

Mosteiro-Muñoz, F. y Domínguez, R. (2017) Efectos del entrenamiento con sobrecargas isoinerciales sobre la función muscular / Effects of Inertial Overload Resistance Training on Muscle Function. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. 17 (68) pp. 757-773 [Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista68/artefectos853.htm](http://cdeporte.rediris.es/revista/revista68/artefectos853.htm)  
<https://doi.org/10.15366/rimcafd2017.68.011>

## REVISIÓN / REVIEW

# EFFECTOS DEL ENTRENAMIENTO CON SOBRECARGAS ISOINERCIALES SOBRE LA FUNCIÓN MUSCULAR

## EFFECTS OF INERTIAL OVERLOAD RESISTANCE TRAINING ON MUSCLE FUNCTION

Mosteiro-Muñoz, F.<sup>1</sup> y Domínguez, R.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, Universidad Alfonso X El Sabio (España) [fmostmun@myuax.com](mailto:fmostmun@myuax.com)

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, Universidad Alfonso X El Sabio (España) [rdomiher@uax.es](mailto:rdomiher@uax.es)

**Código UNESCO / UNESCO code:** 2411 Fisiología del Ejercicio / Exercise Physiology

**Clasificación Consejo de Europa / Council of Europe Classification:** 6. Fisiología del Ejercicio / Exercise Physiology

**Recibido** 10 junio de 2015 **Received** June 10, 2015

**Aceptado** 28 enero de 2016 **Accepted** January 28, 2016

### RESUMEN

El entrenamiento de fuerza debe incluirse en todos los programas de ejercicio encaminados a mejorar la salud y la calidad de vida. Los programas de entrenamiento de fuerza han priorizado los regímenes de contracción concéntricos a los excéntricos, sin embargo, actualmente se está realizando un tipo de entrenamiento de fuerza basado en contracciones excéntricas mediante sobrecargas de tipo inercial. Por tanto, el objetivo del presente trabajo de revisión bibliográfica ha sido comprobar los efectos de este tipo de entrenamiento basado en contracciones excéntricas mediante sobrecargas de tipo inercial sobre la función muscular. Para ello se realizó una búsqueda bibliográfica en las bases de datos *Web of Science*, *Pubmed*, *Medline*, *Dialnet* y *Scielo*. Los resultados de nuestra revisión sugieren que este tipo de entrenamiento da lugar a una mayor actividad electromiográfica e hipertrofia muscular con respecto a programas de entrenamiento convencionales, al tiempo que podrían ser efectivos en la recuperación de lesiones músculo-tendinosas.

**PALABRAS CLAVE:** excéntrico, volante carga inercial, resistencia inercial, entrenamiento fuerza, fuerza.

## ABSTRACT

Resistance training should be included in all exercise programmes which improve health and quality of life. These programmes have been focusing on both concentric-eccentric contractions, however, a new type of resistance training based on eccentric contractions provided by inertial overload is being carried out. Therefore, the aim of the present study is to prove the effects of this kind of training based on eccentric contractions by inertial overload. Databases utilized to carry out information research were *Web of Science*, *Pubmed*, *Medline*, *Dialnet* and *Scielo*. Results would suggest that inertial training based on inertial overload produces maximal EMG and an earlier muscular hypertrophy compared to conventional resistance training, besides the fact it could have successful on muscle-tendon injuries.

**KEYWORDS:** eccentric, flywheel inertial loading, inertial resistance, resistance training, strength.

## INTRODUCCIÓN

El entrenamiento de fuerza induce una serie de adaptaciones, tanto de tipo neural como estructural (Crewter, Cronin y Keogh, 2006; Hunter, McCarty y Bamman, 2004; Young et al., 2005), que conllevan mejoras en los niveles de hipertrofia, fuerza y potencia muscular (Smith et al., 2014). Dichas adaptaciones han ocasionado que este tipo de ejercicio sea empleado por deportistas de la práctica totalidad de modalidades para mejorar su rendimiento (Basset y Howley, 2000; Young et al., 2005). Los efectos del entrenamiento de fuerza sobre la masa (Chung et al., 2013) y la calidad muscular (Brooks et al., 2007), también, se han asociado positivamente con factores como la sensibilidad a la insulina y negativamente con enfermedades neuromusculares, como pudiera ser la enfermedad de Parkinson (Schilling et al., 2009). Por ello, el entrenamiento de fuerza debe incluirse en todos aquellos programas de ejercicio encaminados a mejorar la salud y la calidad de vida (Ratamess et al., 2009).

El entrenamiento de fuerza a través de contracciones concéntricas ha sido el más frecuentemente empleado, debido a que las contracciones excéntricas, se han relacionado con dolor muscular tardío y deterioro funcional de la fibra muscular que se acompaña de una disminución transitoria de los niveles de fuerza máxima, potencia muscular y economía del gesto deportivo (Braun y Dutto, 2003; Cheung, Hume, y Maxwell, 2003; Moysi et al., 2005; Yu et al., 2003). El daño muscular provocado por las contracciones excéntricas, además, se acentúa a medida que aumenta la velocidad de contracción (Chapman et al., 2008), el grado de amplitud, la intensidad y la duración de la misma (Cheung et al., 2003; Moysi et al., 2005; Nosaka, Newton y Sacco, 2002). Sin embargo, actualmente, está adquiriendo gran popularidad un tipo de entrenamiento excéntrico basado en contracciones de alta velocidad e intensidad conocido como entrenamiento excéntrico con sobrecargas inerciales.

Las máquinas que emplean sobrecargas excéntricas de tipo inercial tienen su base en un disco giratorio fijado a una estructura de soporte con una correa que actúa a una distancia desde el eje de rotación, y desde la que se ejercen movimientos de tracción (Chiu y Salem, 2006). De este modo, tras traccionar de la correa mediante una acción concéntrica, el volante sigue girando como consecuencia de la inercia hasta un momento en el que el músculo debe desacelerar toda la energía cinética previamente generada al final de la fase excéntrica, de una forma rápida (Tesch, Ekberg y Trieschmann, 2004). De este modo, el menor desplazamiento angular en esta fase es el responsable del incremento de la carga en la acción excéntrica del movimiento (Tous, 2010).

Se ha propuesto que el entrenamiento excéntrico de tipo inercial puede ser un estímulo adecuado no sólo para mejorar los niveles de fuerza y potencia en población sana (Norrbrand et al., 2008, 2010) sino que, además, podría ser un sistema de entrenamiento óptimo para evitar estados sarcopénicos (Reeves et al., 2005) e incluso prevenir la aparición de lesiones y facilitar la recuperación de las mismas (Romero-Rodríguez, Gual y Tesch, 2011). Por tanto, el objetivo del presente trabajo de revisión bibliográfica ha sido el de comprobar la efectividad del entrenamiento excéntrico de tipo inercial sobre la capacidad de producción de fuerza y la potencia muscular y de producir cambios a nivel del tejido músculo esquelético y tejido conjuntivo.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Con objeto de responder a los objetivos del trabajo, se ha realizado una revisión bibliográfica en la que se incluyeron a todos aquellos trabajos de intervención de entrenamiento con sobrecargas inerciales que hayan valorado las adaptaciones sobre la función musculo-tendinosa. La búsqueda bibliográfica, en las bases de datos *Web of Science*, *Pubmed*, *Medline*, *Dialnet* y *SciELO*, se realizó empleando palabras clave incluidas en el *Medical Subjects Headings (MeSH)* desarrollado por la *U.S National Library of Medicine*. Los términos empleados fueron “*eccentric overload*”, “*eccentric muscle actions*”, “*inertial training*” y *flywheel*, en combinación con “*resistance training*” y *strength*.

Un total de 626 resultados respondieron a la estrategia de búsqueda, sin embargo, se aplicó un filtro que delimitó a los trabajos publicados en un período comprendido entre 2005 y el 1 enero de 2015. Los 235 abstracts publicados en la fecha indicada fueron leídos por dos investigadores. A continuación, los investigadores fueron eliminando aquellos trabajos que estaban publicados en un idioma distinto a castellano, inglés, francés o portugués (n: 3), artículos que no fuesen de intervención –patentes (n: 98), resúmenes de congresos (n: 24) o revisiones bibliográficas y meta-análisis (n: 5)- o trabajos de intervención centrados en analizar únicamente respuestas y no adaptaciones (n: 7). De los 59 artículos que incluían intervenciones de ejercicio, se eliminaron aquellos que realizaron un entrenamiento que no incluían sobrecargas inerciales (n: 42) o no valoraban la función muscular (n: 3). De los 14 artículos que cumplieron los criterios de inclusión propuestos por los investigadores, finalmente, se emplearon un total de 9 artículos para el trabajo (véase figura 1). El motivo fue la imposibilidad de acceder al texto completo de 5 artículos, siendo ésta la principal limitación de la presente revisión.

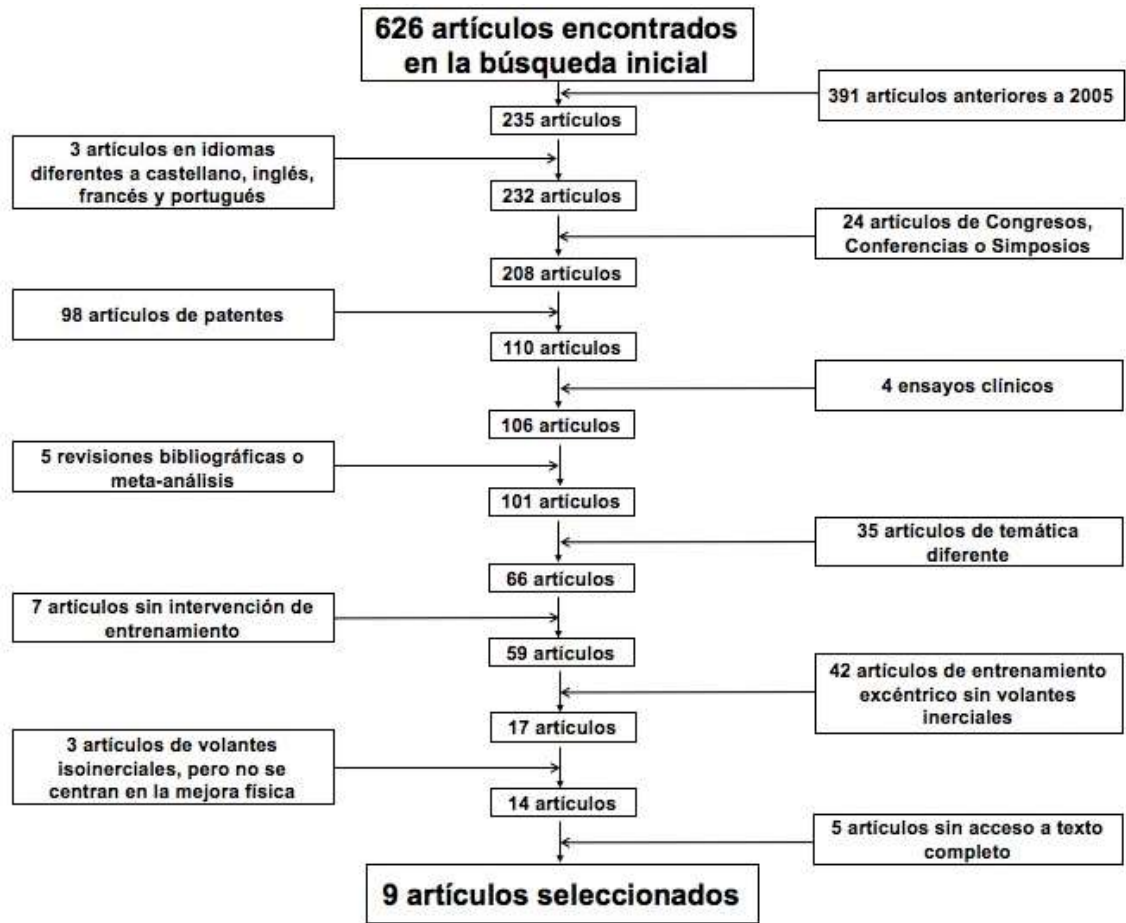


Figura 1. Criterios de exclusión seguidos a la hora de seleccionar los estudios analizados en la investigación.

**Tabla 1.** Resumen de los estudios que han valorado los efectos del entrenamiento mediante sobrecargas excéntricas de tipo isoinercial

Cita	Muestra	Duración	Metodología	Test de valoración	Resultados
Brzenczek-Owczarzak y col. (2013)	Mujeres de edad avanzada (n: 45):  GE0kg (n: 18) GE5kg (n: 17) GC (n: 10)	4 s (12 sesiones)	GE0kg: 4 x 20 seg x 3 ejercicios de hombro sin sobrecarga añadida. R: 2 min  GE5kg: idem, pero con sobrecarga añadida de 5 kg	- Fuerza en abducción de hombro  - Potencia en abducción de hombro	Fuerza: mejora en GE0kg (21,9%) y GE5kg (6,9%). Mejora estadísticamente superior en GE0kg vs GE5kg  Potencia: mejora en GE0kg (34,3%) y GE5kg (9,8%). Mejora estadísticamente superior en GE0kg vs GE5kg
Fernández-Gonzalo y col (2014)	Personas que han sufrido ACV (n: 20)	8 s (16 sesiones)	GE: 4 x 7 x extensión de rodilla en la pierna del lado afectado. R: 3 min	- P <sub>pico</sub> concéntrica y excéntrica en extensión de rodilla - Fuerza de extensión isométrica de la pierna - BBS - Test de 6 min caminando - TUG - 30CST - Escala modificada de Ashworth - SIS	P <sub>pico</sub> concéntrica en extensión de rodilla: aumenta en la pierna afectada (34%) y en la no afectada (25%). Mejoras estadísticamente superiores en la pierna afectada vs pierna no afectada  P <sub>pico</sub> excéntrica en extensión de rodilla: aumenta en la pierna afectada (44%) y en la no afectada (34%). Mejoras estadísticamente superiores en P <sub>pico</sub> excéntrica vs P <sub>pico</sub> concéntrica  Incremento en fuerza de extensión isométrica bilateral en la pierna afectada (17%) y de extensión isométrica unilateral (20%). Mejoras estadísticamente superiores en pierna afectada vs pierna no afectada.  BBS: mejora (7%)  Test 6 min caminando: mejora (17%)  TUG: mejora (15%)  30 CST: mejora (17%)

Norrbrand y col. (2008)	Adultos entrenados en fuerza (n: 15):  GE (n: 7) GEC (n: 8)	5 s (12 sesiones).	GE: 4 x 7 x extensión de pierna GEC: 4 x 7 RM x extensiones de pierna	- CVM en extensión de rodilla - AST cuádriceps	CVM: mejora en GE y GEC. Mejora estadísticamente superior en GE vs GEC  AST cuádriceps: mejora en GE (6,2%) y GEC (3,0%). Mejora estadísticamente superior en GE vs GEC
Norrbrand y col. (2010)	Adultos entrenados en fuerza (n: 17):  GE (n: 9) GEC (n: 8)	5 s (12 sesiones).	GE: 4 x 7 x extensión de pierna GEC: 4 x 7 RM x extensión de pierna	- CVM en extensión de rodilla - RFD	CVM en extensión de rodilla: mejora en GE (8,1%) y en GEC (4,8%). Mejora estadísticamente superior en GE vs GEC
Onambélé y col. (2008)	Personas de edad avanzada (n: 24):  GE (n: 12) GEC (n: 12)	12 s (66 sesiones)	GE: 1-4 x 8-12 x extensión de pierna. R: 5 min  GEC: 1-4 x 8-12 (80% de 1RM) x extensión de pierna. R: 5 min	- CVM en extensión de rodilla - Equilibrio postural (posturografía) - Rigidez del tendón de Aquiles	CVM en extensión de rodilla: potencia mejora en GE (28%) y en GEC (4%). Mejora estadísticamente superior en GE vs GEC  Equilibrio postural: mejora en GE (de 24,3 a 35,2 seg). Diferencias estadísticas en GE vs GEC  Rigidez del tendón de Aquiles: mejora en GE (136%) y GEC (54%). Mejora estadísticamente superior en GE vs GEC
Romero-Rodríguez y col. (2011)	Deportistas de élite con tendinopatía rotuliana crónica (n: 10)	6 s (12 sesiones)	GE: 4 x 10 x extensión de rodillas. R: 2 min.	- CVM - CMJ - F <sub>máx</sub> concéntrica y excéntrica en extensión de rodilla - VAS - VISA	F <sub>máx</sub> excéntrica en extensión de rodilla: mejora un 90%  VAS: disminuye un 60%  VISA: mejora un 86%
Reeves y col. (2005)	Hombres activos sanos encamados (n: 18)	13 s (38 sesiones)	GE: 4 x 7 x extensión de cadera + rodilla y extensión de tobillo. R: 2 min inter-series y 5 min inter-ejercicios	- AST del tendón de Aquiles - Fuerza isométrica de flexión plantar	Deformación del tendón del gastrocnemio: aumenta en GE un 16% y en GC un 26%. Diferencia estadísticamente superior en GC vs GE  Rigidez del tendón de Aquiles: desciende en GE (37%) y GC (58%). Diferencia estadísticamente superior en GC vs GE

	GE (n: 9) GC (n: 9)			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deformación del tendón del gastrocnemio.</li> <li>- Rigidez del tendón de Aquiles</li> <li>- Módulo de Young del tendón de Aquiles</li> <li>- Longitud del tendón de Aquiles</li> <li>- Fuerza del tendón del gastrocnemio</li> <li>- Tensión del tendón del gastrocnemio</li> <li>- Estrés del tendón del gastrocnemio</li> </ul>	<p>Módulo de Young del tendón de Aquiles: desciende en GE (38%) y en GC (57%). Diferencia estadísticamente superior en GC vs GE</p> <p>Fuerza del tendón del gastrocnemio: se reduce en GE (14%) y en GC (28%). Diferencia estadísticamente superior en GC vs GE</p> <p>Tensión del tendón del gastrocnemio: aumenta en GE (17%) y en GC (27%). Diferencia estadísticamente superior en GC vs GE</p> <p>Estrés del tendón del gastrocnemio: se reduce en GE (14%) y en GC (27%). Diferencia estadísticamente superior en GC vs GE</p>
Rittweger y col. (2007)	<p>Hombres jóvenes encamados (n: 25):</p> <p>GE (n: 9) GC (n: 16)</p>	13 s (38 sesiones)	GE: 4 x 7 x extensión de cadera + rodilla y 4 x 14 x extensión de tobillo. R: 2 min inter-series y 5min inter-ejercicios	- CMJ (H, P <sub>pico</sub> y A <sub>pico</sub> )	<p>H: disminuye en GE (10,4%) y en GC (29,5%). Diferencia estadísticamente superior en GC vs GE.</p> <p>Tiempo Recuperación H: menor en GE (72 días) vs GC (163 días). Diferencia estadísticamente superior en GC vs GE</p> <p>P<sub>pico</sub>: disminuye en GE (6,1%) y en GC (25,8%). Diferencia estadísticamente superior en GC vs GE</p> <p>P<sub>pico</sub>: GE muestra efectividad (76%) para mantenerla. Diferencias estadísticas en GE vs GEC</p> <p>Tiempo Recuperación P<sub>pico</sub>: menor en GE (18 días) vs GC (140 días). Diferencia estadísticamente superior en GC vs GE</p> <p>A<sub>pico</sub>: se reduce en GE (5,4%) y en GC (15,7%). Diferencia estadísticamente superior en GC vs GE</p>



					Tiempo Recuperación $A_{pico}$ : menor en GE (15 días) vs GC (71 días). Diferencia estadísticamente superior en GC vs GE
Seynnes y col. (2007)	Jóvenes entrenados (n: 13):  GE (n: 7) GC (n: 6)	5 s (15 sesiones)	4 x 7 x extensión de rodilla. R: 2 min	- CVM en extensión de rodilla - AST cuádriceps - Arquitectura muscular de VL	CVM en extensión de rodilla: mejora en GE (38,9%) junto a un aumento de la actividad electromiográfica (34,8%). Diferencias estadísticamente superiores en GE vs GEC  AST cuádriceps: mejora en GE (13,8%). Diferencias estadísticas superiores en GE vs GEC  Arquitectura muscular VL: aumenta el ángulo de penneación en GE (7,7%). Diferencias estadísticas superiores en GE vs GEC

30CST: Test de sentarse y levantarse de una silla durante 30 segundos; 6MWT: Test de Caminar 6 Minutos; ACV: Accidente Cerebrovascular;  $A_{pico}$ : Aceleración Pico; AST: Área de Sección Transversal; BBS: Escala de Equilibrio de Berg; CMJ: *Countermovement Jump* o Salto con Contramovimiento; CVM: Contracción Voluntaria Máxima; DJ: *Drop Jump* o Salto en Profundidad; FJP: Test de 4 Saltos Consecutivos;  $F_{máx}$ : Fuerza Isométrica Máxima;  $F_{máx}$ : Fuerza Máxima; GC: Grupo Control; GE0kg: Grupo de Entrenamiento mediante Sobrecargas Excéntricas Isoinerciales sin Carga Añadida; GE5kg: Grupo de Entrenamiento mediante Sobrecargas Excéntricas Isoinerciales con Carga añadida de 5kg; GE: Grupo de Entrenamiento mediante Sobrecargas Excéntricas Isoinerciales; GEC: Grupo de Entrenamiento mediante Contracciones Concéntricas; H: Altura de Vuelo; min: Minuto;  $P_{pico}$ : Potencia Pico; R: Recuperación; RFD: *Rate of Force Development*; s: Semana; seg: Segundos; SIS: Escala de Impacto de Accidente Cerebrovascular; TUG: *Timed Up and Go Test*; VAS: *Visual Analog Scale*; VISA: *Patellar Tendinopathy Questionnaire*; VL: Vasto Lateral  
Todos los resultados presentados reflejan únicamente aquellos con diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ )



## EFFECTOS DEL ENTRENAMIENTO EXCÉNTRICO CON SOBRECARGAS INERCIALES SOBRE LA FUERZA Y POTENCIA MUSCULAR

Las propiedades mecánicas del músculo hacen que éste sea capaz de generar unos mayores niveles de fuerza cuando se contrae en alargamiento (acciones excéntricas) en comparación a cuando lo hace en acortamiento (acciones concéntricas) (Komi y Buskirk, 1972). Cuando una contracción concéntrica es precedida de una acción excéntrica y de un breve período de acoplamiento entre contracciones, contracciones musculares conocidas como de *ciclo estiramiento acortamiento* (CEA), la acción excéntrica puede potenciar la posterior acción concéntrica (Norrbrand et al., 2008) Por este motivo, la combinación de contracciones excéntricas y concéntricas dentro de un programa de entrenamiento dan lugar a mejoras superiores en los niveles de fuerza y potencia que programas centrados en un régimen exclusivo de contracción muscular (Hruda et al., 2003).

En el entrenamiento de fuerza convencional, basado en contracciones concéntricas, la carga hace que la activación en la fase excéntrica nunca sea máxima (Moritani, Muramatsu y Muro, 1987). En cuanto al entrenamiento excéntrico convencional, debemos considerar que en un ejercicio como pudiera ser el de extensión de rodillas en máquinas, la máxima actividad electromiográfica se consigue durante la fase inicial de la contracción, coincidiendo con una angulación de 170-180° de rodilla y un mínimo estiramiento fascial (Onambélé et al., 2004). Por el contrario, durante la ejecución de un ejercicio de extensión de rodillas en una máquina inercial los máximos niveles de actividad electromiográfica se da en angulaciones de 90-100° (Norrbrand et al., 2008), coincidiendo con situaciones de máximo estiramiento fascial, (Onambélé et al., 2008). Además, las máquinas inerciales, al tener que frenar la inercia generada sobre el eje de rotación en un rango de movimiento muy pequeño, dan lugar a que el pico de fuerza excéntrica sea muy superior en comparación a otros tipos de entrenamientos excéntricos realizados a una menor velocidad (Norrbrand et al., 2008). En cuanto a las fases concéntricas en este tipo de máquinas, éstas ocasionan un grado de activación muscular máximo durante todo el rango de movimiento (Tesch et al., 2004), debido a la ausencia de la fase de *desventaja mecánica* que se observa durante las fases concéntricas en los entrenamientos con cargas convencionales.

Por tanto, los sistemas que generan sobrecargas excéntricas inerciales dan lugar a grados de activación muscular máxima durante toda la fase concéntrica y excéntrica del movimiento, especialmente en la parte final de ésta última. Por ello, este tipo de sobrecargas presenta la posibilidad de poder generar sobrecargas óptimas para inducir mejoras en los máximos niveles de contracción muscular y producción de fuerza, especialmente en aquellas acciones musculares en las que interviene el CEA (Norrbrand et al., 2010). De este modo, se ha comprobado que tanto un programa de entrenamiento de 12 semanas en población de edad avanzada (Onambélé et al., 2008) como un programa de 5 semanas en adultos entrenados en fuerza (Norrbrand et al., 2008, 2010), basado en sobrecargas excéntricas de tipo inercial, induce a una mayor actividad electromiográfica y unos mayores niveles de fuerza en comparación con un entrenamiento de fuerza convencional.

La población con accidente cerebrovascular o ictus es una población especial en la que se debe priorizar las acciones excéntricas y de CEA en los programas de rehabilitación, debido a que presentan una diferencia favorable en la contracción concéntrica voluntaria máxima en relación a la excéntrica, en comparación con los sujetos sanos (Clark, Condlife y Patten, 2006; Hedlund et al., 2012; Ryan et al., 2011). Fernández-González et al. (2014) han comprobado que un programa de entrenamiento de 8 semanas (frecuencia de 2 sesiones semanales) consistente en 4 series de 7 repeticiones de extensión de rodilla en el lado afectado induce mejoras significativas tanto en la pierna afectada (entrenada) con respecto a la no entrenada en la fuerza de contracción isométrica máxima de rodilla y en las potencias pico excéntrica y concéntrica de ambas piernas. Sin embargo, lo realmente importante en dicho estudio residió en que estas mejoras se acompañaron de un mayor rendimiento en test funcionales relacionados con la calidad de vida como son la escala de equilibrio de Berg, el test de sentarse y levantarse de la silla durante 30 segundos, el *Time and Go Test* y el test de 6 minutos caminando.

Mejorar la fuerza y la potencia muscular es un objetivo para toda la población adulta, pues un mayor rendimiento en fuerza se asocia con un mejor perfil de los factores de riesgo cardiometabólicos y un menor riesgo de sufrir eventos cardiovasculares (Ratamess et al., 2009). Debido a que el envejecimiento se acompaña de una pérdida de los niveles de masa muscular, así como de deterioros de la capacidad contráctil y de producción de fuerza, la población de edad avanzada debería llevar a cabo programas de entrenamiento encaminados a mejorar los niveles de fuerza muscular. Anteriormente, hemos hecho mención al estudio llevado a cabo por Onambélé et al. (2008) quienes comprobaron que un programa de entrenamiento excéntrico de tipo inercial no sólo era eficaz para dar lugar a mejoras en los niveles de fuerza sino que, además, presentaba un efecto superior al que tenía lugar con un entrenamiento de tipo concéntrico. Con objeto de identificar si este grupo poblacional debía añadir cargas adicionales a un entrenamiento excéntrico de tipo inercial, se comprobó el efecto sobre los niveles de fuerza y potencia de abducción de hombro en un grupo de mujeres de edad avanzada que se ejercitó durante un total de 12 sesiones de entrenamiento realizando un entrenamiento de este tipo con una sobrecarga de 5 kg o sin pesos añadidos (Brzenczek-Owczarzak et al., 2013). Los resultados de dicho estudio evidenciaron que, si bien, ambos tipos de entrenamiento indujeron mejoras significativas sobre la fuerza y la potencia muscular en la musculatura entrenada, el grupo que se ejercitó sin sobrecargas añadidas mostró unas mejoras significativamente superiores.

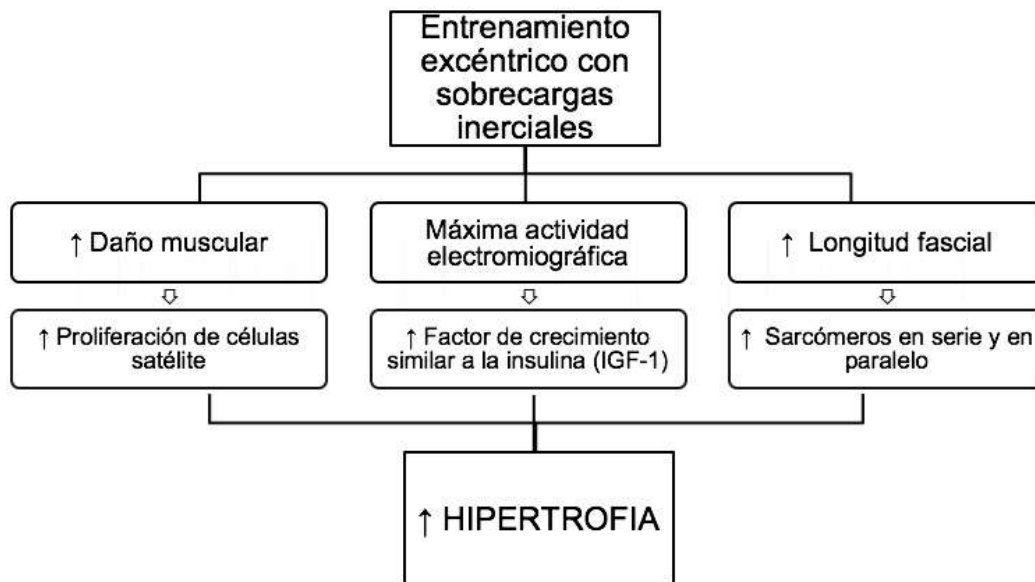
## **EFFECTOS DEL ENTRENAMIENTO EXCÉNTRICO CON SOBRECARGAS INERCIALES SOBRE LA HIPERTROFIA MUSCULAR**

La hipertrofia muscular refleja un balance nitrogenado positivo en el que la síntesis de proteínas supera a la degradación de compuestos nitrogenados (Reina-Ramos y Domínguez, 2014). Clásicamente se ha propuesto que la hipertrofia muscular es una adaptación tardía al entrenamiento de fuerza (Sale, 1988), considerándose que el tiempo mínimo para que el grado de hipertrofia sea detectado debe ser de al menos 8-12 semanas (Akima et al., 1999; Hubal et

al., 2005), y que las primeras mejoras en los niveles de fuerza y potencia muscular se deben en exclusiva a factores de tipo neural (Moritani y deVries, 1979).

El daño muscular que tiene lugar tras el entrenamiento de fuerza parece ser el principal factor que induce a la proliferación de células satélite y, con ello a la síntesis proteica (Hawke, 2005), existiendo una correlación entre la magnitud de la hipertrofia y el daño ocasionado a nivel miofibrilar (Norrbrand et al., 2008). De este modo, las respuestas hipertróficas ocurren en las fases posteriores al entrenamiento (Moore et al., 2005; Woolstenhulme et al., 2006) y la consideración de éstas como tardías podría tener su origen en los métodos de detección de la hipertrofia comúnmente empleados, que incluyen ultrasonido, tomografía computerizada o resonancia magnética (Seynnes et al., 2007).

El mayor grado de actividad electromiográfica (máximo tanto en la fase concéntrica como excéntrica) observado durante el entrenamiento basado en contracciones excéntricas de tipo inercial (Norrbrand et al., 2008, 2010), así como el mayor estrés mecánico impuesto en la parte final de la contracción excéntrica, hacen que este tipo de sobrecargas den lugar a un mayor daño muscular con respecto a otros tipos de entrenamiento (Yu et al., 2003). Además, este tipo de sobrecargas podría incrementar la hipertrofia debido a una capacidad de aumentar la síntesis del *factor de crecimiento similar a la insulina* (IGF-1) (Bamman et al., 2001) y a un aumento de los sarcómeros en serie y en paralelo, debido al incremento de la longitud fascial (Wickiewicz et al., 1983) que se produce durante este tipo de contracción muscular (véase figura 2).



**Figura 2.** Factores por los que el entrenamiento excéntrico basado en sobrecargas inerciales incrementa la hipertrofia muscular.

De este modo, se ha comprobado que las mejoras ante este tipo de entrenamiento alcanzan significación estadística de forma rápida, alcanzándose incrementos significativos en el ángulo de penneación (7,7%) y el área de sección transversal del cuádriceps (13,8%) en tan solo 5 semanas de entrenamiento de extensión de rodilla con sobrecarga excéntrica de tipo inercial (Seynnes et al., 2007).

En situaciones donde existe una sarcopenia acelerada, como pudiera ser en personas que se encuentran encamadas donde se observan importantes estados de atrofia muscular en períodos de tan sólo 10 días (Berg y Testch, 1996), se ha comprobado que un programa de entrenamiento de la musculatura extensora de la pierna, basado en contracciones excéntricas de tipo inercial, es capaz de preservar los niveles de masa muscular de los músculos extensores de la pierna y minimizar la pérdida de volumen muscular de los flexores plantares a sólo un 15% (Reeves et al., 2005).

## **EFFECTOS DEL ENTRENAMIENTO EXCÉNTRICO CON SOBRECARGAS INERCIALES SOBRE EL TEJIDO CONECTIVO**

Las propiedades mecánicas del tendón se adaptan a las diferentes cargas a las que es sometido (Reeves et al., 2005). La disposición, el espesor y el entrecruzamiento de las fibras de colágeno pueden verse afectadas por la inactividad física (Woo y col., 1975) o la ingravidez (Narici et al., 2003), reduciendo la rigidez de este tipo de estructuras, incrementando el grado de deformación ante una misma carga (Woo y col., 1982) (considerando caminar o la movilización del peso corporal como el umbral mínimo para preservar las propiedades mecánicas del tendón). Por el contrario, la exposición ante cargas repetidas, como pudiera ser las provocadas por el entrenamiento de fuerza, son efectivas para aumentar el grado de rigidez tendinosa (Reeves, Maganaris y Narici, 2003).

En situaciones que conllevan a alteraciones importantes en las propiedades mecánicas del tendón, como puede ser estar encamado durante un período de 13 semanas, en el que se observan importantes disminuciones en la rigidez (58%) y módulo de Young (57%) del tendón de Aquiles y aumentos en la deformación del tendón del gastrocnemio (28%), la realización de 4 series de 7 repeticiones de extensión de tobillo y cadera y rodilla a través de sobrecargas excéntricas inerciales (frecuencia de 3 sesiones semanales) redujo significativamente –aproximadamente la mitad- los efectos negativos de la inactividad física sobre las propiedades del tendón (Reeves et al., 2005).

Además de los efectos positivos a la hora de mantener las propiedades mecánicas del tendón tras seguir este tipo de entrenamiento en personas encamadas (Reeves et al., 2005), se ha comprobado que el tiempo para recuperar el rendimiento en un salto vertical es significativamente menor al seguir un programa de entrenamiento excéntrico de tipo inercial en el período en el que los sujetos se encuentran encamados (Rittweger et al., 2007). De este modo, mientras las pérdidas de parámetros cinemáticos en la realización de un salto vertical como altura de vuelo (10,4% vs 29,5%), potencia pico (6,1% vs 25,8%) y aceleración pico (5,4% vs 15,7%) fueron estadísticamente inferiores en el grupo que se ejercitó a través de contracciones excéntricas de tipo inercial, el tiempo de recuperación del rendimiento previo al período de estar encamado fue muy anterior en el grupo de entrenamiento en comparación con el grupo control (72 días vs 163 para la altura de vuelo, 18 días vs 140 días para la potencia pico y 15 días vs 71 días en la aceleración pico) (Rittweger et al., 2007).

En el área de la recuperación de lesiones, debemos considerar que el entrenamiento excéntrico es el más recomendado (LaStayo et al., 2003). Al aplicar este tipo de entrenamiento, basado en contracciones excéntricas de tipo inercial, en deportistas con tendinopatía rotuliana se ha comprobado que un programa de entrenamiento de 12 semanas que incluían 4 series de 10 repeticiones de extensión de rodillas, además de producir mejoras significativas en los máximos niveles de fuerza excéntrica en la extensión de rodilla (90%) dio lugar a mejoras significativas en la percepción subjetiva del dolor (Romero-Rodríguez et al., 2007). Del mismo modo, los resultados aportados por Rittweger et al. (2007) según los cuales este tipo de entrenamiento puede disminuir en gran medida los períodos de recuperación del rendimiento tras un período de inmovilización, sugieren que este tipo de entrenamiento puede ser efectivo para facilitar una rápida reincorporación a la actividad deportiva.

## CONCLUSIONES

Las conclusiones del presente trabajo de revisión bibliográfica se resumen en:

- El entrenamiento de fuerza mediante sobrecargas excéntricas de tipo inercial es un método de entrenamiento superior a otros, como el entrenamiento convencional basado en contracciones concéntricas, para mejorar los niveles de fuerza y potencia, debido a la máxima actividad electromiográfica que producen tanto en las fases excéntricas como concéntricas.
- El entrenamiento de fuerza mediante sobrecargas excéntricas de tipo inercial es un método de entrenamiento que debido a la mayor actividad electromiográfica que producen, el mayor daño muscular que ocasionan y su capacidad de inducir las mayores sobrecargas ante situaciones de máximo estiramiento fascial, da lugar a niveles de hipertrofia significativos en períodos de tan sólo 5 semanas de entrenamiento.
- El entrenamiento de fuerza mediante sobrecargas excéntricas de tipo inercial puede imponer una carga óptima a nivel del tejido conjuntivo capaz de mantener las propiedades mecánicas en situaciones con capacidad de afectación negativa, al tiempo que podría facilitar los períodos de recuperación tras sufrir una lesión.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akima, H., Takahashi, H., Kuno, S.Y., Masuda, K., Masuda, T., Shimojo, H... Katsuta, S. (1999). Early phase adaptations of muscle use and strength to isokinetic training. *Medicine and Science in Sports Exercise*, 31 (4), 588–594.

Bamman, M.M., Shipp, J.R., Jiang, J., Gower, B.A., Hunter, G.R., Goodman, A., McLafferty, C.L. y Urban, R.J. (2001). Mechanical load increases muscle IGF-I and androgen receptor mRNA concentrations in humans. *American Journal of Physiology – Endocrinology and Metabolism*, 280 (3), 383–390.



- Bassett, D.R. y Howley, E.T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in Sports Exercise*, 32 (1), 70–84.
- Berg, H.E. y Tesch, P.A. (1996). Changes in muscle function in response to 10 days of lower limb unloading in humans. *Acta Physiologica Scandinavica*, 157 (1), 63–70.
- Braun, W.A. y Dutto, D.J. (2003). The effects of a single bout of downhill running and ensuing delayed onset of muscle soreness on running economy performed 48 h later. *European Journal of Applied Physiology*, 90 (1-2), 29-34.
- Brooks, N., Layne, J.E., Gordon, P.L., Roubenoff, R., Nelson, M.E. y Castaneda-Sceppa, C. (2007). Strength training improves muscle quality and insulin sensitivity in Hispanic older adults with type 2 diabetes. *International Journal in Medicine and Science*, 4 (1), 19-27.
- Brzenczek-Owczarzak, W., Naczka, M., Arlet, J., Forjasz, J., Jedrzejczak, T. y Adach, Z. (2013). Estimation of the Efficacy of Inertial Training in Older women. *Journal of Aging and Physical Activity*, 21 (4), 433-443.
- Chapman, D., Newton, M., Sacco, P. y Nosaka, K. (2008). Greater muscle damage induced by fast versus slow velocity eccentric exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 27 (8), 591-598.
- Cheung, K., Hume, P., and Maxwell, L. (2003). Delayed onset muscle soreness: Treatment strategies and performance factors. *Sports Medicine*, 33 (2), 145-164.
- Chiu, L.Z.F. y Salem, J.G. (2006). Comparison of joint kinetics during free weight and flywheel resistance exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20 (3), 555-562.
- Chung, J.Y., Kang, H.T., Lee, D.C., Lee, H.R. y Lee, Y.J. (2013). Body composition and its association with cardiometabolic risk factors in the elderly: A focus on sarcopenic obesity. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 56 (1), 270-278.
- Clark, D.J., Condliffe, E.G. y Patten, C. (2006). Activation impairment alters muscle torque-velocity in the knee extensors of persons with post-stroke hemiparesis. *Clinical Neurophysiology*, 117 (10), 2328–2337.
- Crewther, B., Cronin, J. y Keogh, J. (2006). Possible stimuli for strength and power adaptation: acute metabolic responses. *Sports Medicine*, 36, 65-78.
- Fernández-Gonzalo, R., Nissemark, C., Tesch, P.A. y Sojka, P. (2014). Chronic stroke patients show early and robust improvements in muscle and functional performance in response to eccentric-overload flywheel resistance training: a pilot study. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 11, 150.
- Hawke, T.J. (2005). Muscle stem cells and exercise training. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 33 (2), 63-68.
- Hedlund, M., Sojka, P., Lundstrom, R. y Lindstrom, B. (2012). Insufficient loading in stroke subjects during conventional resistance training. *Advances in Physiotherapy*, 14, 18–28.
- Hruda, K.V., Hicks, A.L., y McCartney, N. (2003). Training for muscle power in older adults: Effects on functional abilities. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 28 (2), 178-189.

- Hubal, M.J., Gordish-Dressman, H., Thompson, P.D., Price, T.B., Hoffman E.P., Angelopoulos, T.J... Clarkson, P.M. (2005). Variability in muscle size and strength gain after unilateral resistance training. *Medicine and Science in Sports Exercise*, 37 (6), 964–972.
- Hunter. G.R., McCarthy, J.P. y Bamman, M.M. (2004). Effects of resistance training on older adults. *Sports Medicine*, 34 (5), 329-48.
- Komi, P.V. y Buskirk, E.R. (1972). Effect of eccentric and concentric muscle conditioning on tension and electrical activity of human muscle. *Ergonomics*, 15 (4) 417–434.
- LaStayo, P.C., Woolf, J.M., Lewek, M.D., Snyder-Mackler, L., Reich, T. y Lindstedt, S.L. (2003). Eccentric muscle contractions: their contribution to injury, prevention, rehabilitation and sport. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 33 (10), 557-571.
- Moore, D.R., Phillips, S.M., Babraj, J.A., Smith, K. y Rennie, M.J. (2005). Myofibrillar and collagen protein synthesis in human skeletal muscle in young men after maximal shortening and lengthening contractions. *American Journal of Physiology – Endocrinology and Metabolism*, 288 (6), 1153–1159.
- Moritani, T., Muramatsu, S. y Muro, M. (1987). Activity of motor units during concentric and eccentric contractions. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 66 (6), 338–350.
- Moritani, T. y deVries, H.A. (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 58 (3), 115–130.
- Moysi, J.S., García-Romero, J.C., Alvero-Cruz, J.R., Vicente-Rodríguez, G., Ara, I., Dorado, C. y Calbet, J.A. (2005). Effects of eccentric exercise on cycling efficiency. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 30 (3), 259-275.
- Narici, M., Kayser, B., Barattini, P. y Cerretelli, P. (2003). Effects of 17-day spaceflight on electrically evoked torque and cross-sectional area of the human triceps surae. *European Journal of Applied Physiology*, 90, 275–282.
- Norrbrand, L., Fluckey, J.D., Pozzo, M. y 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. y 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.
- Nosaka, K., Newton, M., y Sacco, P. (2002). Muscle damage and soreness after endurance exercise of the elbow flexors. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34 (6), 920-927.
- Onambele, G.L., Maganaris, C.N., Mian, O.S., Tam, E., Rejc, E., McEwan, I.M., y Narici, M.V. (2008). Neuromuscular and balance responses to flywheel inertial versus weight training in older persons. *Journal of Biomechanics*, 41, 3133–3138.
- Onambele, G.N., Bruce, S.A., Woledge, R.C. (2004). Effects of voluntary activation level on force exerted by human adductor pollicis muscle during rapid stretches. *European Journal of Physiology*, 448 (4), 457–461.
- Ratamess, N.A., Albar, B.A., Evetoch, T.K., Housh, T. J., Kibler, W.B., Kraemer, W.J. y Triplett, N.T. (2009). Special Communication. American College of Sports Medicine Position Stand: Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41 (3), 687-708.



- Reeves, N.D., Maganaris, C.N. y Narici, M.V. (2003). Effect of strength training on human patella tendon mechanical properties of older individuals. *Journal of Physiology*, 548 (3), 971–981.
- Reeves, N.D., Maganaris, C.N., Ferretti, G. y Narici, M.V. (2005). Influence of 90-day simulated microgravity on human tendon mechanical properties and the effect of resistive countermeasures. *Journal of Applied Physiology*, 98 (6), 2278-2286.
- Reina-Ramos, C. y Domínguez, R. (2014). Entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo e hipertrofia muscular. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 38 (10), 366-382.
- Rittweger, J., Felsenberg, D., Maganaris, C. y Ferretti, J.L. (2007). Vertical jump performance after 90 days bed rest with and without flywheel resistive exercise, including a 180 days follow-up. *European Journal of Applied Physiology*, 100 (4), 427-436.
- Romero-Rodríguez, D., Gual, G., y 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.
- Ryan, A.S., Buscemi, A., Forrester, L., Hafer-Macko, C.E. y Ivey, F.M. (2011). Atrophy and intramuscular fat in specific muscles of the thigh: associated weakness and hyperinsulinemia in stroke survivors. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 25 (9), 865–872.
- Sale, D.G. (1988). Neural adaptation to resistance training. *Medicine and Science in Sports Exercise*, 20 (5), 135–145.
- Schilling, B.K., Karlage, R.E., LeDoux, M.S., Pfeiffer, R.F., Weiss, L.W. y Falvo, M.J. (2009). Impaired leg extensor strength in individuals with Parkinson disease and relatedness to functional mobility. *Parkinsonism and Related Disorders*, 15 (10), 776–780.
- Seynnes, O.R., de Boer, M., y Narici, M.V. (2007). Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 102, 368–373.
- Smith, R.A., Martin, G.J., Szivak, T.K., Comstock, B.A., Dunn-Lewis, C., Hooper, D.R... Kraemer, W.J. (2014). The Effects of Resistance Training Prioritization in NCAA Division I Football Summer Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28 (1), 14–22.
- Tesch, P.A., Ekberg, A., Lindquist, D.M. y Trieschmann, J.T. (2004). Muscle hypertrophy following 5-week resistance training using a nongravity-dependent exercise system. *Acta Physiologica Scandinavica*, 180 (1), 89–98.
- Tous, J. (2010). Entrenamiento de la fuerza mediante sobrecargas excéntricas. En Romero, D. y Tous, J. (ed.). *Prevención de lesiones en el deporte: claves para un rendimiento deportivo óptimo* (pp. 217-23). Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Wickiewicz, T.L., Roy, R.R., Powell, P.L. y Edgerton, V.R. (1983). Muscle architecture of the human lower limb. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 179, 275–283.
- Woo, S.L., Gomez, M.A., Woo, Y.K. y Akeson, W.H. (1982). Mechanical properties of tendons and ligaments. II. The relationships of immobilization and exercise on tissue remodeling. *Biorheology*, 19 (3), 397–408.
- Woo, S.L., Matthews, J.V., Akeson, W.H., Amiel, D. y Convery, F.R. (1975). Connective tissue response to immobility. Correlative study of biomechanical

and biochemical measurements of normal and immobilized rabbit knees. *Arthritis and Rheumatology*, 18 (3), 257–264.

Woolstenhulme, M.T., Conlee, R.K., Drummond, M.J., Stites, A.W. y Parcell A.C. (2006). Temporal response of desmin and dystrophin proteins to progressive resistance exercise in human skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 100, 1876–1882.

Young, W., Newton, R.U., Doyle, T.L., Chapman, D., Cormack, S., Stewart, T. y Dawson, B. (2005). Physiological and anthropometric characteristics of starters and nonstarters and playing positions in elite Australian Rules Football: a case study. *Journal of Science in Medicine and Sport*, 8 (3), 333–345.

Yu, J.G., Furst, D.O., and Thornell, L.E. (2003). The mode of myofibril remodelling in human skeletal muscle affected by DOMS induced by eccentric contractions. *Histochemistry and Cell Biology*, 119 (5), 383-393.

**Número de citas totales / Total references: 50 (100%)**

**Número de citas propias de la revista / Journal's own references: 0 (0%)**