*, el entrenamiento inercial con *flywheel*, la carga excéntrica acentuada y el entrenamiento pliométrico.

Del mismo modo, las revisiones de Kowalchuk y Butcher [21] y Quinlan y cols. [37] amplían la discusión del ejercicio excéntrico en adultos mayores para incluir la aplicación del entrenamiento inercial con *flywheel* y consideraciones para las adaptaciones de los tendones. En conjunto, el número especial del *Journal of Functional Morphology and Kinesiology* titulado "*Eccentric Exercise: Adaptations and Applications for Health and Performance*" se suma a una creciente literatura que respalda el ejercicio excéntrico como una opción viable a lo largo de la vida y en el rendimiento deportivo para mejorar las características de la fuerza, la prevención de lesiones y mejora de la capacidad funcional. Es importante destacar que, a pesar de los hallazgos positivos descritos en este número especial, varias preguntas clave siguen sin respuesta con respecto a la aplicación del ejercicio excéntrico, lo que subraya la necesidad de una mayor investigación.

Financiamiento

Este proyecto fue posible gracias al apoyo de la subvención proporcionado por el programa *VA Historically Black Colleges and Universities Research Scientist Training Program* (VA-HBCU RSTP; IK2RX001854) y el *Career Development Program* (CDA-2; IK2RX003423) del *Rehabilitation Research and Development Service at the VA Office of Research and Development*. Todas las opiniones o recomendaciones expresadas en esta publicación pertenecen a los autores y no reflejan necesariamente el punto de vista del *U.S. Department of Veterans Affairs* or the *U.S. Department of Health and Human Services*.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflicto de intereses. Los patrocinadores de la financiación no tuvieron ningún rol en la redacción del manuscrito, la interpretación de los datos o la decisión de publicar el artículo.

REFERENCIAS

1. Lindstedt S.L., LaStayo P.C., Reich T.E. (2001). When active muscles lengthen: Properties and consequences of eccentric contractions. *Physiology*. 2001;16:256-261. doi: 10.1152/physiologyonline.2001.16.6.256.
2. Alcazar J., Csapo R., Ara I., Alegre L.M. (2019). On the shape of the force-velocity relationship in skeletal muscles: The linear, the hyperbolic, and the double-hyperbolic. *Front. Physiol.* 2019;10:769. doi: 10.3389/fphys.2019.00769.
3. Franchi M.V., Reeves N.D., Narici M.V. (2017). Skeletal muscle remodeling in response to eccentric vs. concentric loading: Morphological, molecular, and metabolic adaptations. *Front. Physiol.* 2017;8:447. doi: 10.3389/fphys.2017.00447.
4. Nishikawa K.C., Lindstedt S.L., LaStayo P.C. (2018). Basic science and clinical use of eccentric contractions: History and uncertainties. *J. Sport Health Sci.* 2018;7:265-274. doi: 10.1016/j.jshs.2018.06.002.
5. Yao W.X., Li J., Jiang Z., Gao J.-H., Franklin C.G., Huang Y., Lancaster J.L., Yue G.H. (2014). Aging interferes central control mechanism for eccentric muscle contraction. *Front. Aging Neurosci.* 2014;6 doi: 10.3389/fnagi.2014.00086.
6. Huijing P.A., Baan G.C. (2003). Myofascial force transmission: Muscle relative position and length determine agonist and synergist muscle force. *J. Appl. Physiol.* 2003;94:1092-1107. doi: 10.1152/jappphysiol.00173.2002.]
7. Murtaugh B., Ihm J.M. (2013). Eccentric training for the treatment of tendinopathies. *Curr. Sports Med. Rep.* 2013;12:175-182. doi: 10.1249/JSR.0b013e3182933761.
8. Buckthorpe M., Wright S., Bruce-Low S., Nanni G., Sturdy T., Gross A.S., Bowen L., Styles B., Della Villa S., Davison M., et al. (2019). Recommendations for hamstring injury prevention in elite football: Translating research into practice. *Br. J. Sports Med.* 2019;53:449-456. doi: 10.1136/bjsports-2018-099616.
9. Hoppeler H. (2016). Moderate load eccentric exercise: A distinct novel training modality. *Front. Physiol.* 2016;7:483. doi: 10.3389/fphys.2016.00483.
10. Harris-Love M.O., Seamon B.A., Gonzales T.I., Hernandez H.J., Pennington D., Hoover B.M. (2017). Eccentric exercise program design: A periodization model for rehabilitation applications. *Front. Physiol.* 2017;8:1-16. doi: 10.3389/fphys.2017.00112.
11. Hody S., Croisier J.-L., Bury T., Rogister B., Leprince P. (2019). Eccentric muscle contractions: Risks and benefits. *Front. Physiol.* 2019;10:536. doi: 10.3389/fphys.2019.00536.
12. Nishikawa K. (2016). Eccentric contraction: Unraveling mechanisms of force enhancement and energy conservation. *J. Exp. Biol.* 2016;219:189-196. doi: 10.1242/jeb.124057.
13. Lindstedt S.L., Reich T.E., Keim P., LaStayo P.C. (2002). Do muscles function as adaptable locomotor springs? *J. Exp. Biol.* 2002;205:2211-2216. doi: 10.1242/jeb.205.15.2211.
14. Reich T.E., Lindstedt S.L., LaStayo P.C., Pierotti D.J. (2000). Is the spring quality of muscle plastic? *Am. J. Physiol.* 2000;278:R1661-R1666. doi: 10.1152/ajpregu.2000.278.6.R1661.
15. Vogt M., Hoppeler H.H. (2014). Eccentric exercise: Mechanisms and effects when used as training regime or training adjunct. *J. Appl. Physiol.* 2014;116:1446-1454. doi: 10.1152/jappphysiol.00146.2013.
16. Davies G., Riemann B.L., Manske R. (2015). Current concepts of plyometric exercise. *Int. J. Sports Phys. Ther.* 2015;10:760-786.
17. Zhang S.N., Bates B.T., Dufek J.S. (2000). Contributions of lower extremity joints to energy dissipation during landings. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2000;32:812-819. doi: 10.1097/00005768-200004000-00014.
18. Reeves N.D., Maganaris C.N., Longo S., Narici M.V. (2009). Differential adaptations to eccentric versus conventional resistance training in older humans. *Exp. Physiol.* 2009;94:825-833. doi: 10.1113/expphysiol.2009.046599.
19. Suchomel T.J., Wagle J.P., Douglas J., Taber C.B., Harden M., Haff G.G., Stone M.H. (2019). Implementing eccentric resistance training—Part 2: Practical recommendations. *J. Funct. Morphol. Kinesiol.* 2019;4:55. doi: 10.3390/jfmk4030055.
20. Suchomel T.J., Wagle J.P., Douglas J., Taber C.B., Harden M., Haff G.G., Stone M.H. (2019). Implementing eccentric resistance training—Part 1: A brief review of existing methods. *J. Funct. Morphol. Kinesiol.* 2019;4:38. doi: 10.3390/jfmk4020038.
21. Kowalchuk K., Butcher S. (2019). Eccentric overload flywheel training in older adults. *J. Funct. Morphol. Kinesiol.* 2019;4:61. doi: 10.3390/jfmk4030061.
22. Hoppeler H., Herzog W. (2014). Eccentric exercise: Many questions unanswered. *J. Appl. Physiol.* 2014;116:1405-1406. doi: 10.1152/jappphysiol.00239.2014.
23. 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. *Front. Physiol.* 2016;7:149. doi: 10.3389/fphys.2016.00149.
24. Roig M., Shadgan B., Reid W.D. (2008). Eccentric exercise in patients with chronic health conditions: A systematic review. *Physiother. Can.* 2008;60:146-160. doi: 10.3138/physio.60.2.146.
25. Harris-Love M.O. (2005). Safety and efficacy of submaximal eccentric strength training for a subject with polymyositis. *Arthritis Care Res. Off. J. Am. Coll. Rheumatol.* 2005;53:471-474. doi: 10.1002/art.21185.
26. Hernandez H.J., McIntosh V., Leland A., Harris-Love M.O. (2015). Progressive resistance exercise with eccentric loading for the management of knee osteoarthritis. *Front. Med.* 2015;2:45. doi: 10.3389/fmed.2015.00045.
27. Gollie J.M., Patel S.S., Scholten J.D., Harris-Love M.O. (2020). Preliminary study of the effects of eccentric-overload resistance exercise on physical function and torque capacity in chronic kidney disease. *J. Funct. Morphol. Kinesiol.* 2020;5:97. doi: 10.3390/jfmk5040097.
28. Lovering R.M., Brooks S.V. (2014). Eccentric exercise in aging and diseased skeletal muscle: Good or bad? *J. Appl. Physiol.* 2014;116:1439-1445. doi: 10.1152/jappphysiol.00174.2013.
29. Parr J.J., Yarrow J.F., Garbo C.M., Borsa P.A. (2009). Symptomatic and functional responses to concentric-eccentric isokinetic versus eccentric-only isotonic exercise. *J. Athl. Train.* 2009;44:462-468. doi: 10.4085/1062-6050-44.5.462.
30. Lavender A.P., Nosaka K. (2006). Comparison between old and young men for changes in makers of muscle damage following voluntary eccentric exercise of the elbow flexors. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 2006;31:218-225. doi: 10.1139/h05-028.

31. Lima L.C.R., Denadai B.S. (2015). Attenuation of eccentric exercise-induced muscle damage conferred by maximal isometric contractions: A mini review. *Front. Physiol.* 2015;6 doi: 10.3389/fphys.2015.00300.
32. Meyer K., Steiner R., Lastayo P., Lippuner K., Allemann Y., Eberli F., Schmid J., Saner H., Hoppeler H. (2003). Eccentric exercise in coronary patients: Central hemodynamic and metabolic responses. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2003;35:1076-1082. doi: 10.1249/01.MSS.0000074580.79648.9D.
33. LaStayo P.C., Ewy G.A., Pierotti D.D., Johns R.K., Lindstedt S. (2003). The positive effects of negative work: Increased muscle strength and decreased fall risk in a frail elderly population. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 2003;58:M419-M424. doi: 10.1093/gerona/58.5.M419.
34. Gur H., Cakin N., Akova B., Okay E., Kucukoglu S. (2002). Concentric versus combined concentric-eccentric isokinetic training: Effects on functional capacity and symptoms in patients with osteoarthritis of the knee. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2002;83:308-316. doi: 10.1053/apmr.2002.30620.
35. Vincent K.R., Vincent H.K. (2020). Concentric and eccentric resistance training comparison on physical function and functional pain outcomes in knee osteoarthritis: A randomized controlled trial. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* 2020;99:932-940. doi: 10.1097/PHM.0000000000001450.
36. Jayaseelan D.J., Mischke J.J., Strazzulla R.L. (2019). Eccentric exercise for achilles tendinopathy: A narrative review and clinical decision-making considerations. *J. Funct. Morphol. Kinesiol.* 2019;4:34. doi: 10.3390/jfmk4020034.
37. Quinlan J.I., Narici M.V., Reeves N.D., Franchi M.V. (2019). Tendon adaptations to eccentric exercise and the implications for older adults. *J. Funct. Morphol. Kinesiol.* 2019;4:60. doi: 10.3390/jfmk4030060.
38. Grosset J.-F., Breen L., Stewart C.E., Burgess K.E., Onambélé G.L. (2014). Influence of exercise intensity on training-induced tendon mechanical properties changes in older individuals. *AGE.* 2014;36:9657. doi: 10.1007/s11357-014-9657-9.
39. Cook J.L., Purdam C.R. (2009). Is Tendon pathology a continuum? A pathology model to explain the clinical presentation of load-induced tendinopathy. *Br. J. Sports Med.* 2009;43:409-416. doi: 10.1136/bjsm.2008.051193.
40. Faigenbaum A.D., Kraemer W.J., Blimkie C.J.R., Jeffreys L., Micheli L.J., Nitka M., Rowland T.W. (2009). Youth resistance training: Updated position statement paper from the National Strength and Conditioning Association. *J. Strength Cond. Res.* 2009;23:S60-S79. doi: 10.1519/JSC.0b013e31819df407.
41. 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. *J. Strength Cond. Res.* 2019;33:2019-2052. doi: 10.1519/JSC.0000000000003230.
42. Garber C.E., Blissmer B., Deschenes M.R., Franklin B.A., Lamonte M.J., Lee I.-M., Nieman D.C., Swain D.P. (2011). American College of Sports Medicine Position Stand Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for prescribing exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2011;43:1334-1359. doi: 10.1249/MSS.0b013e318213febf.
43. Drury B., Clarke H., Moran J., Fernandes J.F.T., Henry G., Behm D.G. (2021). Eccentric resistance training in youth: A survey of perceptions and current practices by strength and conditioning coaches. *J. Funct. Morphol. Kinesiol.* 2021;6:21. doi: 10.3390/jfmk6010021.
44. Chen T.C., Chen H.-L., Liu Y.-C., Nosaka K. (2014). Eccentric exercise-induced muscle damage of pre-adolescent and adolescent boys in comparison to young men. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2014;114:1183-1195. doi: 10.1007/s00421-014-2848-3.
45. Lin M.-J., Nosaka K., Ho C.-C., Chen H.-L., Tseng K.-W., Ratel S., Chen T.C.-C. (2017). Influence of maturation status on eccentric exercise-induced muscle damage and the repeated bout effect in females. *Front. Physiol.* 2017;8:1118. doi: 10.3389/fphys.2017.01118.
46. Drury B., Ratel S., Clark C.C.T., Fernandes J.F.T., Moran J., Behm D.G. (2019). Eccentric resistance training in youth: Perspectives for long-term athletic development. *J. Funct. Morphol. Kinesiol.* 2019;4:70. doi: 10.3390/jfmk4040070.
47. Hunter S.K., Pereira H.M., Keenan K.G. (2016). The aging neuromuscular system and motor performance. *J. Appl. Physiol.* 2016;121:982-995. doi: 10.1152/jappphysiol.00475.
48. Delmonico M.J., Harris T.B., Visser M., Park S.W., Conroy M.B., Velasquez-Mieyer P., Boudreau R., Manini T.M., Nevitt M., Newman A.B., et al. (2009). Longitudinal study of muscle strength, quality, and adipose tissue infiltration. *Am. J. Clin. Nutr.* 2009;90:1579-1585. doi: 10.3945/ajcn.2009.28047.
49. Venturelli M., Reggiani C., Richardson R.S., Schena F. (2018). Skeletal muscle function in the oldest-old: The role of intrinsic and extrinsic factors. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 2018;46:188-194. doi: 10.1249/JES.0000000000000155.
50. 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. *Front. Physiol.* 2012;3:260. doi: 10.3389/fphys.2012.00260.
51. Roig M., Macintyre D.L., Eng J.J., Narici M.V., Maganaris C.N., Reid W.D. (2010). Preservation of eccentric strength in older adults: Evidence, mechanisms and implications for training and rehabilitation. *Exp. Gerontol.* 2010;45:400-409. doi: 10.1016/j.exger.2010.03.008.
52. Gluchowski A., Harris N., Dulson D., Cronin J. (2015). Chronic eccentric exercise and the older adult. *Sports Med.* 2015;45:1413-1430. doi: 10.1007/s40279-015-0373-0.
53. Lavender A.P., Nosaka K. (2006). Responses of old men to repeated bouts of eccentric exercise of the elbow flexors in comparison with young men. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2006;97:619-626. doi: 10.1007/s00421-006-0224-7.
54. Gault M.L., Clements R.E., Willems M.E.T. (2012). Functional mobility of older adults after concentric and eccentric endurance exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2012;112:3699-3707. doi: 10.1007/s00421-012-2338-4.
55. Kay A.D., Blazevich A.J., Fraser M., Ashmore L., Hill M.W. (2020). Isokinetic eccentric exercise substantially improves mobility, muscle strength and size, but not postural sway metrics in older adults, with limited regression observed following a detraining period. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2020;120:2383-2395. doi: 10.1007/s00421-020-04466-7.
56. Reidy P.T., Lindsay C.C., McKenzie A.I., Fry C.S., Supiano M.A., Marcus R.L., LaStayo P.C., Drummond M.J. (2018). Aging-related effects of bed rest followed by eccentric exercise rehabilitation on skeletal muscle macrophages and insulin sensitivity.

Exp. Gerontol. 2018;107:37-49. doi: 10.1016/j.exger.2017.07.001.

57. 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. *J. Biomech.* 2008;41:3133-3138. doi: 10.1016/j.jbiomech.2008.09.004.
58. 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. J. Sports Sci. Med.* 2019;18:344-350.
59. LaStayo P., Marcus R., Dibble L., Frajacom F., (2014). Lindstedt S. *Eccentric exercise in rehabilitation: Safety, feasibility, and application. J. Appl Physiol.* 2014;116:1426-1434. doi: 10.1152/jappphysiol.00008.2013.
60. McNeill C., Beaven C.M., McMaster D.T., Gill N. (2019). Eccentric training interventions and team sport athletes. *J. Funct. Morphol. Kinesiol.* 2019;4:67. doi: 10.3390/jfmk4040067.
61. Tous-Fajardo J., Maldonado R.A., Quintana J.M., Pozzo M., Tesch P.A. (2006). The flywheel leg-curl machine: Offering eccentric overload for hamstring development. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2006;1:293-298. doi: 10.1123/ijsp.1.3.293.
62. Granacher U., Lesinski M., Büsch D., Muehlbauer T., Prieske O., Puta C., Gollhofer A., Behm D.G. (2016). Effects of resistance training in youth athletes on muscular fitness and athletic performance: A conceptual model for long-Term athlete development. *Front. Physiol.* 2016;7 doi: 10.3389/fphys.2016.00164.
63. Behm D.G., Young J.D., Whitten J.H.D., Reid J.C., Quigley P.J., Low J., Li Y., Lima C.D., Hodgson D.D., Chaouachi A., et al. (2017). Effectiveness of traditional strength vs. power training on muscle strength, power and speed with youth: A systematic review and meta-analysis. *Front. Physiol.* 2017;8:423. doi: 10.3389/fphys.2017.00423.
64. Bourne M.N., Duhig S.J., Timmins R.G., Williams M.D., Opar D.A., Al Najjar A., Kerr G.K., Shield A.J. (2017). Impact of the Nordic hamstring and hip extension exercises on hamstring architecture and morphology: Implications for injury prevention. *Br. J. Sports Med.* 2017;51:469-477. doi: 10.1136/bjsports-2016-096130.
65. Bourne M.N., Timmins R.G., Opar D.A., Pizzari T., Ruddy J.D., Sims C., Williams M.D., Shield A.J. (2018). An evidence-based framework for strengthening exercises to prevent hamstring injury. *Sports Med.* 2018;48:251-267. doi: 10.1007/s40279-017-0796-x.
66. Herzog W. (2018). The Mysteries of eccentric muscle action. *J. Sport Health Sci.* 2018;7:253-254. doi: 10.1016/j.jshs.2018.05.006.

Cita Original

Harris-Love, M. O., Gollie, J. M., Keogh, J. (2021).. Eccentric Exercise: Adaptations and Applications for Health and Performance. *Journal of functional morphology and kinesiology*, 6(4), 96. <https://doi.org/10.3390/jfmk6040096>