



universidad
de león



TRABAJO DE FIN DE GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE

Curso Académico 2015/2016

ENTRENAMIENTO EXCÉNTRICO CON FLYWHEEL: MECANISMOS
ISOINERCIALES, RENDIMIENTO, PREVENCIÓN DE LESIONES Y
REHABILITACIÓN EN PACIENTES CON DERRAME CEREBRAL

Flywheel eccentric training: Isoinertial mechanics, performance, injury
prevention and rehabilitation in stroke patients.

Autor/a: Darío Gómez González

Tutor/a: Ana Isabel Álvarez de Felipe

Julio 2016

VºBº TUTOR/A:

VºBº ATUTOR/A



ÍNDICE

1. Resumen/abstract.....	1
2. Introducción.....	2
3. Objetivos.....	3
4. Metodología.....	4
5. Resultados.....	5
5.1. Mecanismo de las máquinas isoinerciales y su origen.....	5
5.2. Flywheel en vuelos espaciales.....	7
5.3. Tipos de fuerza y modos de contracción.....	8
5.4. Ejercicios y modos de entrenar el flywheel.....	10
5.4.1. Ejercicios estándar.....	10
5.4.2. Métodos avanzados	15
5.5. Flywheel en el rendimiento deportivo.....	18
5.5.1. Beneficios generales.....	18
5.5.2. Diferencias con el entrenamiento tradicional.....	19
5.6. Entrenamiento excéntrico: prevención/tratamiento de lesiones.....	22
5.7. Flywheel para la rehabilitación en pacientes con derrame cerebral.....	24
6. Conclusiones.....	26
7. Bibliografía.....	27



1. RESUMEN

El flywheel es una máquina isoinercial que se usa para el entrenamiento de la actividad física. Está equipada con volantes de inercia que acumulan energía cinética usada posteriormente en la contracción excéntrica reforzando esta parte del movimiento. Su origen ocurre en la década de 1990 con el propósito de prevenir la pérdida de masa muscular y entrenar en situación de hipogravedad en los vuelos espaciales prolongados. En la actualidad tiene múltiples usos en el ámbito del deporte, debido a las ventajas que tiene el entrenamiento excéntrico. El flywheel es un medio idóneo para entrenar con carga o sobrecarga excéntrica y conseguir los beneficios que van asociados a este tipo de entrenamiento, los cuales mejoran el rendimiento deportivo, la prevención de lesiones y el tratamiento de las mismas. Se ha demostrado que, el flywheel es una alternativa de entrenamiento diferente al levantamiento de pesas tradicional, presentando mejoras que no se consiguen sólo con el entrenamiento convencional de fuerza. Fuera del ámbito deportivo, se está estudiando los efectos que tiene el entrenamiento con flywheel en pacientes con disfunción neuromuscular en alguna de sus extremidades a causa de apoplejía, debido a que el entrenamiento excéntrico con flywheel solicita un mayor reclutamiento de unidades motoras mejorando la función cognitiva y ejecutiva en estos pacientes. Cada vez son mayores las evidencias que apoyan el entrenamiento con sobrecarga excéntrica como una herramienta eficaz para una rehabilitación efectiva tras apoplejía o derrame cerebral.

Palabras clave: Máquinas isoinerciales, flywheel, vuelos espaciales, entrenamiento excéntrico, sobrecarga excéntrica, rendimiento deportivo, entrenamiento tradicional, prevención y tratamiento de lesiones, derrame cerebral, rehabilitación.

Abstract

The flywheel is an isoinertial machine used for training physical activity. It is equipped with flywheels that accumulate kinetic energy later used in reinforcing in the eccentric contraction of the movement. It firstly appeared in the 90s with the aim of preventing the loss of muscle mass and training in a hypo gravity situation in long-lasting space flights. Nowadays, it has got a great variety of uses in the field of sport due to the advantages that eccentric training offers. The flywheel is an appropriate means to train with eccentric load or overload, to get the benefits that are associated with this type of training, which improves athletic performance, injury prevention and the treatment of both. It has been proved that the flywheel



is an alternative training different from the traditional weightlifting, showing improvements that are not only achieved with the conventional strength training. Apart from the sportive area, the effects of training with flywheel are being studied in patients with neuromuscular dysfunction in some of their limbs due to stroke. This is because the eccentric training with flywheel calls for greater motor unit recruitment to improve cognitive and executive function in these patients. There is increasing evidence in supporting the eccentric overload training as an effective tool for a successful rehabilitation after apoplexy or brain haemorrhage.

Keywords: isoinertial machines, flywheel, space flight, eccentric training, eccentric overload, athletic performance, traditional training, prevention and treatment of injuries, apoplexy rehabilitation.

2. INTRODUCCIÓN

Actualmente están en funcionamiento una serie de máquinas utilizadas para el entrenamiento de la actividad física y el deporte que son independientes de la gravedad, es decir, aportan un sistema de resistencia libre de gravedad mediante un mecanismo de inercia de rotación. Entre estas máquinas que se denominan máquinas isoinerciales, se encuentran la máquina yo-yo, cono squat, versapulle, etc, entre ellas también se encuentra el flywheel.

La pregunta que cabe hacerse es: ¿Cómo son los mecanismos isoinerciales?

Desde la óptica de la fisiología muscular, el mecanismo de estos dispositivos se basa en almacenar energía cinética durante la contracción concéntrica y luego liberar dicha energía en la contracción excéntrica. Al permitirnos trabajar mediante ciclos CEA (ciclo estiramiento-acortamiento de las fibras musculares) acumulamos energía elástica lo que va provocar un aumento de la fuerza generada por el músculo aumentando la explosividad de los movimientos a través del componente de reflejo de estiramiento lo cual es fundamental para el mecanismo de prevención de lesiones.

El entrenamiento del flywheel refuerza la parte excéntrica del movimiento y sus acciones constan de tres fases: acción concéntrica (en contra de la gravedad), isométrica (punto en el que se mantiene la contracción muscular pero sin movimiento) y excéntrica (frenando la energía devuelta por el dispositivo).

Un factor a considerar es que la cantidad de energía almacenada en el volante es proporcional al cuadrado de su velocidad de rotación angular. Se puede considerar que el



sistema isoinercial refuerza la parte excéntrica del movimiento (frenando la acción de la gravedad) lo que ayuda a prevenir lesiones, y su desempeño también puede facilitar el acondicionamiento físico en fitness. En los últimos años, se han introducido en el mercado, los sistemas isoinerciales, como nuevos dispositivos de entrenamiento para la mejora de la fuerza, y entre ellos destaca el flywheel.

Estos sistemas isoinerciales tienen la particularidad de ofrecer mayores picos de fuerza en la fase excéntrica del movimiento, con múltiples beneficios asociados a nivel neural, muscular y mecánico. La eficacia de esta tecnología isoinercial ha sido demostrada por varios estudios, obteniendo adaptaciones neuromusculares tras muy pocas sesiones de entrenamiento.

En general, este entrenamiento refuerza al tejido conectivo, incrementa el umbral de ruptura del músculo, aumenta la fuerza de los tendones, utilizándose para la rehabilitación y prevención de tendinopatías, además de aumentar la fuerza desarrollada en la contracción voluntaria máxima

3. OBJETIVOS

La presente revisión bibliográfica se ha realizado con el objetivo principal de obtener y recopilar la máxima información posible para conocer el dispositivo flywheel. Desde la información más básica que nos ayude a meternos en el contexto hasta las últimas publicaciones que nos proporciona conocimientos más específicos y actuales.

Partiendo de este objetivo global, la temática de este Trabajo Fin de Grado se va especificando y clasificando en diversos aspectos y temáticas que iremos agrupando en los diferentes apartados. Desde su contextualización en la que explicaremos su origen, principios y mecanismos hasta los resultados que serán divididos en diferentes ámbitos: rendimiento deportivo, prevención de lesiones (salud) y rehabilitación para personas con enfermedad/discapacidad.

Los objetivos concretos en el presente trabajo son:

- Conocer el mecanismo de las máquinas isoinerciales y el origen del flywheel
- Analizar las aplicaciones y métodos de entrenar el flywheel
- Estudiar la importancia del entrenamiento excéntrico en el flywheel



- Exponer como se utiliza el flywheel en el rendimiento deportivo y en la prevención y tratamiento de lesiones
- Establecer el papel del flywheel en la rehabilitación de pacientes con derrame cerebral.

4. METODOLOGÍA

Los métodos empleados en esta revisión bibliográfica han sido principalmente la búsqueda de artículos de interés, algunas plataformas de internet como la página web oficial de flywheel, y libros de biblioteca de la Facultad de León, toda esta información que nos ha servido de base constituyendo un apoyo exclusivo para obtener la información recogida en este proyecto Fin de Grado.

La búsqueda de artículos se ha realizado en la plataforma de Pubmed y en Sportdiscus.

Debido a que mucha de la temática del presente trabajo es novedosa y se están realizando nuevos descubrimientos y aplicaciones terapéuticas, la mayoría de artículos buscados son de los últimos años. Los criterios de búsqueda en pubmed han sido por medio del uso de palabras clave, los artículos encontrados que pudiesen ser potencialmente útiles se han descargado e imprimido, y a partir de algunos de estos artículos se ha profundizado en la búsqueda de la bibliografía, viendo los artículos enlazados en “see all”, o en otros casos por autor, iniciando primero la selección de artículos publicados en los últimos 5 años, y después el resto.

Las palabras clave en las búsquedas realizadas han sido:

“Flywheel”, “training”, “eccentric”, “isoinertial”, “stroke patients”, “injury”, “rehabilitation”, “space”, “overload”, “exercise”

Ejemplo de búsqueda:

“Flywheel training” OR “flywheel exercise” AND “overload eccentric” AND “stroke patients”.

A continuación aparece representado una clasificación de las búsquedas realizadas a través de las palabras clave y otras estrategias de búsqueda (Fig. 1). Se buscaron 60, de los cuales se seleccionaron 35 artículos a través de “see all”, algunos de ellos proporcionaron los resultados más interesantes y aportaron la información necesaria para una completa revisión bibliográfica. Los artículos que no tenían acceso a texto completo fueron consultados a través del abstract.

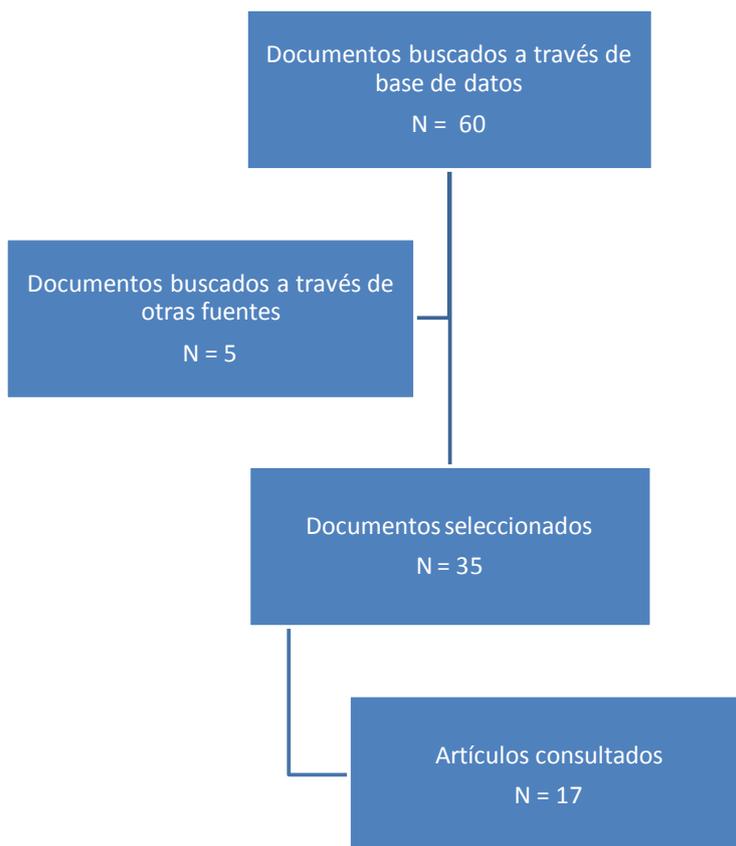


Figura 1: Diagrama representativo de la búsqueda realizada

5. RESULTADOS

Los resultados de la búsqueda de información para el presente estudio se ordenaron de acuerdo a los objetivos propuestos.

5.1. Mecanismos de las máquinas isoenergéticas (Flywheel) y su origen.

Desde la década de 1990 son varios los aparatos equipados con volantes de inercia para generar resistencia. Dentro del campo deportivo la máquina Yo-Yo ha sido la más estudiada. En la década de 1990, la NASA auspició el desarrollo de un sistema que permitiera el entrenamiento muscular en la situación de hipo gravedad que se da durante los vuelos espaciales. El entrenamiento físico con los sistemas tradicionales dependientes de la gravedad, obviamente, no es efectivo en esa situación. El resultado fue la denominada “Máquina con volantes de inercia para ejercicio”, (FWED) la denominada Flywheel Exercise Device. (Berg & Tesch, 1998).

Basada en la acumulación de energía por parte de volantes de inercia que acumulan energía cinética al girar: durante la fase muscular concéntrica, que se mantiene una vez acabada esta fase y que proporcionará la resistencia para la fase excéntrica, pues durante ésta, el volante se vuelve a frenar (Fig. 2). En la fase concéntrica se almacena la energía cinética y esta es devuelta en la fase excéntrica.

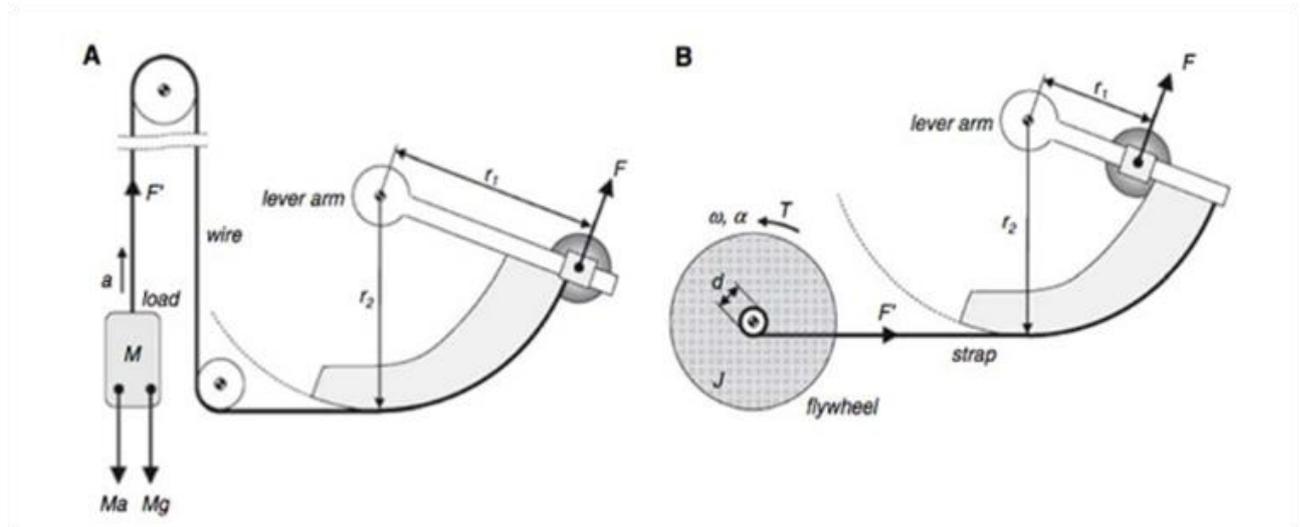


Figura 2. Mecanismo de un sistema tradicional dependiente de la gravedad (A) y otro de resistencia isoinercial (B). Tomado de Norrbrand, Fluckey, Pozzo, & Tesch (2008).

Las figuras representan las diferencias entre el mecanismo de una máquina de extensión de piernas isoinercial y otra convencional. En la figura A se puede observar cuando el sujeto hace fuerza para mover la palanca hacia arriba la resistencia es generada por masa que pende verticalmente. En la figura B se puede observar como la resistencia se genera mediante un volante que acumula energía cinética al girar, el mecanismo de esta tecnología consta de un eje donde se fija una correa que se envuelve y se desenvuelve durante la acción rotacional del dispositivo, la extensión completa de esta correa corresponde a la fase concéntrica del movimiento cuando el sujeto mueve la palanca hacia arriba y entonces los volantes aumentan su velocidad angular acumulando energía cinética de modo que al finalizar esta acción el volante sigue girando y la correa se vuelve a enrollar generando una resistencia a vencer en la fase excéntrica del movimiento. Así en un ciclo completo concéntrico-excéntrico, el volante siempre gira en un mismo sentido y cuanto más fuerte sea la fase concéntrica, la energía acumulada será proporcionalmente más alta y también la sobrecarga excéntrica (Berg & Tesch, 1994; Tous-Fajardo, Maldonado, Quintana, Pozzo & Tesch, 2006).

Por tanto, la resistencia a vencer está adaptada a la capacidad del individuo, pues es él quien la genera. Además, permite trabajar tanto la fase concéntrica como la excéntrica y



con cierta similitud al ciclo de estiramiento-acortamiento, sin necesidad de que haya impactos. Bien es cierto, que el mecanismo permite sobrecargar la fase excéntrica del ejercicio, mecanismo al cual se le atribuye los beneficios potenciales. Los beneficios que han sido demostrados científicamente, agrupan prevención de sarcopenia por situaciones de ingravidez o hipertrofia. (Alkner, Berg, Kozlovskaya, Sayenko & Tesch, 2003; Alkner & Tesch, 2004; Norrbrand, Fluckey, Pozzo, & Tesch, 2008; Tesch, Ekberg, Lindquist y Trieschman, 2004).

Según Askling, Karlsson y Thorstensson (2003), en la aplicación al campo deportivo, confieren un valor profiláctico al entrenamiento con sobrecarga excéntrica puesto que se detectó una reducción de lesiones en los músculos isquio-tibioperoneos cuando se aplicaba el entrenamiento con el flywheel. Esta reducción puede ser atribuida a un mayor estrés sobre los músculos flexores de la rodilla. Por último, la otra gran ventaja es que, al evitar los impactos, el riesgo de lesión disminuye considerablemente. Otro equipo de entrenamiento basado en la utilización de los volantes de inercia son las “powerball”, las cuales poseen el mismo principio para generar resistencia, aunque no hay información específica al respecto.

Estos hallazgos constatan que el sistema isoinercial refuerza la parte excéntrica del movimiento (frenando la acción de la gravedad) ayudando a la prevención de lesiones. Su aplicación también puede extrapolarse al acondicionamiento físico en fitness.

5.2. En vuelos espaciales

Como se ha comentado anteriormente está bien demostrada la utilidad del flywheel en la prevención de la pérdida de la masa muscular en los vuelos espaciales

Existen protocolos desarrollados para contrarrestar la atrofia muscular de los cuádriceps en los astronautas que están en órbita un largo periodo de tiempo en los que se recomiendan de forma preventiva entrenamiento de fuerza con sentadillas, pero no se prescribía ningún sistema de ejercicios adecuado para su uso en vuelo. El Flywheel Exercise Device (FWED) puede incluir un grupo de ejercicios adecuados para su realización en vuelo. Así se ha descrito en el artículo de Norrbrand, Tous-Fajardo, Vargas, & Tesch (2011), que el grupo muscular cuádriceps mostró tanta efectividad o incluso mayor con el ejercicio de fuerza de flywheel que con sentadillas con peso libre. Por lo tanto, se recomienda para su uso en vuelos espaciales. En definitiva, el FWED diseñado específicamente para el entrenamiento



durante los vuelos espaciales, ayuda a un mejor mantenimiento de la masa muscular (Hueser, Wolff, Berg, Tesch, & Cork, 2008).

5.3. Tipos de fuerza y modos de contracción

Según Knuttgen y Kraemer (1987) la fuerza se define como “capacidad de tensión que puede generar cada grupo muscular contra una resistencia, a una velocidad específica de ejecución, durante una contracción máxima voluntaria”. Por lo tanto, la fuerza se genera como resultado de la contracción.

Debemos conocer los tipos de contracciones musculares que vamos abordar en este trabajo para llegar a comprender a fondo los efectos que tiene el entrenamiento con flywheel en las modalidades deportivas. Por ello, se resumirán los siguientes conceptos.

- Contracciones isométricas: No existe movimiento. Propia del trabajo estático. No varía la longitud global del músculo.
- Contracciones isotónicas:
 - a) Contracción concéntrica: El músculo se acorta. El trabajo es positivo. Se acelera el movimiento. Se unen origen e inserción.
 - b) Contracción excéntrica: El músculo se alarga. El trabajo es negativo. Se frena el movimiento. Se separan origen e inserción.
- Contracciones auxotónicas: Se dan los tres tipos de contracciones anteriores. Propia de las contracciones pliométricas (Potencia) en la que el trabajo es combinado (1º fase excéntrica – 2º fase isométrica – 3º fase concéntrica). Muy común en las acciones deportivas.

Las publicaciones encontradas que investigan el entrenamiento con flywheel reportan se diversas adaptaciones asociadas a un entrenamiento de la fuerza. Un breve resumen de estas adaptaciones es el siguiente::

- Estructurales (hipertrofia: aumento de la sección transversal del músculo). En un estudio realizado por Norrbrand, Pozzo & Tesch (2010) se demuestra que el entrenamiento excéntrico con flywheel genera una mayor hipertrofia en el músculo que el levantamiento de pesas tradicional.



- Neuronales: nº de unidades motoras que se reclutan y sincronización de las mismas para generar fuerza. El reclutamiento de unidades motoras es mayor durante la acción excéntrica que la concéntrica implicando más regiones funcionales del cerebro.
- Elásticas: mejoras del componente elástico del músculo para generar potencia.
- Hormonales: Relacionadas principalmente con variaciones en niveles de testosterona, hormona del crecimiento, cortisol e insulina.

Más adelante, en otros apartados del trabajo, veremos cómo existen múltiples formas de entrenar con el flywheel, no sólo incidiendo en el tipo de contracción, sino en la velocidad de ejecución del ejercicio y en la magnitud de la carga de entrenamiento. Por ello es importante conocer los tipos de fibra musculares que intervienen en cada caso:

Se pueden distinguir al menos tres tipos de fibras esqueléticas, que están conectadas a sus respectivas motoneuronas. Fibras rápidas glucolíticas (FTb) y mixtas (FTa) que llegan a desarrollar tensiones altísimas en tiempos cortos, se fatigan rápidamente y tienen nervios motores de grandes dimensiones. Por el contrario, las fibras lentas (ST) producen una tensión débil durante un periodo de tiempo largo, son resistentes a la fatiga y tienen motoneuronas más pequeñas.

Las unidades motoras tónicas están constituidas por fibras lentas. Se caracterizan por contracciones con picos de tensión bajos y por un largo periodo de contracción. Son, además, las unidades motoras más pequeñas y reaccionan a estímulos no muy elevados. El número de miofibrillas que pertenecen a unidades motoras tónicas es muy superior al de las que pertenecen a unidades fásicas. Las unidades motoras fásicas son más grandes y están formadas por fibras rápidas que dependen del metabolismo anaeróbico y que desarrollan tensiones elevadas con un tiempo de contracción más breve. Según Heneman, Somjen & Carpenter (1965) son reclutadas cuando el movimiento requiere mucha fuerza con un control muy preciso. Se consiguen contracciones más fuertes gracias a un progresivo reclutamiento de unidades motoras más grandes que incluyen a las fibras rápidas. Burke & Edgerton (1975), mantienen que en los movimientos que no requieren más del 20% de la máxima producción de fuerza, los protagonistas son las fibras lentas.

5.4. Ejercicios y modos de entrenar el Flywheel.

La Kbox es el aparato principal para el entrenamiento de flywheel. Para introducir el peso puede equiparse con hasta cuatro volantes de 3 tamaños diferentes (ligero, medio o pesado), también puede equiparse kits de fijación al suelo para fijar la Kbox en ejercicios inestables.



El entrenamiento del flywheel en la kBox incluye ejercicios estándar para la mayoría de los principales grupos musculares, así como métodos avanzados para cada grupo muscular.

5.4.1. Ejercicios Estándar

La kBox es, probablemente, una herramienta más conocida para la sentadilla, pero está optimizada para más de 30 ejercicios. Esto incluye 10 de los ejercicios más importantes para el entrenamiento de la fuerza. Es importante tener en cuenta que siempre se trabaja en contra de la gravedad.

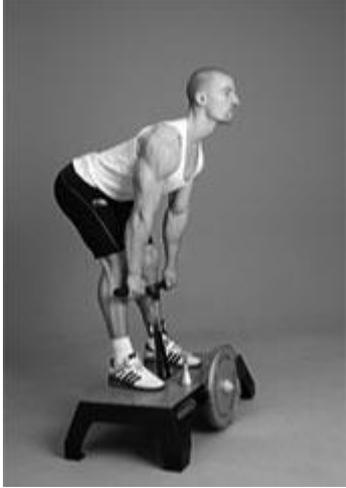
Algunos de ellos son:

- a) Sentadilla: La sentadilla en la kBox es un ejercicio básico con muchas variaciones importantes que utilizan desde los pacientes para la rehabilitación hasta deportistas de élite. Adecuado para el entrenamiento principalmente de los cuádriceps y los glúteos. Está altamente correlacionado con la mejora de los resultados en la altura del salto y la velocidad de sprint. Este tipo de dispositivo de entrenamiento y ejercicio permite diferentes modos de entrenar la fuerza, es decir, en la kBox con volantes de inercia se puede hacer sentadillas con la profundidad limitada, hacer entrenamiento tradicional concéntrico-excéntrico y usar sobrecarga excéntrica. Los beneficios de la realización de ejercicios sobre cuclillas en la kBox tiene numerosas ventajas en comparación con el uso de pesas tradicionales o equipos basados en la gravedad. En primer lugar la posibilidad de limitar la profundidad del ejercicio da seguridad. Y en segundo lugar, el arnés ergonómico

evita la necesidad de utilizar los brazos o las manos y evitar el riesgo de lesiones. Por tanto, se puede utilizar por diversas poblaciones independientemente de la habilidad de la técnica, así como por atletas con lesiones en las extremidades superiores. También incluye la variante de sentadilla con el talón apoyado para ayudar a la parte posterior a conseguir una postura vertical.

- b) **Peso muerto:** Es un importante ejercicio para la fuerza de la cadena posterior. Se puede hacer múltiples variantes de este ejercicio, incluyendo peso muerto, peso muerto en alta tracción, peso muerto de una sola pierna, peso muerto rígido y peso muerto rígido en alta tracción. Es una manera más segura de realizar el ejercicio en comparación con el peso libre, si siente dolor puede dejar de tirar sin soltar las pesas en el suelo.
- c) **Alta tracción:** Ejercicio para la parte superior y posterior del tronco. Subir la barra pegada al cuerpo hasta el pecho elevando los codos.
- d) **Sentadilla lateral:** Aumenta el rendimiento en acciones como correr, saltar, el sprint, el esquí y el patinaje. Activa los músculos de los glúteos hasta tal punto que es imposible lograr con los pesos tradicionales. Es un buen ejercicio para activar el glúteo medio y también prevenir las lesiones en el ligamento cruzado anterior. Un gran ejercicio para la parte inferior del cuerpo para las tareas de cambio de dirección. El beneficio es que permite una posición profunda incluso con un usuario rígido sin un soporte de talón. Es bueno para el rendimiento, la prevención de lesiones del LCA (ligamento cruzado anterior) y en la post-cirugía LCA-rehabilitación.
- e) **Curl de bíceps:** En los ejercicios tradicionales con mancuerna se hace muy poca palanca al comienzo y al final del movimiento. Esto hace que sea difícil una carga uniforme durante todo el movimiento y una elevada fuerza de tracción en todo el recorrido. Este problema no existe en el flywheel con la kBox debido a la resistencia variable, se obtiene una gran cantidad de movimiento y una tensión mecánica durante todo el movimiento con un consiguiente aumento de fuerza en todos los ángulos y mayor grado de hipertrofia en comparación con los pesos tradicionales donde el aumento de fuerza tiene su máximo en torno a los 90°.
- f) **Zancada:** con el pie de atrás apoyado en una plataforma, es como realizar una sentadilla con una pierna.
- g) **Extensión de tríceps sentado encima del aparato:** Perfecto ejercicio básico para desarrollar la fuerza y poder pasar a ejercicios más complejos o más avanzados explicados anteriormente.

- h) Extensión de la cadera: Un ejercicio para los tendones de la corva superiores. El ejercicio es una patada de pierna hacia atrás.
- i) Remo con sobrecarga excéntrica. Se trata de un ejercicio intenso pero con una gran cantidad de energía y movimiento, especialmente en la fase excéntrica. Refuerza la parte inferior y superior de la espalda, hombros y brazos. Si se hace un solo ejercicio para el tren superior, este debería ser uno.
- j) Aumento de pantorrilla: Pocas ejercicios existen para trabajar este músculo en los métodos de pesas tradicionales o máquinas de una sala de musculación, mediante el flywheel este ejercicio se puede realizar y ayuda a desarrollar los músculos de la pantorrilla de una manera nueva. Es conocido como un músculo difícil de obtener resultados, sobretodo hipertrofia.

Ejercicio	Resumen	Kbox
Sentadilla	Ejercicio para entrenar el cuádriceps que consiste en una flexo-extensión de la rodilla. Una de las ventajas es que se puede evitar el riesgo de lesión limitando la profundidad durante la bajada hasta donde tú quieras.	
Peso muerto	Es un ejercicio para trabajar toda la parte posterior de las piernas. El peso muerto o dead lift en la kBox permite parar a mitad de ejercicio si surgen molestias sin la necesidad de tener que posar la barra. Este ejercicio tiene a su vez variantes.	

<p>Alta tracción</p>	<p>En este ejercicio se trabaja la parte posterior del tren superior. Consiste en subir la barra pegada al cuerpo hasta el pecho elevando los codos.</p>	
<p>Sentadilla lateral</p>	<p>Es importante para prevenir las lesiones en el ligamento cruzado anterior. Es igual que la sentadilla pero lateral, no frontal, y se trabaja unilateralmente.</p>	
<p>Curl de bíceps</p>	<p>Es igual que el curl de bíceps con mancuernas, pero la diferencia reside en las ventajas que proporciona la kBox ya que permite generar una carga uniforme durante todo el recorrido gracias a su resistencia variable.</p>	

<p>Zancada</p>	<p>Con un pie hacia atrás apoyado en una plataforma y el otro pie adelantado, es como realizar una sentadilla con una pierna. El movimiento es en el plano vertical, es importante tener la espalda vertical y no echarse hacia delante para que la rodilla no sobrepase la puntera del pie.</p>	
<p>Extensión de tríceps</p>	<p>Ejercicio de tríceps sentado, se colocan los brazos hacia arriba verticalmente y se realiza una flexo-extensión de codo. Importante contraer el abdomen para mantener la espalda recta y no abrir los codos hacia afuera.</p>	
<p>Extensión de cadera</p>	<p>Es un ejercicio de pie, se trabaja unilateralmente con un pie apoyado en la plataforma y el otro atado a la correa, se hace una patada de la pierna hacia atrás mediante una extensión de la cadera.</p>	

Remo con sobrecarga	Es un buen ejercicio para trabajar el tren superior. Refuerza la parte inferior y superior de la espalda, hombros y brazos.	
Aumento de la pantorrilla	Consiste en una flexo-extensión del tobillo sin flexionar la rodilla, con las piernas y el tronco totalmente extendidos.	

5.4.2. Métodos avanzados

El entrenamiento con flywheel permite entrenar de diversas maneras todos estos ejercicios descritos anteriormente en función del tipo de contracción muscular

a) Entrenamiento excéntrico:

Es el tipo de contracción que consigue los mayores beneficios con el entrenamiento de flywheel. Aunque es propio de su desarrollo, pero para obtener sobrecarga excéntrica es necesario un método específico.

- Acción excéntrica retardada: el volante frena con fuerza en el final de la fase excéntrica, hay un retraso en la acción excéntrica (DEA). Funciona con todos los ejercicios en kBox, pero sólo ofrece sobrecarga en una parte limitada de la gama de movimiento excéntrico (concretamente al final del movimiento) y por lo tanto, un bajo

grado de sobrecarga total, al igual que en impulso de sobrecarga (posterior método excéntrico avanzado). Se realiza primero generando energía de rotación en la fase concéntrica, y luego seguir generando energía cinética en la fase excéntrica sin ofrecer resistencia hasta el final de la fase excéntrica para generar dura resistencia al final del movimiento excéntrico. Es útil en los ejercicios cuando no se puede generar sobrecarga o no hay un observador que te ayude. También resulta útil cuando se desea cargas pesadas en la fase de cambio de contracción excéntrica a concéntrica del CEA (ciclo de estiramiento-acortamiento), o al final de la parte excéntrica. Pero, como ya mencionamos tiene un bajo grado de sobrecarga total desde la carga total máxima, 1 RM de carga concéntrica sólo carga la parte excéntrica para un 70% de 1RM en general.

- **Sobrecarga de impulso:** Es una continuación del anterior, generar energía de rotación durante la parte concéntrica, y en la parte excéntrica al inicio justo después de la acción concéntrica no generar resistencia y al final del movimiento de la acción excéntrica tampoco juntándola con la acción concéntrica, de tal modo que el paso de exc-conc y conc-exc sea sin hacer resistencia generando más energía de rotación en el volante. Es decir, hacer sobrecargando la parte excéntrica excepto al inicio y al final de la fase que no hacemos resistencia generando energía de rotación en el volante. Es bueno para el entrenamiento específico y la fuerza de desaceleración orientada en un cierto ángulo por ejemplo para la fase de determinadas acciones deportivas: levantador de pesas olímpico, esquí alpino, puente... En general, no puede usarse para toda la población debido a la intensa carga.
- **Acción concéntrica sobrecargada:** Se puede realizar de dos formas.
La primera es mediante la adición de energía en la fase concéntrica usando los músculos accesorios para generar más fuerza de rotación o bien un patrón de movimiento más fuerte, pero para la fase excéntrica sólo se pone en funcionamiento el músculo principal o un patrón de movimiento más débil obteniéndose una alta sobrecarga excéntrica que se puede hacer a un ritmo específico, rápido y más atlético. O simplemente este método también sirve si no se quiere trabajar en la fase excéntrica sin hacer casi esfuerzo en la fase concéntrica.
También hay otra forma de realizarlo, que en vez de ser auto-asistida la ayuda en la que se utiliza un patrón de movimiento más fuerte o los músculos complementarios en la fase concéntrica, la otra manera es con ayuda asistida, en la que en la fase

concéntrica en vez de implicar los músculos accesorios, se tiene compañeros que ayudan a realizar una fase concéntrica mayor para luego afrontar sólo la fase excéntrica. La ventaja que tiene respecto a la auto-asistida es que el usuario no tiene que concentrarse tanto en realizar la fase concéntrica y puede focalizar toda su atención en la excéntrica.

- Sobrecarga lateral: Trabajo bilateralmente en la fase concéntrica y unilateralmente en la fase excéntrica, es decir, empujo o tiro con los brazos o piernas y uso un solo lado en la fase excéntrica. Se puede usar en múltiples ejercicios. Es útil para entrenar la potencia máxima generando una gran carga o sobrecarga excéntrica a alta velocidad de ejecución, por lo tanto es útil para deportes específicos con una gran cantidad de saltos y aterrizajes a una pierna como el voleibol o el baloncesto.
 - Ciclos de aceleración de carga concéntrica: No es un método de sobrecarga en sí mismo, sino que es una combinación de varias acciones, acciones de sobrecarga concéntrica y alta sobrecarga excéntrica y acciones concéntricas-excéntricas sin sobrecarga.
- b) Entrenamiento concéntrico: Permite mayor volumen de entrenamiento.
- c) Entrenamiento isométrico: Se puede realizar sin ayuda en la que se ajusta la longitud de la correa a nuestra posición isométrica, entonces se empuja sin efectuar ningún tipo de movimiento. O también se realiza con ayuda asistida, primero se ajusta la longitud de la correa de modo que podamos realizar una contracción concéntrica completa, luego el ayudante retrae un poco la cinta girando el eje hasta la posición deseada en la que queramos trabajar y entonces el ayudante sostiene el volante. Aunque no lo parezca no supone ningún esfuerzo para el ayudante mantener el volante en su posición sin que se mueva.

Toda esta información fue consultada en la página web oficial del flywheel. Extraído de www.exxentric.com

Para resumir, el entrenamiento excéntrico o con sobrecarga excéntrica mediante este dispositivo ofrece una serie de ventajas acerca de las lesiones. ¿Eso quiere decir que sea completamente seguro? No, probablemente no, ya que al realizar con cargas elevadas se debe tomar las precauciones necesarias y hacer una buena preparación. Siempre es



necesario calentar antes de entrenar, conocer los dispositivos y ejercicios, y estar preparado si se necesita abandonar el ejercicio, y aumentar la sobrecarga gradualmente con el tiempo.

5.5. Flywheel en el rendimiento deportivo

5.5.1. Los beneficios generales que tiene el flywheel en el rendimiento deportivo son:

- Refuerzo del tejido conectivo
- Incremento del umbral de ruptura del músculo
- Aumento de la fuerza tendinosa
- Rehabilitación y prevención de tendinopatías
- Refuerzo de isquiotibiales en futbolistas
- Mejora de la contracción voluntaria máxima

El estudio que realizaron Boza, Madrueño, Corrales, de Hoyo & del Ojo López (2014) en el que se analiza las mejoras del CMJ (salto vertical con contramovimiento) a través de los efectos del entrenamiento de fuerza en sistemas isoinerciales permite sacar las siguientes conclusiones. Para empezar cabe destacar que entre las acciones que mayor influencia tienen en el juego actual del fútbol, se encuentran los saltos, variando este número entre 1 y 36 saltos (Mohr, Krstrup & Bangsbo, 2003), por tanto la mejora en la altura del salto parece ser un parámetro de rendimiento en ese tipo de acciones. En esta línea, hay que destacar que la fuerza máxima presenta una correlación elevada con el rendimiento tanto en salto vertical como en sprint en futbolistas de élite (Wisloff, Castagna, Helgerud, Jones & Hoff, 2004). Los sistemas isoinerciales, tienen la particularidad de favorecer mayores picos de fuerza en la fase excéntrica del movimiento, con los beneficios que éstos llevan asociados a nivel neural (Howatson & Van Someren, 2007), mecánico (Reeves, Maganaris, Longo & Narici, 2009) y celular. La eficacia de esta tecnología inercial ha sido demostrada por varios estudios (Norrbrand et al., 2010), obteniendo adaptaciones neuromusculares después de muy pocas sesiones de entrenamiento.

Por lo tanto, muchos beneficios del entrenamiento con el FW están directamente relacionados con los beneficios del entrenamiento en excéntrico.



Por otra parte, debido a las limitaciones asociadas al modo de contracción la mejor forma de evaluar la fuerza excéntrica que nos aporta más información y de mayor utilidad es mediante la valoración isoinercial para poder tener un control del entrenamiento y cuantificar más exactamente la fuerza muscular excéntrica.

5.5.2. *Diferencias con el entrenamiento tradicional*

Según Chiu, & Salem (2006), el flywheel si se compara con el entrenamiento tradicional tiene adaptaciones distintas a las máquinas convencionales, reforzando estructuras que están menos implicadas en estas últimas.

En la mayoría de los estudios comparan dos grupos experimentales, un grupo realiza un entrenamiento con el flywheel y el otro grupo realiza un entrenamiento convencional con levantamiento de pesas tradicionales. Viendo los resultados de estos estudios a través de electromiograma observamos una mayor actividad EMG con el ejercicio FW en comparación con el levantamiento de pesas y esto podría ser atribuido a una mayor tensión muscular de la carga isoinercial resultante de la hipertrofia muscular observada en el electromiograma (Norrbrand et al., 2008, 2010; Caruso et al., 2006).

Los beneficios de este aparato incluyen en general una mayor actividad muscular en comparación con los ejercicios tradicionales, además este tipo de entrenamiento puede ofrecer sobrecarga y la habilidad de moverse libremente en las tres dimensiones obteniendo una mayor especificidad de los estímulos de entrenamiento (Young, 2006).

Como ya sabemos en la mayoría de los deportes, y sobre todo en los colectivos, la generación de fuerza en poco tiempo es requerida en muchas acciones. Acorde a la segunda ley de Newton la generación de fuerza es resultante de la masa multiplicada por la aceleración (la aceleración es velocidad dividida entre el tiempo), por lo tanto, el incremento de la fuerza desarrollada resultará de un aumento de la velocidad de movimiento. Por tanto, las investigaciones deberán enfocarse en la medición de la potencia (fuerza x velocidad), ya que estas mejoras inducen un incremento en el rendimiento de saltos, sprints y cambios de dirección presentes en la mayoría de las acciones de los deportes (Bosco, & Viitasalo, 1982).

Sin embargo, a veces estos incrementos en la potencia no están relacionados significativamente con el incremento en el rendimiento deportivo. La razón de esta disparidad es aún desconocida, pero algunos autores sostienen que la especificidad del entrenamiento puede influir a la transferencia del rendimiento (Young, 2006).

Algunas intervenciones para el desarrollo de la potencia en los deportes colectivos se utilizan ejercicios de tren inferior implicando la triple extensión del tobillo, la rodilla y la cadera, considerando que este tipo de ejercicio es el más cercano a las acciones de sprint y salto realizadas en numerosos deportes (Kawamori & Haff, 2004). Por lo tanto, para el desarrollo de la potencia se emplean habitualmente ejercicios balísticos, que son ejercicios ejecutados tan rápida y explosivamente como sean posibles maximizando el reclutamiento de fibras rápidas (FT) (Caruso et al., 2008).

Algunos ejemplos son: salto con sentadilla cargada, ejercicios pliométricos y levantamientos olímpicos (snatch y clean).

Sin embargo, una mayoría de estos ejercicios que mejoran la potencia del tren inferior están centrados en un movimiento en el plano vertical, cuando en realidad, en el deporte también existen movimientos horizontales (sprint y cambios de dirección), no sólo verticales. Según de Hoyo et al. (2015) para mejorar específicamente estas acciones deportivas concretas, propone el entrenamiento en plano horizontal usando flywheel que permita generar resistencia en este supuesto “plano específico”.



Figura 4. Las fotografías sirven para comparar los diferentes tipos de entrenamiento. Fotografía A: entrenamiento tradicional. Fotografía B: entrenamiento con flywheel. Tomado de Hoyo et al. (2015).



De Hoyo et al. (2015) analiza los efectos del entrenamiento de la potencia comparando ejercicios tradicionales de fuerza en el plano vertical frente a la dirección horizontal del flywheel con el objetivo de mejorar acciones específicas del deporte, tales como: cambios de dirección, sprints etc. Para los ejercicios tradicionales utilizan sentadillas en una máquina smith, en comparación con el ejercicio de zancada frontal en el flywheel (5-8- series con 8 repeticiones) a una intensidad relativa a la potencia máxima en el periodo de 6 semanas. La velocidad, el salto vertical con contramovimiento, la capacidad de cambios de dirección, y la fuerza durante la máxima contracción isométrica fueron evaluados antes y después de este programa de entrenamiento.

Los autores señalan que a pesar de que investigaciones previas hayan demostrado las adaptaciones positivas del entrenamiento tradicional en el plano vertical para la potencia, defienden que el entrenamiento tradicional (TT) y el entrenamiento con flywheel en plano horizontal (HFT) deberían diferir en su magnitud de mejoría para cada acción deportiva diferente, basándose en la teoría de la especificidad. Es decir, las acciones deportivas en el plano horizontal como los sprints y los cambios de dirección podrían mejorar más con el entrenamiento de la potencia en plano horizontal con flywheel, y las acciones deportivas en plano vertical como los saltos deberían mejorarse más con el entrenamiento de pesas tradicional en plano vertical.

Las fotografías representan la comparación que realiza de Hoyo et al. (2015). En la figura A se representa el entrenamiento tradicional a través de un ejercicio de sentadilla con peso libre en el cual el sujeto está trabajando en plano vertical, frente a la figura B que aparece representado el entrenamiento con flywheel a través de un ejercicio de zancada frontal en el cual el sujeto está trabajando en plano horizontal.

En la tabla 1 se muestra una síntesis de los resultados que han obtenido diversos autores que comparan los efectos que tiene el entrenamiento con flywheel en comparación con el entrenamiento tradicional dependiente de la gravedad.

Autores	Sujetos	Método	Resultados
<i>Estudios que comparan FWED con métodos dependientes de la gravedad.</i>			
Berg y Tesch, (1994)	11 H. 28 ± 5 años. Activos. Hicieron FWED y MEP	FWED: 1 x 10 rep máx MEP: 1 x 10 carga 9 – 12 RM 2 series MCV de extensión. Se estudió efecto agudo	↑ activación EMG EXC en FWED. Este también tuvo mayor fuerza CON y EXC y fuerza pico. Se recomienda como medio para ser usado en el espacio.
Norrbrand et al., (2008)	15 H sanos no entrenados Grupo FWED: n = 7 39,1 ± 9,1 años Grupo MEP: n = 8 39 ± 8,1 años.	FWED: 4 x 7 rep máx. 2 – 3 d /sem x 12 sesiones en 5 sem. MEP: 4 x 7 a 7 RM. Ídem frecuencia y duración 2 'pausa para ambos. Se ejercitó miembro izquierdo.	FWED ↑ hipertrofia en todo el cuádriceps por sobrecarga excéntrica (MEP solo 1 músculo). ↑ MCV. FWED induce adaptaciones mayores ó = que entrenamiento estándar.
Norrbrand et al., (2010)	17 H sanos no entrenados Grupo FWED n = 9 . 38,8 ± 5 años Grupo MEP: n = 8 . 39,4 ± 8,1 años	Ídem al anterior, pero se estudió la activación muscular.	↑ Activación EMG en MCV y denota sobrecarga EXC pre – y post entrenamiento en grupo FWED. Esto explicaría hipertrofia informada por Norrbrand et al., (2008).
Norrbrand et al., (2011)	10 H entrenados en fuerza. 31 ± 4 años.	5 x 10 sentadillas a 10 RM FWED: 5 x 10 rep máx. Se estudió efecto agudo.	FWED estimuló cuádriceps más que sentadilla, con ↑ activación EMG en fase EXC sobre algunos de los músculos del cuádriceps.
Onambélé, et al., (2008)	12 H, 12 M. mayores saludables Grupo FWED: 69,6 ± 1,1 años Grupo MEP: 70,2 ± 1,5 años	Grupo MEP: 4 x 8 – 12 rep, 80% 1 RM, 5' pausa. Grupo FWED: de 1 X 8 a 4 x 12 Vel confortable máx carga 5' pausa. Ambos x 12 sem.	Contradicción en fuerza de cuádriceps: ↑ MCV: FWED 8% MEP: 17%. ↑ Potencia dinámica FWED 28% MEP 4%. FWED favoreció flexores plantares ↑ equilibrio 46%

Tabla 1. Estudios que compara FWED con métodos dependientes de la gravedad. Tomado de Franco, S. A. A. (2014).

5.6. Entrenamiento excéntrico con el flywheel: prevención y tratamiento de lesiones

El entrenamiento de fuerza a través de las contracciones excéntricas parece ser un medio importante ya que las adaptaciones producidas por este tipo de contracción generan un efecto protector (evitar lesiones) al aumentar el umbral de rotura y la capacidad de absorber mayores cargas. Anteriormente se decía que era más lesivo por un mayor daño e inflamación muscular, pero actualmente se sabe que tras la aplicación de una sesión de trabajo excéntrico y una recuperación completa aumenta el umbral de rotura del músculo provocando que en próximas sesiones de trabajo excéntrico el daño muscular sea mínimo corroborando la capacidad del músculo para absorber cargas y un efecto protector ante las roturas (Greenwood, Morrissey, Rutherford, & Narici, 2007).

Referente a **la prevención de lesiones** Hibbert, Cheong, Grant, Beers & Moizumi (2008) explican que durante la zancada en velocistas la ganancia de fuerza en los isquiotibiales durante la contracción excéntrica reduce el riesgo de lesiones y mejora el rendimiento en ese gesto, y esto se mejora con ejercicios de contracción excéntrica más que concéntrica. Además que el trabajo excéntrico comparado con el concéntrico ayuda más a una mejora del ratio cuádriceps-isquiotibiales que sufre tras un periodo prolongado de



movimientos explosivos, pues una relación cuádriceps-isquiotibiales inferior al 60% predispone a la lesión del ligamento cruzado anterior

El ejercicio excéntrico no interviene solo en la prevención, sino también en el **tratamiento de las lesiones**.

Romero-Rodríguez, Gual & Tesch (2011), indican que en respuesta a un entrenamiento excéntrico con tecnología isoinercial se puede observar:

- 1) Un aumento de la fuerza de tensión tendinosa.
- 2) Efecto del estiramiento en el alargamiento de la unión músculo-tendinosa y en la reducción de la movilidad articular.
- 3) Alteración en la percepción del dolor proveniente del tendón.

La conclusión de este tipo de estudios es que este entrenamiento es importante no sólo en la rehabilitación sino en la posterior readaptación para el entrenamiento y la competición.

Las intervenciones quirúrgicas se acompañan de disminuciones de la frecuencia electromiográfica, como las observadas por Bryant, Kelly & Hohmann (2008) en los cuádriceps de deportistas intervenidos por rotura del ligamento cruzado anterior. Esto, a su vez, se relaciona con una menor velocidad de conducción de las unidades motoras, atrofiando a las fibras musculares rápidas, lo que dificulta la capacidad de los cuádriceps para estabilizar la rodilla. Por tanto, en este caso, estaría aconsejado no solamente el trabajo excéntrico de esta musculatura, sino que este debería de ser ante altas resistencias o a altas velocidades para que el reclutamiento de fibras rápidas impida esta afectación negativa de la lesión.

Por lo tanto, partiendo de lo dicho anteriormente de que los mecanismos isoinerciales (Flywheel) son una buena forma de trabajar en excéntrico, y de que el ejercicio excéntrico está actualmente demostrado que ayuda en la prevención de lesiones, también en el tratamiento de las mismas para una rápida recuperación, y en el rendimiento deportivo siendo un importante mecanismo para estudiar en el ámbito deportivo.

En la tabla 2 se muestra una síntesis de los resultados que han obtenido diversos autores que estudiaron el efecto que tiene el entrenamiento de flywheel en la prevención y tratamiento de lesiones.

Estudios con FWED en prevención o rehabilitación de lesiones.

Asking et al., (2003)	30 H. Futbolistas. GE: n = 15; 24 ± 2,6 años. GC: n = 15; 26 ± 3,6 años.	FWED 4 x 8 rep máx x 16 sesiones en 10 sem. Entrenamiento musculatura isquiotibial. GC: no ejercicio.	GE ↑ fuerza y Vel 30 m. Solo 3 lesiones en temporada vs 10 de GC. Primera lesión después de 4 meses. FWED previene lesión en Isquiotibiales.
Romero-Rodríguez et al., (2011)	10 H. Atletas con tendinopatía rotuliana crónica, 5 unilateral y 5 bilateral. 25 ± 6 años (15 tendones).	FWED: 4 x 10 rep máx, pausa 2' 2 d / sem x 6 sem, 12 sesiones alta intensidad / baja frecuencia 48 horas de reposo entre sesiones.	= CMJ. ↓ EMG durante flexión erector de la espina y recto anterior de pierna lesionada. ↓ dolor 60%. ↑ Fuerza EXC, tendencia ↑ fuerza CON. Mejora clínica general.
Greenwood et al., (2007)	16 H. 13 M. con lesión de rodilla Grupo FWED: n = 14. 38 ± 12 años. Grupo MEP: n = 15. 41 ± 15 años.	FWED y MEP 4 x 10 Vel regulada x metrónomo, mínimo 1' pausa 3 d / sem x 12 sem. Se ejercita rodilla lesionada.	Ambos grupos mejoran: ↑ Hipertrofia VL. ↑ 6 / 10 variables (fuerza CON, EXC, Isométrica) Hay mayor Fuerza EXC en FWED.

Tabla 2: Estudios que analizan los efectos del entrenamiento con FWED para la rehabilitación y prevención de lesiones. Tomado de Franco, S. A. A. (2014).

5.7. Flywheel para rehabilitación física en pacientes con derrame cerebral

El derrame cerebral o ictus es una enfermedad que interfiere en la conducción neuronal al músculo esquelético y es manifestada en disfunción neuromuscular. La pérdida de la función muscular que ocurre después un derrame cerebral, conlleva un estilo de vida sedentario que agrava esta enfermedad, interfiere en la recuperación funcional y por consiguiente incrementa la dependencia. Los ejercicios aeróbicos mejoran habilidades cognitivas cuando se está perdiendo funcionalidad tanto en personas mayores como en personas con derrame cerebral (Quaney et al., 2009). Estos efectos aparecen aumentados cuando están combinados con ejercicios de fuerza. Así, individuos envejecidos mostraron incremento en la memoria, funciones ejecutivas, atención y resolución de conflictos después de entrenamiento con ejercicios de fuerza (Cassilhas, et al., 2007; Nagamatsu, Handy, Hsu, Voss & Liu-Ambrose, 2012). Los ejercicios de fuerza a una velocidad variable inducen adaptaciones más profundas que a velocidad constante. Comparado con las acciones concéntricas e isométricas, las acciones musculares excéntricas requieren una estimulación única por el sistema nervioso alterando el orden de reclutamiento de las unidades motora, es decir, la amplitud y área de la actividad cerebral es mayor durante la acción excéntrica que en la concéntrica al reclutar un mayor número de unidades motoras implicando más regiones funcionales del cerebro. Recientemente, Fernández-Gonzalo et al. (2016) también demuestran que ejercicios de fuerza con FW incrementan las funciones neuromusculares y habilidades físicas sin empeoramiento en pacientes con derrame cerebral o apoplejía. Esto



sugeriría que el entrenamiento de FW con sobrecarga excéntrica podría servir como una rehabilitación altamente efectiva tras apoplejía, derrame cerebral o ictus.

Fernández-Gonzalo et al. (2016), en una de las recientes publicaciones que explora los efectos de 12 semanas de un programa de entrenamiento de Flywheel con sobrecarga excéntrica del miembro más afectado evaluando la magnitud del músculo esquelético, la fuerza y potencia, el rendimiento funcional y la función cognitiva. En cada sesión realizaron 4 series con siete repeticiones máximas consecutivas acelerando la rotación del volante durante la acción concéntrica y desacelerando en la subsiguiente acción excéntrica. El ejercicio consiste en empujar con un esfuerzo máximo durante todo el rango de la acción concéntrica. Ya que el volante rebobina, y los pacientes resistían la fuerza inercial que era devuelta lentamente durante el primer tercio de la acción excéntrica y aplicando el máximo esfuerzo para parar el movimiento sobre un 70% de la flexión de la rodilla. Una vez parado el flywheel, se realizaba una subsiguiente acción concéntrica con una recuperación de 3 minutos entre series.

Después del entrenamiento los resultados mostraron que este entrenamiento provocó una hipertrofia sustancial (9,4%) en el cuádriceps femoral entrenado (es decir, el miembro más afectado en pacientes con derrame cerebral) acompañado por un marcado incremento en la fuerza y potencia del músculo. El miembro contra-lateral no entrenado mostró un incremento en la fuerza y potencia dinámica. Quizás lo más interesante de este estudio es que las funciones ejecutivas, la atención y velocidad para procesar la información se incrementaron después de los ejercicios con FW. Los cambios se atribuyeron al bajo volumen y a la actividad de alta intensidad del músculo contráctil. Durante las 24 sesiones (12 semanas), la potencia del músculo entrenado se incrementó un 61%, aproximadamente con un rango del 5% semanalmente. La fuerza y la potencia del miembro no entrenado también mejoró, este efecto cruzado parece ocurrir en individuos con esta enfermedad después de ejercicios de fuerza excéntricos o con sobrecarga excéntrica, pero no concéntricos. Como demuestran Fernández-Gonzalo et al. (2016)

En resumen el derrame cerebral o ictus es una enfermedad que interfiere en la conducción neuronal al músculo esquelético y es manifestada en disfunción neuromuscular tanto del miembro más afectado como del menos. Las acciones musculares excéntricas aportan unos potentes estímulos para contrarrestar este efecto. Las adaptaciones cognitivas inducidas por el ejercicio incluyen mejorías en funciones ejecutivas. Sin embargo, la vasta mayoría de estudios tienen empleados alto volumen de ejercicios o modalidad aeróbica. Los datos del estudio de Fernández-Gonzalo et al.. (2016) que resumimos anteriormente sugieren



que sesiones de fuerza excéntrica con sobrecarga a la máxima intensidad, comprendiendo sólo 4 minutos de actividad contráctil semanalmente, mejora la función cognitiva y ejecutiva en estos sujetos con dicha enfermedad. Aquí los ejercicios con FW proporcionan una ventaja efectiva en poco tiempo para la mejora en la masa muscular. Las acciones musculares excéntricas parecen facilitar la actividad de algunas regiones cerebrales, como son las áreas implicadas en la memoria, la fluidez verbal y la percepción del dolor, dichos aspectos mejorarían después del actual protocolo con ejercicios de flywheel. Sería interesante que estas adaptaciones se corroboraran con estudios de MRI (resonancia magnética) funcional o electroencefalomiografía.

Adicionalmente, el empleo de acciones musculares de alta intensidad ha demostrado su eficacia para mejorar las funciones vitales en pacientes con accidente cerebrovascular sin exacerbar la espasticidad. Lo que quiere decir que el ejercicio de alta intensidad no agrava este tipo de enfermedad que tiene lugar en personas con algún trastorno motor del sistema nervioso que hace que los músculos se mantengan permanentemente contraídos y en tensión ante determinadas acciones

6. CONCLUSIONES

1º) El sistema de los aparatos isoinerciales se basa en almacenar la energía cinética durante la contracción concéntrica y liberar dicha energía en la contracción excéntrica. El origen del flywheel comenzó cuando la NASA buscaba un sistema de entrenamiento que permitiera a los astronautas entrenar en situaciones de hipo gravedad y evitar esa pérdida de masa muscular durante los vuelos espaciales. El mecanismo del flywheel se basa en unos volantes de inercia que acumulan energía cinética cuando giran generando resistencia en la fase excéntrica. Por lo tanto, podemos concluir que los sistemas isoinerciales, como el flywheel, refuerzan la parte excéntrica del movimiento frenando la acción de la gravedad.

2º) Ejercicios y principios: El entrenamiento con flywheel incluye una gran cantidad de ejercicios estándar que también se realizan con el entrenamiento tradicional y además ofrece una amplia variedad de formas alternativas de entrenar más avanzadas. Los ejercicios básicos realizados en el dispositivo flywheel permiten llevarlos a cabo de manera más segura y efectiva, además el entrenamiento con flywheel ofrece una diversidad de formas para entrenar todos estos ejercicios básicos a través de diferentes tipos de contracción muscular y



a diferente velocidad. Entre ellas se encuentra la sobrecarga excéntrica, método con el que el flywheel obtiene los mejores resultados.

3º) En la mayoría de los estudios comparan el grupo que realiza el entrenamiento con el flywheel con el otro grupo que realiza un entrenamiento tradicional se observa una mayor actividad EMG con el ejercicio FW en comparación con el levantamiento de pesas, atribuido a un mayor grado de hipertrofia.

4ª) El entrenamiento excéntrico mejora la capacidad del músculo para absorber cargas y proporciona un efecto protector ante las roturas. El ejercicio excéntrico no interviene solo en la prevención, sino también en el tratamiento de las lesiones y en la posterior readaptación para el entrenamiento y la competición. Por lo tanto, podemos concluir que los mecanismos isoenergéticos ayudan en la prevención de lesiones, en el tratamiento de las mismas, y en el rendimiento deportivo.

5) El derrame cerebral o ictus es una enfermedad que interfiere en la conducción neuronal al músculo esquelético y se manifiesta con disfunción neuromuscular. Durante la acción excéntrica la amplitud y el área de actividad cerebral es mayor al reclutar un mayor número de unidades motoras implicando más regiones funcionales del cerebro. Por lo tanto, las acciones musculares excéntricas aportan unos potentes estímulos para contrarrestar los efectos negativos después de un derrame cerebral. Podemos concluir que el entrenamiento del flywheel con sobrecarga excéntrica podría servir para la rehabilitación en pacientes con derrame cerebral.

7. BIBLIOGRAFÍA

Alkner, B. A., Berg, H. E., Kozlovskaya, I., Sayenko, D., & Tesch, P. A. (2003). Effects of strength training, using a gravity-independent exercise system, performed during 110 days of simulated space station confinement. *European Journal of Applied Physiology*, 90 (1-2), 44-49.

Alkner, B. A., & Tesch, P. A. (2004). Efficacy of a gravity-independent resistance exercise device as a countermeasure to muscle atrophy during 29-day bed rest. *Acta Physiologica Scandinavica*, 181 (3), 345-357.



Asking, C., Karlsson, J., & Thorstensson, A. (2003). Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload. *Scandinavian Journal of Medicine & Science In Sports*, 13 (4), 244-250.

Berg, H. E., & Tesch, A. (1994). A gravity-independent ergometer to be used for resistance training in space. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 65 (8), 752-756.

Berg, H. E., & Tesch, P. A. (1998). Force and power characteristics of a resistive exercise device for use in space. *Acta Astronautica*, 42 (1), 219-230.

Bosco, C., & Viitasalo, J. T. (1982). Potentiation of myoelectrical activity of human muscles in vertical jumps. *Electromyography and Clinical Neurophysiology*, 22 (7), 549-562.

Boza, S. R., Madrueño, A. F., Corrales, F. D. B. S., de Hoyo Lora, M., & del Ojo López, J. J. (2014). Efectos de entrenamiento de fuerza en sistema isoercial sobre la mejora del CMJ en jóvenes futbolistas de elite. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, (26), 180-182.

Bryant, A. L., Kelly, J., & Hohmann, E. (2008). Neuromuscular adaptations and correlates of knee functionality following ACL reconstruction. *Journal of Orthopaedic Research*, 26 (1), 126-135.

Burke, R. E., & Edgerton, V. R. (1975). Motor unit properties and selective involvement in movement. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 3 (1), 31-82.

Caruso, J. F., Hari, P., Coday, M. A., Leeper, A., Ramey, E., Monda, J. K., ... & Davison, S. (2008). Performance evaluation of a high-speed inertial exercise trainer. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22 (6), 1760-1768.

Caruso, J. F., Hernandez, D. A., Porter, A., Schweikert, T., Saito, K., Cho, M., ... & Nelson, N. M. (2006). Integrated electromyography and performance outcomes to inertial resistance exercise. *Journal of Strength And Conditioning Research/National Strength & Conditioning Association*, 20(1), 151-156.

Cassilhas, R. C., Viana, V. A., Grassmann, V., Santos, R. T., Santos, R. F., Tufik, S., & Mello, M. T. (2007). The impact of resistance exercise on the cognitive function of the elderly. *Medicine and Science In Sports And Exercise*, 39 (8), 1401.

Chiu, L. Z., & Salem, G. J. (2006). Comparison of joint kinetics during free weight and flywheel resistance exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 20 (3), 555-562.



de Hoyo, M., Sañudo, B., Carrasco, L., Domínguez-Cobo, S., Mateo-Cortes, J., Cadenas-Sánchez, M. M., & Nimphius, S. (2015). Effects of Traditional Versus Horizontal Inertial Flywheel Power Training on Common Sport-Related Tasks. *Journal of Human Kinetics*, 47(1), 155-167.

Fernandez-Gonzalo, R., Fernandez-Gonzalo, S., Turon, M., Prieto, C., Tesch, P. A., & del Carmen García-Carreira, M. (2016). Muscle, functional and cognitive adaptations after flywheel resistance training in stroke patients: a pilot randomized controlled trial. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 13(1), 1.

Franco, S. A. A. (2014). *Efectos de un entrenamiento con sobrecarga excéntrica sobre la fuerza, la capacidad funcional y la masa muscular en personas mayores de 65 años*. Tesis Doctoral. Universidad de León.

Greenwood, J., Morrissey, M. C., Rutherford, O. M., & Narici, M. V. (2007). Comparison of conventional resistance training and the fly-wheel ergometer for training the quadriceps muscle group in patients with unilateral knee injury. *European Journal of Applied Physiology*, 101(6), 697-703.

Henneman, E., Somjen, G., & Carpenter, D. O. (1965). Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *Journal of Neurophysiology*, 28(3), 560-580.

Howatson, G., & Van Someren, K. A. (2007). Evidence of a contralateral repeated bout effect after maximal eccentric contractions. *European Journal of Applied Physiology*, 101(2), 207-214.

Hibbert, O., Cheong, K., Grant, A., Beers, A., & Moizumi, T. (2008). A systematic review of the effectiveness of eccentric strength training in the prevention of hamstring muscle strains in otherwise healthy individuals. *North American Journal of Sports Physical Therapy: NAJSPT*, 3(2), 67.

Hueser, D., Wolff, C., Berg, H. E., Tesch, P. A., & Cork, M. (2008). The fly wheel exercise device (FWED): A countermeasure against bone loss and muscle atrophy. *Acta Astronautica*, 62(2), 232-239.

Kawamori, N., & Haff, G. G. (2004). The optimal training load for the development of muscular power. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(3), 675-684.

Knuttgen, H. G., & Kraemer, W. J. (1987). Terminology and measurement in exercise performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 1(1), 1-10.



Mohr, M., Krstrup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 21 (7), 519-528.

Nagamatsu, L. S., Handy, T. C., Hsu, C. L., Voss, M., & Liu-Ambrose, T. (2012). Resistance training promotes cognitive and functional brain plasticity in seniors with probable mild cognitive impairment. *Archives of Internal Medicine*, 172 (8), 666-668.

Norrbrand, L., Fluckey, J. D., Pozzo, M., & Tesch, P. A. (2008). Resistance training using eccentric overload induces early adaptations in skeletal muscle size. *European Journal of Applied Physiology*, 102 (3), 271-281.

Norrbrand, L., Pozzo, M., & Tesch, P. A. (2010). Flywheel resistance training calls for greater eccentric muscle activation than weight training. *European Journal of Applied Physiology*, 110 (5), 997-1005.

Norrbrand, L., Tous-Fajardo, J., Vargas, R., & Tesch, P. A. (2011). Quadriceps muscle use in the flywheel and barbell squat. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 82 (1), 13-19.

Quaney, B. M., Boyd, L. A., McDowd, J. M., Zahner, L. H., He, J., Mayo, M. S., & Macko, R. F. (2009). Aerobic Exercise Improves Cognition and Motor Function Poststroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 23 (9), 879.

Reeves, N. D., Maganaris, C. N., Longo, S., & Narici, M. V. (2009). Differential adaptations to eccentric versus conventional resistance training in older humans. *Experimental Physiology*, 94 (7), 825-833.

Romero-Rodriguez, D., Gual, G., & Tesch, P. A. (2011). Efficacy of an inertial resistance training paradigm in the treatment of patellar tendinopathy in athletes: a case-series study. *Physical Therapy in Sport*, 12 (1), 43-48.

Tesch, P. A., Ekberg, A., Lindquist, D. M., & Trieschmann, J. T. (2004). Muscle hypertrophy following 5-week resistance training using a non-gravity-dependent exercise system. *Acta Physiologica Scandinavica*, 180 (1), 89-98.

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. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1(3), 293-298.



Wisloff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., & Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 38 (3), 285-288.

Young, W. B. (2006). Transfer of strength and power training to sports performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1(2), 74-83.