

Generación de carga excéntrica entre diferentes dispositivos: revisión narrativa con enfoque metodológico

Eccentric load generation among different devices: narrative review with methodological approach

Recibido el 10 de noviembre de 2025 / Aceptado el 26 de febrero de 2026

DOI:10.24310/riccafd.15.1.2026.22601

Quintero-López, JL^{1AC}; García-Ríos, KA^{2BC}; Arismendi-Ramírez, A^{3A}; Pérez-Rendón, AL^{4D}; Gómez-Rodas, A^{5FB}

¹ Grupo de Investigación Los Asépticos, Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte, Laboratorio de Imagenología, Fundación Universitaria del Área Andina, Pereira, jqintero108@areandina.edu.co

² Universidad de Guadalajara, México, karen.garcia9398@alumnos.udg.mx

³ Grupo de investigación GIIIEC, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Laboratorio de Robótica, Fundación Universitaria del Área Andina, Pereira, aarismendi2@areandina.edu.co

⁴ Grupo de investigación GIIIEC, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Laboratorio de Robótica, Fundación Universitaria del Área Andina, Pereira, aperez56@areandina.edu.co

⁵ Grupo de Investigación ZIPATEFI, Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte, Laboratorio del Movimiento Humano, Fundación Universitaria del Área Andina, Pereira, agomez105aperez56@areandina.edu.co

Responsabilidades. (A Diseño de la investigación; B Recolector de datos; C Redactor del trabajo; D Tratamiento estadístico; E Apoyo económico; F Idea original y coordinador de toda la investigación)

Correspondencia: Jorge Luis Quintero-López. jqintero108@areandina.edu.co

RESUMEN

El presente estudio realiza una revisión narrativa de los dispositivos utilizados para generar sobrecarga excéntrica en el entrenamiento de fuerza muscular, con énfasis en sus diferencias metodológicas, aplicaciones clínicas y efectos sobre la salud. La carga excéntrica, caracterizada por la contracción muscular durante el alargamiento del músculo, ha demostrado beneficios significativos en el rendimiento físico, la prevención de lesiones y la rehabilitación, tanto en atletas como en poblaciones clínicas y adultos mayores. A pesar de sus ventajas, existe desconocimiento sobre los distintos dispositivos empleados, como los isocinéticos, isoinerciales, eléctricos y neumáticos, cada uno con características específicas en cuanto a tipo de resistencia, aplicabilidad y limitaciones operativas. El análisis comparativo muestra que, si bien todos los dispositivos mejoran la fuerza muscular y la salud articular, presentan diferencias en precisión, portabilidad, costo y capacidad de adaptación. Se proponen recomendaciones para un uso seguro y eficiente, priorizando la individualización del entrenamiento. Este trabajo busca servir de base para futuras investigaciones orientadas al desarrollo de nuevas tecnologías más accesibles y versátiles, que optimicen el uso de la carga excéntrica en diversos contextos y contribuyan al mejoramiento del rendimiento deportivo y de la salud general.

PALABRAS CLAVE: entrenamiento excéntrico, entrenamiento de fuerza, dispositivos, rendimiento deportivo, rehabilitación muscular

ABSTRACT

This study presents a narrative review of the devices used to generate eccentric overload in muscle strength training, with an emphasis on their methodological differences, clinical applications, and effects on health. Eccentric loading, characterized by muscle contraction during muscle lengthening, has shown significant benefits for physical performance, injury prevention, and rehabilitation in athletes, clinical populations, and older adults. Despite its advantages, there is still a limited understanding of the different devices used, such as isokinetic, iso-inertial, electric, and pneumatic systems, each with specific characteristics regarding resistance type, applicability, and operational limitations. The comparative analysis shows that although all devices improve muscle strength and joint health, they differ in precision, portability, cost, and adaptability. Recommendations are provided for safe and efficient use, with priority given to individualized training. This work aims to serve as a foundation for future research focused on developing new, more accessible, and versatile technologies that optimize the use of eccentric loading across different contexts and improve sports performance and overall health.

KEY WORDS: eccentric training, resistance training, exercise equipment, sports performance, muscular rehabilitation

INTRODUCCIÓN

La evaluación de la fuerza muscular constituye un pilar esencial tanto en el ámbito del rendimiento deportivo como en el de la rehabilitación. Comprender la capacidad del organismo para generar movimiento y energía mediante los mecanismos bioquímicos de las células musculares resulta fundamental para optimizar el desempeño físico y acelerar la recuperación funcional. Esta evaluación no se limita a cuantificar capacidades físicas, sino que permite identificar cómo la fuerza muscular influye directamente en la prevención de lesiones, la mejora de la funcionalidad y la promoción de la salud integral en individuos de diversas edades y condiciones fisiológicas (1). En este contexto, el entrenamiento con sobrecargas ha sido una de las estrategias más efectivas para inducir mejoras en la potencia, la fuerza y la masa muscular. La intensidad del estímulo, determinada por la carga mecánica aplicada durante los ejercicios, desempeña un papel fundamental en la magnitud de las adaptaciones fisiológicas (2).

A pesar de la reconocida importancia de la fuerza muscular, persiste una problemática en el rendimiento físico, tanto en el ámbito deportivo como en la rehabilitación y la salud general. La falta de un enfoque adecuado en el entrenamiento de la fuerza o el uso ineficiente de las metodologías existentes puede limitar el potencial de los atletas, prolongar los procesos de recuperación

en pacientes y afectar negativamente la calidad de vida de la población en general. Este desafío subraya la necesidad de explorar y aplicar estrategias de entrenamiento más efectivas y personalizadas. (1, 3-5).

En este contexto, el entrenamiento de fuerza muscular, especialmente aquel que incorpora cargas excéntricas, se ha postulado como una estrategia de gran relevancia para mejorar la fuerza y la potencia musculares. Este tipo de entrenamiento se enfoca en la capacidad de los músculos para generar tensión al alargarse, ofreciendo beneficios únicos, no solo en el aumento de la fuerza y la potencia, sino también en la reducción del riesgo de lesiones y la optimización de la recuperación. Esta modalidad de entrenamiento ha supuesto un avance significativo en la comprensión de la fisiología muscular y en su aplicación práctica para mejorar el rendimiento y la salud (6, 2). Por otra parte, a pesar de los avances en el entrenamiento excéntrico, persiste un desconocimiento considerable sobre los diversos dispositivos existentes para generar estas cargas, sus diferencias inherentes y el impacto específico que cada uno tiene en la salud general y el rendimiento. Esta brecha de información es crítica, ya que impide a entrenadores, atletas y profesionales de la salud tomar decisiones informadas sobre la selección del equipo más adecuado y eficaz para necesidades específicas. Por tanto, la identificación y comprensión de estas diferencias no solo pueden optimizar la prescripción y programación del ejercicio, sino que también pueden impulsar el desarrollo de nuevas tecnologías que satisfagan de manera más integral las demandas del entrenamiento moderno y la rehabilitación, ayudando a cerrar vacíos entre la investigación y la aplicación práctica (7).

Los ejercicios de fuerza muscular involucran principalmente tres tipos de contracciones: concéntricas, isométricas y excéntricas, cada una con propiedades mecánicas y fisiológicas distintas que influyen de manera diferencial en la fuerza, la potencia y la resistencia muscular (8-9). Las contracciones concéntricas implican el acortamiento del músculo al vencer una resistencia externa, mientras que las isométricas mantienen la longitud muscular constante durante la contracción, lo que favorece la estabilidad articular, el equilibrio muscular y la resistencia a la fatiga, reduciendo la probabilidad de lesiones musculoesqueléticas asociadas a la actividad física, el ejercicio y el deporte (10). Sin embargo, es en las contracciones excéntricas donde se concentra el mayor potencial adaptativo, ya que el músculo se alarga activamente bajo carga, lo que genera niveles superiores de tensión mecánica (1-2). Este tipo de contracción, también denominada negativa, desempeña un papel central en el desarrollo de la fuerza máxima, la hipertrofia muscular y la prevención de lesiones, al tiempo que mejora la capacidad de la unidad mio-tendinosa para absorber impactos. Su inclusión estratégica en programas de entrenamiento y rehabilitación ha sido un factor decisivo para incrementar la fuerza y la potencia, especialmente mediante el uso de dispositivos diseñados para optimizar la sobrecarga excéntrica. Por su eficiencia mecánica, menor costo energético y beneficios funcionales comprobados, las contracciones excéntricas constituyen el eje metodológico de este manuscrito, en el que se comparan los diversos dispositivos que las

posibilitan, así como sus características y propiedades para inducir adaptaciones musculares específicas mediante dichas contracciones.

Con este propósito, se guiará al lector en una exploración de los distintos tipos de fuerza muscular y de los efectos de las cargas excéntricas sobre la salud. También se describirán las características más relevantes de los dispositivos que generan carga excéntrica, tal como se documenta en la literatura. Finalmente, se ofrecerán recomendaciones para su uso seguro, maximizando sus beneficios y minimizando los riesgos inherentes a este tipo de contracciones.

Con este propósito, se realizó una búsqueda de la literatura especializada enfocada en los dispositivos existentes que generan cargas excéntricas para los entrenamientos de fuerza muscular, incluyendo sus ventajas y desventajas, indicaciones y contraindicaciones, uso seguro y evaluación de su impacto en la salud, buscando proporcionar información contextual para un uso adecuado de estos dispositivos e identificar características y especificaciones para el desarrollo de nuevas tecnologías basadas en la sobrecarga excéntrica con enfoques de accesibilidad, bajo costo y que puedan, en lo posible, integrarse a maquinaria ya existente.

MATERIAL Y METODOS

Esta revisión narrativa comenzó con una búsqueda en bases de datos y en recursos de literatura científica, como Scopus, PubMed, ScienceDirect, Web of Science y Google Scholar, usando las palabras clave "Eccentric Strength" AND ("Devices" OR "Health" OR "Strength"). Los criterios de inclusión abarcaron artículos de acceso abierto, en inglés o español, publicados entre 2019 y 2024. Los datos fueron analizados y sintetizados para identificar diferencias entre dispositivos en términos de efectividad e impacto en la salud. Finalmente, se formularon conclusiones basadas en la evidencia y se ofrecieron recomendaciones para la selección y el uso adecuados de los dispositivos.

ANTECEDENTES

La producción de fuerza muscular es el resultado de una interacción compleja entre factores morfológicos y neurológicos que determinan la capacidad del sistema musculoesquelético para generar tensión mecánica de manera eficiente. En el plano estructural, uno de los principales determinantes es el área de sección transversal del músculo, ya que está directamente relacionada con el número de sarcómeros en paralelo y, por tanto, con el potencial de generación de fuerza máxima (3). Además, la arquitectura muscular, las fibras, influye significativamente en la capacidad de transmisión de fuerza del sistema tendinoso (11). La rigidez del tejido musculotendinoso también desempeña un papel clave, ya que una mayor rigidez permite una transmisión más eficiente de la fuerza a las estructuras óseas, mientras que una rigidez excesiva puede comprometer la capacidad de absorción de energía y aumentar el riesgo de lesión (8).

Desde el punto de vista neurológico, la fuerza se modula mediante el reclutamiento de unidades motoras, la tasa de disparo (frecuencia de activación), la sincronización entre distintas unidades motoras y los mecanismos de inhibición neuromuscular. Estos factores dependen en gran medida de la velocidad del movimiento, la fatiga neuromuscular y la coordinación intermuscular. La capacidad del músculo para absorber y disipar energía cinética, especialmente durante contracciones excéntricas, también influye en la eficiencia de la producción de fuerza, ya que implica un control neuromecánico fino que equilibra la resistencia externa con la integridad de los tejidos implicados. En conjunto, estos componentes estructurales y funcionales actúan de forma sinérgica para determinar no sólo la magnitud de la fuerza generada, sino también su aplicación segura y efectiva en el contexto del entrenamiento, la competencia o la rehabilitación (1-2).

Por otra parte, en manifestaciones musculares como el ciclo estiramiento-acortamiento, la unión miotendinosa libera energía elástica almacenada durante la elongación muscular, en la fase concéntrica, de manera similar a la extensión de un resorte. Por el contrario, al bajar escaleras a un ritmo normal, se produce una desaceleración del movimiento de la articulación durante el descenso controlado, lo que se traduce en la pérdida de energía elástica en forma de calor, actuando como amortiguador. La forma en que los músculos y tendones responden a estas situaciones depende de la velocidad del movimiento, la fuerza aplicada y la rigidez del tejido (1), siendo las contracciones excéntricas las que producen los mayores niveles de tensión muscular, seguidas por las isométricas y, a su vez, las concéntricas (8).

También se ha podido evidenciar que el entrenamiento con un 40% más de carga en la fase excéntrica resultó en aumentos superiores en la producción de fuerza máxima, la capacidad de resistencia y la activación muscular en comparación con el entrenamiento concéntrico-excéntrico tradicional con pesos libres. Sin embargo, las respuestas hormonales anabólicas (testosterona, cortisol y hormona del crecimiento) y los efectos hipertróficos fueron similares a los observados en el entrenamiento de fuerza convencional (12).

En atletas se ha evidenciado que las sobrecargas excéntricas pueden mejorar su desempeño, lo que va acompañado de aumentos en la masa magra, la longitud de los fascículos musculares, su capacidad para absorber impactos en actividades que implican grandes fuerzas de reacción del piso, cambios de dirección y saltos, con menor gasto energético y reducción de la fatiga muscular (1, 6, 8).

No solo con datos objetivos, sino también con datos subjetivos, se ha evidenciado que las percepciones y prácticas actuales de los entrenadores de fuerza y acondicionamiento muestran que la prevención de lesiones, los beneficios en los cambios de dirección, fuerza y potencia, la rehabilitación de lesiones e hipertrofia muscular son las principales razones para la inclusión de ejercicios excéntricos en atletas jóvenes (13).

Llama también la atención que el entrenamiento excéntrico sea una modalidad de ejercicio con amplias aplicaciones terapéuticas, con indicaciones precisas respecto de la gravedad de la lesión, el tiempo de aparición de la misma, el nivel de aptitud física del deportista y la etapa de rehabilitación en la que se encuentre (1). Lo anterior se debe a que las cargas excéntricas se toleran mejor, incrementan la tensión del tejido conectivo, estimulan su regeneración, reducen la fibrosis durante la cicatrización, mejoran la capacidad de absorción y disipación de energía durante impactos y movimientos repetitivos y previenen la degeneración por inmovilización, aspectos clave en la rehabilitación (1, 8).

En enfermedades como la tendinopatía lateral del codo, se ha visto que promueve la remodelación del tejido tendinoso, mediante la estimulación de los tenocitos que da como resultado la mayor y mejor síntesis de colágeno tipo 1 y 3, con la ayuda del factor de crecimiento transformante- β -1 (TGF- β -1), el factor de crecimiento de insulina-1Ea (IGF-1Ea) y el factor de crecimiento mecánico (MGF). Mejorando de esta manera el dolor y la fuerza muscular en la rehabilitación en fase tardía de la tendinopatía (14).

Desde una perspectiva fisiológica, el ejercicio excéntrico presenta características mecánicas y neuromusculares particulares que permiten generar altos niveles de fuerza con una menor demanda metabólica en comparación con las contracciones concéntricas. Estas propiedades favorecen adaptaciones estructurales del músculo y del tejido conectivo, lo que ha motivado su amplia implementación tanto en programas de rehabilitación como en contextos de entrenamiento deportivo orientados al desarrollo de fuerza y prevención de lesiones musculares (15).

También se ha demostrado su uso seguro y efectivo en adultos mayores, así como en pacientes con Parkinson y con osteoartritis. En este sentido, la sarcopenia y la dinapenia a las que se exponen los adultos mayores pueden ser combatidas de manera eficiente mediante entrenamiento excéntrico adaptado a las condiciones de esta población, mejorando no solo su condición muscular y su funcionalidad, sino también su función cognitiva, en cuanto a la velocidad de procesamiento y la ejecución motora (1, 22).

Por todas estas razones, el entrenamiento excéntrico es una opción viable para jóvenes, adultos jóvenes y adultos mayores, siempre y cuando la prescripción de ejercicios se ajuste adecuadamente a los objetivos del programa de entrenamiento y a su tolerabilidad (1). Sin embargo, a pesar de sus numerosos beneficios, siempre es necesario implementarlo de manera cuidadosa y progresiva, ya que puede causar un mayor daño muscular que otros modos de entrenamiento de fuerza. Por esta razón, los dispositivos que generan estas sobrecargas deben ser capaces de dosificar y controlar con precisión el incremento de la sobrecarga, y es aquí donde dichos dispositivos deben ser objeto de un análisis especial (7).

Métodos de Entrenamiento Excéntrico

Suchomel et al. (3) resaltan diversos métodos de entrenamiento excéntrico, cada uno con características y aplicaciones específicas para optimizar las adaptaciones musculares y el rendimiento. A continuación, se detallan los principales:

El entrenamiento excéntrico de tempo consiste en la manipulación deliberada de la duración de la fase excéntrica de un movimiento. Esto significa que se realiza la porción de alargamiento del músculo de forma más lenta y controlada que de lo habitual, aumentando así el tiempo bajo tensión durante esta fase. Este método busca maximizar el estímulo mecánico sobre el músculo, lo que puede conducir a mayores ganancias de hipertrofia muscular y de fuerza. Al prolongar la fase excéntrica, se incrementa el daño muscular controlado, lo que, a su vez, estimula una mayor respuesta adaptativa en términos de crecimiento y remodelación del tejido muscular (1).

El entrenamiento con volante inercial aprovecha la inercia de un volante giratorio para generar una sobrecarga excéntrica. A diferencia de los pesos tradicionales, en los que la carga es constante, en el entrenamiento con volante inercial la resistencia es variable y proporcional a la fuerza aplicada por el usuario. Durante la fase concéntrica, el usuario acelera el volante, acumulando energía cinética. En la fase excéntrica, el volante devuelve esa energía y el usuario debe resistir la fuerza que genera. Esto permite una sobrecarga excéntrica significativamente mayor que la carga concéntrica, ya que el músculo debe frenar una masa en movimiento. Este método es altamente efectivo para mejorar la fuerza, la potencia y la hipertrofia muscular y ha demostrado ser beneficioso en deportes que requieren acciones de alta intensidad, como saltos, aceleraciones y desaceleraciones (4, 7).

La carga excéntrica acentuada se refiere a la aplicación de una carga mayor durante la fase excéntrica de un movimiento en comparación con la fase concéntrica. Esto se puede lograr de diversas maneras, como el uso de dispositivos que añaden peso únicamente durante el descenso (por ejemplo, máquinas con mecanismos de liberación de peso) o la asistencia de un compañero que ejerce una carga adicional durante la fase excéntrica. El objetivo es sobrecargar específicamente la fase excéntrica para aprovechar la mayor capacidad del músculo para generar fuerza durante el alargamiento. Este método es particularmente útil para mejorar la fuerza máxima y la potencia, ya que expone al músculo a tensiones más elevadas de las que podría soportar en una contracción concéntrica (2).

El entrenamiento pliométrico se basa en el ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA), que implica una rápida fase excéntrica seguida de inmediato por una fase concéntrica explosiva. Este tipo de entrenamiento busca mejorar la potencia muscular y la capacidad para generar fuerza rápidamente. Durante la fase excéntrica, el músculo se estira y almacena energía elástica, que luego se libera en la fase concéntrica para generar un movimiento más potente.

Ejemplos comunes incluyen saltos, rebotes y lanzamientos. El entrenamiento pliométrico es fundamental en deportes que requieren movimientos explosivos y ha demostrado ser eficaz para aumentar la potencia muscular (1).

La dinamometría isocinética (IKD) es considerada el método estándar de oro para medir la fuerza excéntrica generada por los músculos cuando se les somete a un movimiento a velocidad constante. Esta metodología requiere el uso de dispositivos como el Cybex, KinCom, Biodex, Primus, entre otros, cuyo principal inconveniente son sus altos costos, mantenimiento y poca portabilidad, lo que hace que sean de uso limitado en centros de ejercicio y rehabilitación (17-18).

Por su parte, el Hamstring Solo Elite (HSE), es un dispositivo nórdico para los isquiotibiales (NHE) que se basa en la retroalimentación de presión, el cual utiliza tecnología de celda de carga para monitorear y mejorar la fuerza muscular y la longitud del músculo, en este caso de los músculos isquiotibiales, con una buena confiabilidad relativa intrasesión y aceptable entre sesiones (19-21). Wiesinger et al. (18) manifestaron que el control del movimiento de la cadera debe ser cuidadoso en este tipo de dispositivos, dado que la posición de la misma puede alterar significativamente la fuerza excéntrica. Por otra parte, también señalaron que los dispositivos actuales no son suficientemente precisos para determinar de manera fiable el ángulo del torque máximo y el desequilibrio de la fuerza entre ambos miembros inferiores de manera que sólo pueden llegarse a detectar grandes cambios en la fuerza excéntrica y no las variaciones sutiles que pueden existir en esta clase de mediciones (18).

Otro dispositivo es el dinamómetro Smart Nordic Trainer, cuya principal ventaja es su portabilidad. Este está diseñado con dos celdas de carga para medir la fuerza aplicada por cada miembro inferior, con una capacidad máxima de ~500 kg. Su costo, en comparación con los dinamómetros isocinéticos, lo hace más accesible. Es muy fácil de usar ya que el dispositivo puede registrar los datos a través de Bluetooth a una frecuencia de 180 Hz, lo que permite una adquisición inmediata de los datos durante el ejercicio. Sin embargo, permite cierto margen de error en las mediciones (5-8 grados) durante el ejercicio (23).

Dispositivos Isoinerciales y Eléctricos

Las máquinas de volante inercial ("flywheel resistance training") ofrecen la posibilidad de generar una carga excéntrica adicional mucho mayor de lo que se puede esperar al usar pesos constantes contra gravedad; sin embargo, esto lo logra sólo en intervalos muy pequeños de la fase de movimiento, y no siempre se consigue (25). Los volantes YO-YO Technology y Versapulley, son dos ejemplos de dispositivos que declaran generar sobrecargas excéntricas utilizando volantes de inercia, justo en la fase excéntrica del movimiento, produciendo una resistencia adicional durante el rango de movimiento en el que se genera el retorno de la volante (4, 16).

González y Sánchez (4) hacen mención de cuatro dispositivos usados para el entrenamiento de la fuerza en futbolistas que incluyen al yo-yo curl

hamstring con buenos resultados en la mejora de la fuerza concéntrica y excéntrica de isquiotibiales, el yo-yo squat y el yo-yo leg curl los cuales han demostrado mejorar el rendimiento del salto en contramovimiento y el tiempo en sprint y otro dispositivo de plataforma vibratoria con efectos similares a los anteriores, que además mejora la habilidad de cambios de dirección, salto y potencia.

En relación con estos tipos de dispositivos basados en la volante industrial de James Watt durante la revolución industrial, Wang et al. (16) declararon una mayor efectividad del entrenamiento con estos dispositivos frente al entrenamiento convencional en la mejora de la fuerza, la potencia y el trofismo muscular en jugadoras élite de voleibol.

Su mecanismo se basa en aplicar fuerza concéntrica para desenrollar una cuerda o correa conectada al eje central de la volante, lo que hace que la volante comience a girar y a almacenar energía. Luego, la cuerda empieza a rebobinar y el participante debe intentar frenar resistiendo el tirón del dispositivo, lo que genera una fase de contracción excéntrica. Es así como la resistencia impartida al atleta depende de la masa, el radio y la aceleración angular del dispositivo (4, 3)

Es de suma importancia tener en cuenta que con estos dispositivos es adecuado utilizar momentos de inercia bajos (de 0.01 a 0.2 kg·m²) y ejes cilíndricos para lograr la sobrecarga excéntrica debido a que un eje cónico tiene más efectos sobre la fase concéntrica (4).

Los dispositivos isoinerciales se han aplicado de manera periódica en los entrenamientos de fuerza de los deportes de equipo, como el fútbol, el baloncesto, el rugby, el balonmano o el voleibol, donde los jugadores realizan acciones de alta intensidad como saltos, aceleraciones, desaceleraciones, sprint lineal y cambios de dirección (4, 16).

Los volantes de inercia han evidenciado efectos positivos en el aumento de la masa muscular, mejoran el rendimiento del salto, sprint lineal y cambios de dirección (aceleración-desaceleración), ayudando a prevenir lesiones deportivas asociadas a estos gestos. También se ha postulado que estos dispositivos mejoran la fuerza máxima, la potencia de salida y la velocidad de carrera, tanto en deportistas como en personas no entrenadas previamente (4, 16).

Estos dispositivos son extremadamente versátiles y permiten realizar una amplia variedad de ejercicios en diferentes planos de movimiento. Su portabilidad los convierte en dispositivos ideales para múltiples ubicaciones, ofreciendo flexibilidad y conveniencia para entrenamientos en diversos entornos (2, 3).

Cabe destacar que la velocidad concéntrica y las cargas inerciales deben ser directamente proporcionales a la fuerza de cada individuo. Esto significa que, a mayor o menor fuerza del individuo, la velocidad también será mayor o menor, respectivamente. Además, la experiencia previa con los volantes de inercia

puede modificar el estímulo necesario para lograr los efectos deseados. Por lo tanto, es importante individualizar cada ejercicio, adaptando tanto la velocidad como las cargas a las necesidades y capacidades específicas de cada persona (2, 3).

A pesar de los múltiples beneficios que estos volantes implican, deben usarse con cautela, priorizando los tiempos de entrenamiento y recuperación, ya que, de no ser así, pueden implicar reducciones en los valores máximos de fuerza isométrica, así como aumentar los niveles de fatiga y daño muscular, principalmente cuando los jugadores comienzan a trabajar con estos dispositivos y no cuentan con una buena capacitación u orientación sobre su uso (4).

Maroto-Izquierdo et al. (6) compararon los efectos de los volantes de inercia con los de un dispositivo de motor eléctrico. Luego de 6 semanas de entrenamiento, los resultados mostraron ganancias similares en masa muscular, fuerza, potencia y salto vertical, sin diferencias significativas entre los grupos de entrenamiento, aunque es importante resaltar que el grupo con entrenamiento con motor eléctrico y velocidad excéntrica del 150% mostró mayores ganancias de potencia en comparación con el grupo con velocidad excéntrica del 100% y el grupo de volante de inercia. Asimismo, demostró que la sobrecarga excéntrica generada con volantes de inercia provoca mayores adaptaciones en la fuerza, la potencia, la hipertrofia y la velocidad de carrera que el entrenamiento de fuerza tradicional (6).

Por su parte, el motor eléctrico tiene la capacidad de generar sobrecarga excéntrica en todo el rango de movimiento, no necesita reducir la fase de frenado activo para emplear la sobrecarga, tiene la posibilidad de modificar el estímulo de entrenamiento ajustando la intensidad de las diferentes fuerzas, el tiempo de transición entre fases y la velocidad excéntrica en relación con la velocidad concéntrica, aunque cuenta con potencia máxima limitada (6). En contraste, el volante de inercia ofrece más posibilidades de ejercicio en cualquier plano de movimiento, aunque la sobrecarga excéntrica se produce sólo en la última parte del rango de movimiento y presenta limitaciones en la modificación de las cargas, así como en la velocidad excéntrica en relación con la velocidad concéntrica (6).

El entrenamiento excéntrico con el motor eléctrico ha mostrado, además, mejoras en la altura del salto desde sentadilla y en la sección transversal de las fibras tipo II, junto con una transición hacia isoformas de miosina de cadena pesada más rápidas, tras 10 semanas de entrenamiento (6). Finalmente, Reyes-Ferrada et al. (25) describieron estos dispositivos eléctricos como confiables para evaluar la fuerza de los extensores del tronco en diferentes condiciones de velocidad y rangos de movimiento. Sin embargo, su elevado costo de adquisición y mantenimiento, lo hace poco accesible. Además, su gran tamaño limita su uso en entornos no clínicos o con espacio limitado.

Dispositivos Neumáticos

En 2020, Harden et al. (24) llevaron a cabo un estudio por cuatro semanas para evaluar el impacto del entrenamiento de fuerza utilizando carga excéntrica aumentada con un nuevo dispositivo de prensa de piernas que utilizaba resistencia neumática. El estudio incluyó a doce atletas bien entrenados, distribuidos aleatoriamente en tres grupos: 1) entrenamiento de resistencia tradicional, 2) entrenamiento con carga excéntrica aumentada, y 3) ciclistas de pista de sprint profesionales a tiempo completo, que combinaron la carga excéntrica aumentada con su entrenamiento habitual.

Este nuevo dispositivo de prensa de piernas logró sobrecargar la acción muscular excéntrica en un movimiento articular bilateral, mediante el uso de aire comprimido para proporcionar resistencia durante el ejercicio. Sus características le permitieron medir las fuerzas máximas concéntrica y excéntrica y, de esa manera, orientar el entrenamiento hacia cada tipo de contracción, lo que llegó a garantizar la especificidad de la tarea [24].

Su funcionamiento se basa en tecnología neumática, mediante interruptores de láminas ajustables operados magnéticamente que permiten la descarga inmediata de la fase concéntrica del movimiento. La fuerza se mide mediante 4 celdas de carga con un límite de 300 kg por celda, equipadas con potenciómetros (Hybritron®, 3541H1-102-L, Bourns, México) a 200 Hz, ubicados en las placas de los pies y conectados a un combinador que genera una única salida de voltaje (24). Para estandarizar el ritmo de la fase excéntrica, se le agregó a la prensa de piernas una tira LED que, al encenderse de forma gradual, dejaba un rastro de luz que el participante debía seguir hasta conseguir el desplazamiento en el que se alcanzara un ángulo de rodilla de 90°.

Los resultados de este estudio mostraron que la carga excéntrica aumentó la fuerza de la musculatura de los miembros inferiores y que el estímulo fue bien tolerado, lo que respalda su inclusión en programas de preparación de los atletas. En general, el método tradicional fue eficaz en condiciones de máxima contracción concéntrica e isométrica, mientras que los estímulos con carga excéntrica aumentaron no solo la fuerza máxima, sino también la manifestación excéntrica de la fuerza (24).

En la tabla 1 se presenta una síntesis de los diferentes dispositivos que generan carga excéntrica, junto con sus ventajas, desventajas y aplicaciones.

Tabla 1. Principales características de los dispositivos isocinéticos, isoinerciales (volantes inerciales), eléctricos y neumáticos.

	Ventajas	Desventajas	Aplicaciones
Isocinético, velocidad constante	Precisión, Control de velocidad, Adaptable, Portables sólo algunos modelos	No detectan pequeños cambios en la fuerza, Peso inconstante, Evaluación monoarticular, Complejidad operativa, Alto costo	Prevención de lesiones, Postquirúrgicos, Control del entrenamiento
Isoinercial, Resistencia variable	Resistencia ilimitada, Portátiles, Versátiles, Gran rango de movimiento	Depende de la velocidad concéntrica, Complejidad operativa para lograr el objetivo	Deportes de equipo, Fortalecimiento muscular, Prevención de lesiones
Eléctrico, Resistencia adaptable	Resistencia personalizada, Feedback y monitoreo en tiempo real, Gran rango de movimiento	Resistencia limitada, Dependencia de electricidad, Alto costo, Gran tamaño, Complejidad operativa	Rehabilitación neurológica, Control de la evolución deportiva, prevención de lesiones
Neumático, Resistencia ajustable	Ligeros, Seguridad, Menor impacto, Evaluación bilateral, Específico y personalizado	Menor precisión Alto costo, Mantenimiento, Gran tamaño, Complejidad operativa	Rehabilitación, Entrenamiento de bajo impacto, Prevención de lesiones

Recomendaciones de uso seguro.

En la mayoría de los estudios sobre cargas excéntricas analizados, se recomienda, para un uso adecuado de los dispositivos, evitar cualquier entrenamiento de fuerza intenso al menos 24 horas antes de realizar evaluaciones o entrenamientos. Entre las contraindicaciones se encuentran haber sufrido lesiones musculares o articulares recientes, enfermedades cardiovasculares y haber usado estimulantes o depresores, como la cafeína, el alcohol o fármacos para incrementar el rendimiento físico.

Todas las pruebas deben hacerse siempre a una hora similar (± 2 h) a la anterior, y se debe incluir calentamiento previo, preferentemente exigente tanto a nivel cardiovascular como muscular, seguido de estiramientos, en lo posible balísticos, que preparan al músculo para las contracciones excéntricas. También se sugiere realizar sesiones de familiarización con los dispositivos, sin generar estímulos máximos, para preparar la musculatura para esta clase de contracciones tan exigentes. De igual forma, es importante incluir períodos de descanso de 1 a 2 minutos e instrucciones verbales para reforzar la técnica durante las pruebas y en cada repetición. Adicionalmente, con el fin de obtener mejores resultados, se recomienda excluir repeticiones en las que los participantes muestren un control deficiente del movimiento e incluso detener las evaluaciones o entrenamientos si no se evidencia una buena ejecución técnica del movimiento solicitado (18-19).

CONCLUSIONES

Los ejercicios con sobrecarga excéntrica son una herramienta fundamental y altamente efectiva para optimizar el rendimiento atlético. Su capacidad para generar niveles más altos de tensión muscular y promover adaptaciones fisiológicas superiores, como el aumento de la fuerza máxima, la potencia y la hipertrofia muscular, la convierte en un componente indispensable en el entrenamiento de deportistas y atletas de élite. La implementación estratégica de la carga excéntrica contribuye directamente a mejorar la competencia del movimiento, a prevenir lesiones y a aumentar la eficiencia en acciones deportivas de alta intensidad. Asimismo, la sobrecarga excéntrica se posiciona como una modalidad terapéutica de gran valor en el ámbito de la rehabilitación. Su eficacia radica en la capacidad de estimular la regeneración del tejido conectivo, reducir la fibrosis durante la cicatrización y prevenir la degeneración por inmovilización, aspectos decisivos para la recuperación de lesiones musculoesqueléticas.

Adicionalmente, el entrenamiento con sobrecarga excéntrica ofrece beneficios significativos para la salud general músculo-esquelética y resulta particularmente relevante para la promoción de la salud en poblaciones específicas, como los adultos mayores. Dada la tendencia de la fuerza excéntrica a conservarse mejor con el envejecimiento que la fuerza concéntrica, esta modalidad constituye un foco terapéutico para combatir la sarcopenia y la dinapenia, promoviendo así un envejecimiento activo y saludable. No obstante, se requiere del desarrollo de dispositivos accesibles y versátiles que permitan una dosificación precisa de la carga para maximizar estos beneficios y asegurar un uso seguro en la población general.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Fundación Universitaria del Área Andina por su apoyo financiero para esta publicación.

REFERENCIAS

1. Harris-Love MO, Gollie JM, Keogh JWL. Eccentric exercise: adaptations and applications for health and performance. *J Funct Morphol Kinesiol*. 2021;6(4):96, doi.org/10.3390/jfmk6040096.
2. Suchomel TJ, Wagle JP, Douglas J, Taber CB, Harden M, Haff GG, Stone MH. Implementing eccentric resistance training—part 1: a brief review of existing methods. *J Funct Morphol Kinesiol*. 2019;4(2):38, doi.org/10.3390/jfmk4020038.
3. Suchomel TJ, Wagle JP, Douglas J, Taber CB, Harden M, Haff GG, Stone MH. Implementing eccentric resistance training—part 2: practical recommendations. *J Funct Morphol Kinesiol*. 2019;4(3):55, doi.org/10.3390/jfmk4030055.
4. González JR, Sánchez JS. Strength training methods for improving actions in football. *Apunts Educ Fis Deportes*. 2018;(132):72–93, doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2018/2).132.06.
5. Lieber RL. Biomechanical response of skeletal muscle to eccentric contractions. *J Sport Health Sci*. 2018;7(3):294–309, doi.org/10.1016/j.jshs.2018.06.005.
6. Maroto-Izquierdo S, Martín-Rivera F, Nosaka K, Beato M, González-Gallego J, de Paz JA. Effects of submaximal and supramaximal accentuated eccentric loading on mass and function. *Front Physiol*. 2023;14:1176835, doi.org/10.3389/fphys.2023.1176835.
7. Hody S, Croisier JL, Bury T, Rogister B, Leprince P. Eccentric muscle contractions: risks and benefits. *Front Physiol*. 2019;10:536, doi.org/10.3389/fphys.2019.00536.
8. Herzog W. Why are muscles strong, and why do they require little energy in eccentric action? *J Sport Health Sci*. 2018;7(3):255–264, doi.org/10.1016/j.jshs.2018.05.005.
9. Oranchuk DJ, Storey AG, Nelson AR, Cronin JB. Isometric training and long-term adaptations: effects of muscle length, intensity, and intent: a systematic review. *Scand J Med Sci Sports*. 2019;29(4):484–503, doi.org/10.1111/sms.13375.
10. Maestroni L, Read P, Bishop C, Turner A. Strength and power training in rehabilitation: underpinning principles and practical strategies to return athletes to high performance. *Sports Med*. 2020;50(2):239–252, doi.org/10.1007/s40279-019-01195-6.
11. Liang F, Hongfeng H, Ying Z. The effects of eccentric training on hamstring flexibility and strength in young dance students. *Sci Rep*. 2024;14(1):53987, doi.org/10.1038/s41598-024-53987-0.
12. Walker S, Blazeovich AJ, Haff GG, Tufano JJ, Newton RU, Häkkinen K. Greater strength gains after training with accentuated eccentric than traditional isoinertial loads in already strength-trained men. *Front Physiol*. 2016;7:149, doi.org/10.3389/fphys.2016.00149.
13. Drury B, Clarke H, Moran J, Fernandes JFT, Henry G, Behm DG. Eccentric resistance training in youth: a survey of perceptions and current practices by strength and conditioning coaches. *J Funct Morphol Kinesiol*. 2021;6(1):21, doi.org/10.3390/jfmk6010021.

14. Yoon SY, Kim YW, Shin IS, Kang S, Moon HI, Lee SC. The beneficial effects of eccentric exercise in the management of lateral elbow tendinopathy: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Med*. 2021;10(17):3968, doi.org/10.3390/jcm10173968.
15. Douglas J, Pearson S, Ross A, McGuigan M. Eccentric exercise: physiological characteristics and acute responses. *Sports Med*. 2017;47(4):663–675. doi:10.1007/s40279-016-0624-8.
16. Wang J, Zhang Q, Chen W, Fu H, Zhang M, Fan Y. The effect of flywheel complex training with eccentric-overload on muscular adaptation in elite female volleyball players. *PeerJ*. 2024;12:e17079, doi.org/10.7717/peerj.17079.
17. Torpey D, Murray E, Hughes T, Sergeant J, Callaghan M. The reliability of and agreement between devices used to measure eccentric hamstring strength: a systematic review protocol. *Syst Rev*. 2022;11(1):238, doi.org/10.1186/s13643-022-02070-8.
18. Wiesinger HP, Scharinger M, Kösters A, Gressenbauer C, Müller E. Specificity of eccentric hamstring training and the lack of consistency between strength assessments using conventional test devices. *Sci Rep*. 2021;11(1):13469, doi.org/10.1038/s41598-021-92929-y.
19. Lodge C, Tobin D, O'Rourke B, Thorborg K. Reliability and validity of a new eccentric hamstring strength measurement device. *Arch Rehabil Res Clin Transl*. 2020;2(1):100034, doi.org/10.1016/j.arrct.2019.100034.
20. Muniz Medeiros D, Marchiori C, Manfredini Baroni B. Effect of Nordic hamstring exercise training on knee flexors eccentric strength and fascicle length: a systematic review and meta-analysis. *J Sport Rehabil*. 2021;30(3):482–491, doi.org/10.1123/jsr.2019-0388.
21. Chavarro-Nieto C, Beaven M, Gill N, Hébert-Losier K. Reliability of repeated Nordic hamstring strength in rugby players using a load cell device. *Sensors (Basel)*. 2022;22(24):9756, doi.org/10.3390/s22249756.
22. Yoon DH, Lee JY, Song W. Effects of resistance exercise training on cognitive function and physical performance in cognitive frailty: a randomized controlled trial. *J Nutr Health Aging*. 2018;22(8):944–951, doi.org/10.1007/s12603-018-1090-9.
23. Costa JA, Spyrou K, Sancho A, Reis JF, Brito J. Reliability of maximal strength and peak rate of force development in a portable Nordic hamstrings exercise device. *Sensors (Basel)*. 2023;23(12):5452, doi.org/10.3390/s23125452.
24. Harden M, Wolf A, Evans M, Hicks KM, Thomas K, Howatson G. Four weeks of augmented eccentric loading using a novel leg press device improved leg strength in well-trained athletes and professional sprint track cyclists. *PLoS One*. 2020;15(7):e0236663, doi.org/10.1371/journal.pone.0236663.
25. Reyes-Ferrada W, Chirisa-Ríos LJ, Chirisa-Ríos I, Martínez-García D, Barboza-Gonzalez P, Ulloa-Díaz D, Jerez-Mayorga D, Rodríguez-Perea Á. A new reliable device to assess trunk extensors strength. *Acta Bioeng Biomech*. 2022;24(1), doi.org/10.37190/ABB-01965-2021-05.