

Efectos de la frecuencia de entrenamiento en circuito de alta intensidad sobre la fuerza isocinética y la composición corporal en sujetos no entrenados

Effects of high intensity circuit training frequency on isokinetic strength and body composition in untrained subjects

Antonio Joaquín Carrasco Martínez¹, Cristian Marín Pagán², Pedro Emilio Alcaraz Ramón^{2,3}

1 Instituto de Educación Secundaria IES La Basílica. Algezares. Murcia. España.

2 Centro de Investigación en Alto Rendimiento Deportivo. CIARD UCAM. Universidad Católica de Murcia. España.

3 Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad Católica de Murcia. España.

CORRESPONDENCIA:

Antonio Joaquín Carrasco Martínez

ajcarrasco724@alu.ucam.edu

Recepción: junio 2017 • Aceptación: enero 2018

Resumen

El objetivo de este estudio fue analizar los efectos que provoca la frecuencia de entrenamiento en circuito de alta intensidad sobre la fuerza isocinética y la composición corporal en sujetos no entrenados. Se llevó a cabo un estudio con un diseño cuasi experimental con pre y post test utilizando un dinamómetro isocinético y un densitómetro para realizar las mediciones. Un total de 39 participantes se dividieron atendiendo al nivel de actividad física, composición corporal y sexo en tres grupos de entrenamiento (GE) y un grupo control (GC), entrenando con una frecuencia de 1, 2 o 3 días semanales durante 8 semanas. En relación a la fuerza isocinética, aunque los sujetos pertenecientes a GE1, GE2 y GE3 consiguieron mejoras significativas ($p \leq 0,05$) en todas las variables analizadas en extensión y flexión de rodilla, no se hallaron diferencias significativas al comparar entre grupos. En lo relativo a la composición corporal, solo se hallaron resultados tendentes a la significación en GE1 en la masa muscular con un valor de $p=0,06$. En relación a GC, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las variables sometidas a medición. El entrenamiento en circuito de alta intensidad propuesto consigue adaptaciones en la fuerza isocinética en la articulación de la rodilla al entrenar un día, dos días y tres días a la semana y ciertos aumentos en la masa muscular en sujetos no entrenados.

Palabras clave: alta intensidad, composición corporal, entrenamiento de fuerza en circuito, frecuencia, fuerza isocinética.

Abstract

The main aim of the present study was to analyze the effects of high intensity circuit training on isokinetic strength and body composition in untrained subjects. A quasi experimental design with pre and post test using an isokinetic dynamometer and a densitometer to perform the measurement was carried out. A total of 39 participants were divided according to the level of physical activity, body composition and sex into three training groups (TG) and one control group (CG), training with a frequency of 1, 2 or 3 days a week for 8 weeks. Regarding the isokinetic strength, although the TG1, TG2 and TG3 subjects achieved significant improvements ($p \leq 0,05$) in all the variables analyzed in extension and knee flexion, no significant differences were found when comparing among training groups. Regarding body composition, results were only found tending to the significance in TG1 in muscle mass variable with a value of $p=0,06$. In relation to CG, no statistically significant differences were observed in any of the variables undergone measurement. The proposed high intensity circuit training achieves an improvement in isokinetic strength in the knee joint by training one day, two days and three days a week and certain increases in muscle mass in untrained subjects.

Key words: high intensity, body composition, strength circuit training, frequency, isokinetic strength.

Introducción

El entrenamiento tradicional de fuerza con sobrecargas (TS) es el principal método de entrenamiento empleado para promover adaptaciones neuromusculares en el ser humano (Kraemer et al., 2002). Se ha demostrado que el entrenamiento TS produce aumentos marcados en la fuerza (Cadore, Pinto, Bottaro, & Izquierdo, 2014; Chilibeck, 1998; Fleck & Kraemer, 2005; Izquierdo, 2006; Staron, 1991), en la potencia (Pereira et al., 2012) y la hipertrofia, en diferentes poblaciones (Hunter, McCarthy, & Bamman, 2004; Peterson, Rhea, & Alvar, 2005). Además, algunos estudios han encontrado mejoras en el consumo máximo de oxígeno (VO₂ máx) de hasta el 23% (Vincent, Braith, Feldman, Kallas, & Lowenthal, 2002). En este sentido, se ha utilizado extensamente para aumentar el rendimiento en el deporte (Arazi & Asadi, 2011) y para prevenir lesiones músculo esqueléticas (Williams & Stewart, 2009). Este tipo de entrenamiento cada vez tiene más peso en los programas destinados a mejorar la composición corporal (Paoli, Moro, & Bianco, 2015), ya que se ha observado un incremento del gasto metabólico basal (Zhang et al., 2002), ayudando a reducir el peso corporal (Benden, Zhao, Jeffrey, Wendel, & Blake, 2014; Hunter, Bryan, Wetzstein, Zuckerman, & Bamman, 2002; Hunter et al., 2004; Paoli, et al., 2015), por un incremento de la utilización de las grasas como combustible (Hunter, et al., 2004) y disminuyendo la masa grasa total y visceral (Chodzko-Zajko et al., 2009). Desde un punto de vista de la salud, puede incrementar el colesterol HDL entre un 8-21%, disminuyendo el colesterol LDL entre un 13-23% y reduciendo el nivel de los triglicéridos entre un 11-18% (Fahlman, Boardley, Lambert, & Flynn, 2002). Se presenta, además, como una buena herramienta para combatir la osteoporosis (Gomez-Cabello, Ara, Gonzalez-Aguero, Casajus, & Vicente-Rodriguez, 2012), mejorar la economía de movimiento (Hartman, Fields, Byrne, & Hunter, 2007), la velocidad de la marcha y disminuir el riesgo de discapacidad en personas mayores (Latham, Bennett, Stretton, & Anderson, 2004).

A pesar de todos los beneficios del TS tiene algunas limitaciones que hace que a veces no genere alta adherencia por la monotonía del entrenamiento, así como la duración de las sesiones para producir los efectos deseados. En este sentido, el entrenamiento de fuerza en circuito (CT) y el entrenamiento en circuito en alta intensidad (HRC), surgieron con la pretensión de conseguir mayores beneficios fisiológicos que utilizando los métodos tradicionales de fuerza (Paoli et al., 2010), minimizando el tiempo de trabajo y maximizando la eficiencia del entrenamiento, abor-

dando diversos aspectos de la condición física (Alcaraz, Sanchez-Lorente, & Blazevich, 2008; Paoli, et al., 2010; Skidmore, Jones, Blegen, & Matthews, 2012). Se ha demostrado que los entrenamientos en circuito son sistemas de entrenamiento muy versátiles, ya que pueden ser adaptados a multitud de situaciones y diferentes poblaciones con diversos niveles de condición física. Los ejercicios están dispuestos en un patrón circular y pueden ser modificados en función del objetivo, la motivación o el nivel de los participantes (Romero-Arenas et al., 2011; Waller, 2011). La inclusión de CT y HRC en las rutinas de entrenamiento de fuerza, son un poderoso instrumento en los programas de rehabilitación cardíaca (William, 2007), reduciendo el estrés sobre el corazón (Willardson, 2006) y produciendo mejoras comparables a las obtenidas con el entrenamiento de resistencia aeróbica (Braun, Hawthorne, & Markofski, 2005; Green, Watts, Maiorana, & O'Driscoll, 2001). Otro de los aspectos interesantes de cara a aplicar CT con el objeto de aumentar la fuerza muscular es que se consiguen mejoras utilizando intensidades de carga relativamente bajas (\pm 40% del 1RM) (Gettman, Ayres, Pollock, Durstine, & Grantham, 1979; Romero-Arenas et al., 2011); trabajar a estas intensidades, permite ganancias de fuerza en personas sedentarias, sin embargo, el estímulo para conseguir desarrollar parámetros musculares asociados a hipertrofia es insuficiente (Harber, Fry, Rubin, Smith, & Weiss, 2004). En cuanto a sujetos con experiencia en el trabajo de entrenamiento de fuerza con sobrecargas, las adaptaciones que se consiguen aplicando CT son mínimas (Brentano et al., 2008; Paoli, et al., 2010). Las pautas actuales en relación a este tipo de población indican que cargas iguales o superiores al 65% de 1RM, son necesarias para provocar incrementos favorables en la hipertrofia, requiriéndose cargas aún mayores para maximizar la fuerza máxima (Caiozzo, Perrine, & Edgerton, 1981; Fry, 2004; Kraemer, et al., 2002). En este sentido, el HRC surgió como alternativa al CT (Alcaraz, et al., 2008), pues además de utilizar una corta duración de entrenamiento, se trabaja utilizando altas cargas y se evitan recuperaciones pasivas entre series (6RM; tres minutos de recuperación activa entre series), consiguiendo adaptaciones en fuerza y en hipertrofia muscular comparables a las que se producen con el entrenamiento TS (Alcaraz, Pérez-Gómez, Chavarrías, & Blazevich, 2011; Alcaraz, et al., 2008; Romero-Arenas, Martínez-Pascual, & Alcaraz, 2013). Al comparar las mejoras obtenidas al utilizar un entrenamiento TS con HRC, el entrenamiento en circuito realizado a alta intensidad reduce en un 66% el tiempo necesario para completar un entrenamiento de fuerza (Alcaraz, et al., 2008), provocando además

Tabla 1. Características generales de los grupos de entrenamiento.

| GRUPOS | Edad (Años) | Talla (cm) | Peso (Kg) | Sexo (M o F) |
|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| GE1 (n=11) | 22,3 ± 1,8 | 171,3 ± 9,0 | 70,1 ± 11,0 | 7 M y 4 F |
| GE2 (n=11) | 22,8 ± 3,3 | 171,1 ± 8,2 | 66,1 ± 9,8 | 8 M y 3 F |
| GE3 (n=9) | 21,7 ± 1,8 | 175,9 ± 8,6 | 73,7 ± 17,5 | 7 M y 2 F |
| GC (n=8) | 22,1 ± 1,6 | 170,7 ± 7,7 | 72,3 ± 12,6 | 5 M y 3 F |
| TOTAL (n=39) | 22,2 ± 2,1 | 168,2 ± 8,3 | 70,6 ± 1,7 | 39 |

M= Sexo masculino; F= Sexo femenino; GE1= grupo con una frecuencia de entrenamiento semanal de una sesión; GE2= grupo con una frecuencia de entrenamiento semanal de dos sesiones; GE3= grupo con una frecuencia de entrenamiento semanal de tres sesiones; GC= grupo control; n= tamaño de la muestra.

una estimulación cardiovascular mayor ($\pm 62\%$ de Frecuencia Cardíaca Máxima) (Alcaraz et al., 2008). HRC ha demostrado además, producir los mismos o mayores beneficios a nivel de fuerza y una disminución de grasa superior al compararlo con TS (Alcaraz et al., 2011; Romero-Arenas et al., 2013), por lo que puede ser de gran utilidad para sujetos no iniciados, sujetos con experiencia en entrenamiento y deportistas que dispongan de poco tiempo y necesiten incorporar un entrenamiento de fuerza en sus planificaciones.

La manipulación de las distintas variables (volumen, intensidad, recuperación y frecuencia semanal), asociadas al entrenamiento de fuerza, se consideran esenciales para optimizar adaptaciones musculares (Kraemer & Ratamess, 2004; Wernbom, Augustsson, & Thomee, 2007). Una variable fundamental, que puede ser manipulada para producir los resultados deseados en programas de entrenamiento de fuerza, es la frecuencia semanal de entrenamiento (Schoenfeld, Ratamess, Peterson, Contreras, & Tiriyaki-Sonmez, 2015). En la mayoría de las definiciones encontradas, la frecuencia del entrenamiento se refiere al número de sesiones de ejercicio realizadas en un período de tiempo dado y generalmente se expresan semanalmente (Schoenfeld, Ogborn, & Krieger, 2016a). A pesar de las especulaciones sobre el tema, la frecuencia óptima de entrenamiento para un grupo muscular específico aún no se ha determinado (Wernbom et al., 2007). En un reciente meta-análisis llevado a cabo por Schoenfeld et al., (2016a), en el que se compararon estudios que aplicaban distintos programas de entrenamiento de fuerza modificando frecuencias (una a tres sesiones semanales) con igual volumen, los autores llegaron a la conclusión de que entrenar con una frecuencia de entrenamiento de dos días semanales promovía mayor hipertrofia que llevarlo a cabo un solo día semanal. Según estos autores y a diferencia de los resultados anteriormente descritos, se infiere a la vista de los datos analizados que los principales grupos musculares deben ser entrenados al menos dos veces por semana para maximizar el crecimiento muscular; quedando sin determinar por el momento si entrenar un grupo muscular tres veces por semana genera mejoras supe-

rioros que aplicar un mismo protocolo durante dos sesiones semanales.

Por todo ello y a la vista de la literatura consultada, no se han encontrado estudios que determinen la frecuencia óptima de entrenamiento, aplicando un circuito de alta intensidad en sujetos con escasa o nula experiencia en la realización de programas de entrenamiento de fuerza con sobrecargas. Con el fin de producir las mayores mejoras en fuerza y en composición corporal, el objetivo del presente estudio fue analizar los efectos que provoca la frecuencia de entrenamiento en circuito de alta intensidad sobre la fuerza isocinética y la composición corporal en sujetos no entrenados.

Método

Participantes

Para conseguir los objetivos establecidos, 39 hombres y mujeres sanos y sin experiencia en entrenamiento de fuerza ($22,2 \pm 0,5$ años; $168,2 \pm 5,8$ cm; $70,6 \pm 3,3$ Kg) formaron parte finalmente de esta investigación. Para los propósitos del citado estudio en sujetos sin nivel previo de entrenamiento de fuerza con sobrecargas se estableció como necesario no haber llevado a cabo ningún programa de entrenamiento para el desarrollo de la fuerza durante los seis meses previos al inicio del mismo. Los participantes fueron informados sobre el diseño del estudio y los posibles riesgos y problemas asociados a la realización de los tests y al entrenamiento. Posteriormente, leyeron y firmaron un documento de consentimiento informado. El estudio se llevó a cabo acorde con la declaración de Helsinki revisada en 2001, y el protocolo experimental fue aprobado por el Comité Ético de la Universidad Católica de Murcia (España).

Diseño experimental

Se llevó a cabo un estudio con un diseño cuasi experimental intra e inter sujetos con pre y post test, utili-

zando un dinamómetro isocinético y un densitómetro para realizar las mediciones, con el objeto de estudiar los efectos de la frecuencia semanal de entrenamiento sobre la fuerza isocinética y la composición corporal. Un total de 39 participantes se dividieron atendiendo al nivel de actividad física, composición corporal y sexo en tres grupos experimentales (GE) y un grupo control (GC). Inicialmente, los participantes tomaron parte en una sesión de familiarización con el dinamómetro isocinético. Una semana después de la familiarización, se realizaron los tests de composición corporal y de fuerza isocinética de la articulación de la rodilla. Posteriormente, fueron asignados a uno de los grupos de estudio (GE1= una sesión semanal de entrenamiento; GE2= dos sesiones semanales de entrenamiento; GE3= tres sesiones semanales de entrenamiento y GC). Los sujetos fueron testados por el mismo investigador utilizando el mismo protocolo de medición. En la sesión uno, la fuerza concéntrica isocinética de la rodilla se midió en extensión/flexión a la velocidad angular de $60^{\circ}\cdot s^{-1}$. En la sesión dos, 72 horas después de la sesión uno, se midió la composición corporal a través de Densitometría Absorciométrica de Energía Dual de Raxos X (DEXA). Durante el periodo de ocho semanas de entrenamiento, ambos grupos entrenaron con altas cargas (6 RM) y utilizando una periodización ondulatoria. Se determinó llevar a cabo el protocolo de entrenamiento durante ocho semanas, basándonos en la investigación previa de Candow y Burke (2007), en la que demostraron que los aumentos en la masa muscular podían observarse en tan sólo 6 semanas en adultos no familiarizados con programas de entrenamiento de fuerza. Para controlar las posibles influencias del ejercicio externo o la actividad física sobre la composición corporal, los sujetos no podían haber llevado a cabo ningún entrenamiento de fuerza durante los seis meses previos a la inscripción en el programa y se les prohibió llevar a cabo cualquier otra actividad física vigorosa durante el curso del estudio. Todos los sujetos fueron informados de que era necesario que siguieran con la rutina diaria y con sus hábitos alimenticios y que no debían tomar suplementos alimenticios que pudieran afectar a la modificación de la composición corporal a lo largo del estudio. Para verificar las complicaciones asociadas a la dieta se realizaron test de control en las semanas uno, cuatro y ocho para asegurar que los posibles cambios obtenidos no se debían a modificaciones en sus hábitos alimenticios. Los resultados obtenidos de dichos cuestionarios fueron analizados verificando la cantidad total de calorías, hidratos de carbono, grasas y proteínas utilizando el software (Diet Source 3.0; Novartis, Barcelona, España). Los tres grupos mostraron una sustancial simili-

tud en carbohidratos, proteínas y lípidos. Para cuantificar la actividad física, se utilizó el cuestionario global de actividad física (Armstrong, 2006).

Procedimientos

Test de fuerza isocinética

Se testó el movimiento de flexo-extensión del lado dominante en la articulación de la rodilla utilizando un dinamómetro isocinético (Biodex Medical Systems 3, Shirley, N.Y. 11967, U.S.A) en contracción concéntrica a la velocidad angular de $60^{\circ}\cdot s^{-1}$. Los sujetos fueron colocados según las instrucciones del dinamómetro para evitar movimientos compensatorios durante la ejecución del test. El dinamómetro se calibró previamente siguiendo las instrucciones del fabricante. La articulación se alineó con el eje de rotación del dinamómetro. Después de un calentamiento general (cinco minutos en un cicloergómetro y estiramientos activos), cada sujeto realizó cinco contracciones submáximas como calentamiento específico antes de comenzar el test. Los sujetos completaron una serie de tres contracciones máximas en extensión y flexión de rodilla a la velocidad angular de $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ antes de ser instruidos a generar la máxima fuerza y a la máxima velocidad posible. Se utilizaron los datos obtenidos del torque pico concéntrico para efectuar el análisis.

Medida de la Composición Corporal

La composición corporal fue medida a través de una Absorciometría Dual de rayos-X (DEXA). La masa libre de grasa, la masa grasa y el contenido mineral óseo (CMO), fueron calculados del análisis total del escáner del cuerpo completo. La masa libre de grasa se asumió como equivalente a la masa muscular en las extremidades. El instrumento utilizado para el análisis fue el densitómetro modelo XR-46 (Nordland Corp., Fort Atkinson, WI, EEUU), que fue calibrado al inicio de cada sesión siguiendo las recomendaciones del fabricante, utilizando un fantoma con 77 combinaciones de hueso y tejido blando. El software utilizado para el análisis fue el propuesto por el fabricante, Illuminatus DXA 4.4.0 (Visual MED, Inc. and Nordland a Cooper-Surgical Company). Antes de la realización de la Densitometría, se procedió a la medición de la estatura y de la masa corporal de los participantes; para ello, se utilizó una báscula-tallímetro telescópico (SECA 778, Hamburgo, Alemania). En la medición de la estatura, el sujeto permaneció de pie, con los talones, glúteos, espalda y región occipital en contacto con el plano vertical del tallímetro; a partir de esta posición, el sujeto

realizó una inspiración profunda en el momento de la medición, manteniéndose en el *plano de Frankfort*. Para la masa corporal se colocó al sujeto en el centro de la báscula, en posición estándar erecta y de espaldas al registro de la medida, sin que el cuerpo estuviera en contacto con nada a su alrededor.

Una vez los sujetos fueron pesados y tallados, se dirigieron al densitómetro para ser escaneados en posición supina con la menor ropa posible y sin ningún objeto metálico. Se advirtió a los participantes que no podrían realizar ningún movimiento durante el tiempo que el haz de rayos estuviera en marcha. El escáner de rayos-X realizó exploraciones transversales moviéndose a intervalos de 1 cm desde la parte superior a la parte inferior del cuerpo. La Densitometría se realizó antes de cualquier medida de fuerza para minimizar los efectos de los cambios de fluidos.

Como *variables dependientes*, se establecieron las siguientes:

- *Masa grasa total*: representa el contenido total de materia grasa de los participantes. Se expresó en kilogramos.
- *Porcentaje de grasa corporal*: representa la materia grasa corporal en relación a la masa total del cuerpo. Se expresó como porcentaje.
- *Masa libre de grasa*: representa la masa no ósea y libre de grasa total que contiene el cuerpo (masa corporal - [masa grasa + masa ósea]). Se expresó en kilogramos.

Variable independiente

Entrenamiento en circuito de alta intensidad (HRC)

Los tres grupos experimentales sometidos al entrenamiento propuesto llevaron a cabo el mismo protocolo. GC no realizó ningún tipo de entrenamiento de fuerza con sobrecargas durante el periodo que tuvo lugar el estudio. El calentamiento consistió en una parte general, con cinco minutos caminando de forma vigorosa en tapiz rodante a 7,5 Km/h con una pendiente del 1%. Posteriormente, se realizaron ejercicios de movilidad articular de los principales grupos musculares implicados en la sesión: cuádriceps, isquiotibiales, dorsales, pectoral, deltoides y bíceps braquial. Una vez finalizada esta parte se realizaron cinco minutos de estiramientos activos de los grupos musculares implicados en el entrenamiento. Para la realización de esta parte del calentamiento, los sujetos imitaban los estiramientos que los monitores realizaban con el objeto de seguir en todo momento el protocolo establecido. En la parte específica, los sujetos realizaron una primera serie de calentamiento de diez repeticiones al

50% del 6 RM calculado. Para la medición del 6 RM, la carga se ajustaba en función de las cargas movilizadas en la sesión anterior recogidas en una planilla y se le calculaba el 50% a dicha carga. Posteriormente, los sujetos descansaban durante un minuto y pasaban a realizar una segunda serie de calentamiento al 6 RM calculado realizando el mayor número de repeticiones posible (repeticiones máximas) de los tres ejercicios del bloque 1 (Bloque I: extensión de pecho en máquina de polea desde sentado (pectorales), extensiones de cuádriceps (cuádriceps) y bíceps en polea (bíceps braquial)). Los ejercicios se eligieron basándonos en su inclusión común en los programas de entrenamiento de musculación y fuerza (Baechle, 2008; Coburn, 2011). A continuación, realizaban la primera serie de entrenamiento. Se utilizó la carga de 6 RM para este estudio, debido fundamentalmente a que múltiples metanálisis han identificado que las ganancias máximas en fuerza se producen con un entrenamiento superior al 60% de 1RM en individuos entrenados y no entrenados, aunque la intensidad óptima es mayor en los entrenados (Peterson et al., 2005; Rhea, Alvar, Burkett, & Ball, 2003). La carga de 6RM fue ajustada para las series posteriores aproximadamente en un 2% si los participantes realizaban una repetición más, o en un 5% si los sujetos realizaban dos repeticiones más durante la serie. Tras la ejecución del bloque I de ejercicios, los participantes descansaron cinco minutos y realizaron directamente el protocolo de entrenamiento del bloque II de ejercicios (jalón al pecho (dorsales), flexión de rodilla en máquina sentado (isquiosurales), y press militar desde sentado (deltoides), sin realizar protocolo de calentamiento previo, pues no se consideró necesario. El número de series utilizadas durante el entrenamiento varió, pues se llevaron a cabo series ondulatorias (Figura 2). Las series iban modificándose en función de la semana de entrenamiento que se tratase. En la primera semana de familiarización (10 RM), los sujetos realizaron una sola serie de entrenamiento. La segunda semana, se realizaron dos series al (8 RM) y a partir de la tercera y hasta la octava semana en la que finalizaría el entrenamiento, se utilizó como referencia en la carga máxima el (6 RM) independientemente de las series que se realizasen. La tercera semana se realizaron tres series, la cuarta semana dos series, la quinta semana una serie, la sexta semana tres series, la séptima semana dos series y la octava y última semana se llevaron a cabo dos series de entrenamiento para finalizar. Destacar que el entrenamiento desarrollado por los diferentes grupos, solamente se diferenció en el número de sesiones de entrenamiento semanales, pues el número de series se aplicaba de igual forma independientemente del grupo

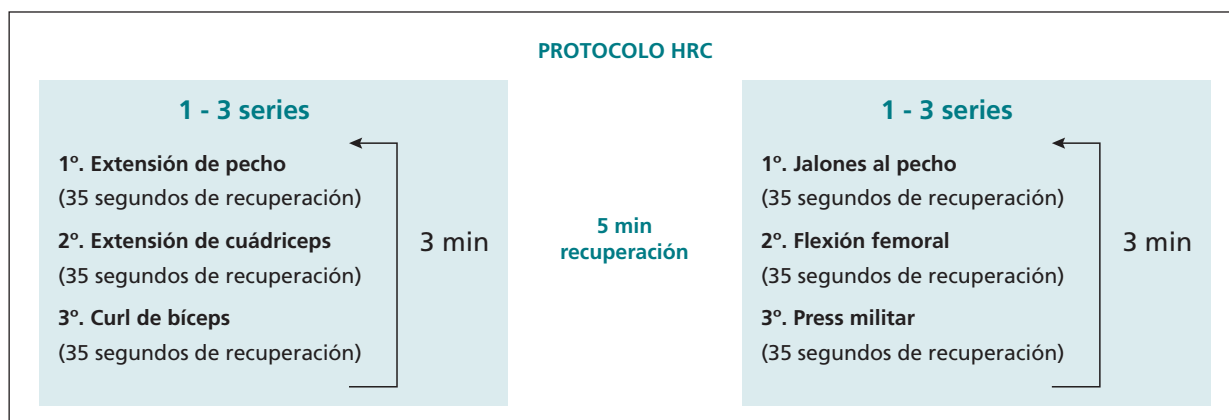


Figura 1. Protocolo de entrenamiento en circuito de alta intensidad HRC

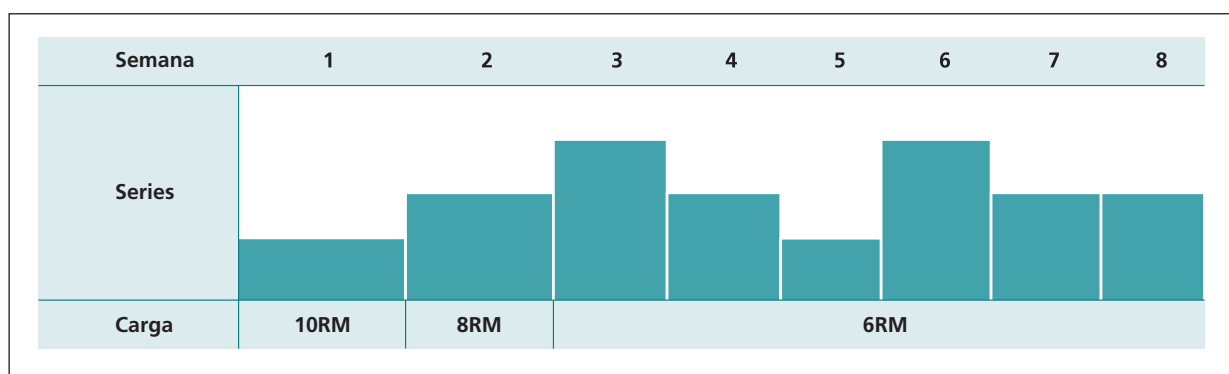


Figura 2. Periodización ondulatoria utilizada durante el entrenamiento. RM= 1 Repetición Máxima.

que se tratara. Aproximadamente 35 segundos separaban cada ejercicio, tiempo suficiente para permitir trasladarse de un ejercicio a otro de manera segura. De nuevo, los participantes fueron supervisados por instructores experimentados para asegurar que la fatiga voluntaria se conseguía de forma segura y que el control del descanso fuera estricto. Fue demostrado en su momento, que la supervisión directa durante la realización de programas de entrenamiento de fuerza con sobrecargas es vital para optimizar adaptaciones de rendimiento en fuerza (Mazzetti, 2000). El tiempo total de entrenamiento utilizado en los grupos varió entre 35 minutos (si se llevaba a cabo una serie), a 47 minutos (si se realizaban tres series) (Figura 1).

A continuación, se muestra de forma más esquemática el procedimiento de entrenamiento utilizado, en el que se pueden apreciar los ejercicios, las series y los descansos.

Variables control

Control de la dieta y de la actividad física

Los sujetos fueron instruidos para mantener hábitos diarios alimenticios y de actividad física a lo largo

de todo el estudio. Para verificar las complicaciones asociadas a la dieta, se realizaron test de control en las semanas uno, cuatro y ocho. Los resultados obtenidos de dichos cuestionarios fueron analizados verificando la cantidad total de calorías, hidratos de carbono, grasas y proteínas utilizando el software (Diet Source 3.0; Novartis, Barcelona, España). Todos los grupos demostraron una sustancial similitud en carbohidratos, proteínas y lípidos. Para cuantificar la actividad física diaria, se utilizó el cuestionario global de actividad física (Armstrong, 2006).

Análisis Estadístico

Tanto el registro como el almacenamiento de los datos se llevaron a cabo utilizando la hoja de cálculo Excel 2007 (Microsoft corp., Redmond, WA). El análisis estadístico de los datos se efectuó utilizando el paquete informático SPSS 15.0 (SPSS 15.0, Chicago, IL) en el entorno de Windows. Se realizó un análisis descriptivo de las variables y los valores se expresaron como media y desviación estándar. Para el análisis inferencial se realizó el test de Shapiro Wilk con el fin observar la normalidad de la distribución muestral

Tabla 2. Datos del torque pico concéntrico, torque pico relativo, trabajo total y potencia media a la velocidad angular de 60°·s⁻¹ para la extensión de la articulación de la rodilla entre pre test y post test. Valores dados como media ± desviación estándar.

| | | TP _e | TPR _e | WT _e | PM _e |
|-------------|------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|
| G E 1 | Pre | 157,1 ± 30,6 | 2,3 ± 0,3 | 166,5 ± 28,3 | 101 ± 21,3 |
| | Post | 175,6 ± 34,6 † | 2,5 ± 0,3 † | 194,1 ± 33,2 † | 121,8 ± 24,3 †* |
| | Δ | 18,5 | 0,2 | 27,6 | 20,7 |
| G E 2 | Pre | 168,7 ± 36,9 | 2,5 ± 0,3 | 178,6 ± 38,5 | 114,1 ± 29 |
| | Post | 198,9 ± 47,8 †* | 2,9 ± 0,3 †* | 217,4 ± 53,7 †* | 141,1 ± 38,5 †* |
| | Δ | 30,3 | 0,4 | 38,8 | 27 |
| G E 3 | Pre | 183,2 ± 38,8 | 2,5 ± 0,3 | 199,5 ± 42,4 | 124,4 ± 26,5 |
| | Post | 195,5 ± 42,7 | 2,7 ± 0,4 α | 221,1 ± 42,8 † | 135,6 ± 29,2 |
| | Δ | 12,3 | 0,2 | 21,6 | 11,2 |
| G C | Pre | 183,4 ± 32 | 2,6 ± 0,5 | 188,8 ± 33,7 | 123,2 ± 24,8 |
| | Post | 181 ± 36,3 | 2,6 ± 0,5 | 189,8 ± 36,3 | 121,1 ± 28,8 |
| | Δ | -2,4 | 0 | 1 | -2,2 |

GE1: grupo uno de entrenamiento de fuerza en circuito de alta intensidad; GE2: grupo dos de entrenamiento de fuerza en circuito de alta intensidad; GE3: grupo tres de entrenamiento de fuerza en circuito de alta intensidad; GC: grupo control; TP_e= torque pico en extensión; TPR_e= torque pico relativo en extensión; WT_e= trabajo total en extensión; PM_e= potencia media en extensión; †: Diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre pre test y post test. *: Diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre grupo de entrenamiento y grupo control; α = Tendencia a la significación ($p \leq 0,10$) entre pre test y post test.

Tabla 3. Datos del torque pico concéntrico, torque pico relativo, trabajo total y potencia media a la velocidad angular de 60°·s⁻¹, para la flexión de la articulación de la rodilla, entre pre test y post test. Valores dados como media ± desviación estándar.

| | | TP _f | TPR _f | WT _f | PM _f |
|-------------|------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|
| G E 1 | Pre | 81,4 ± 20,5 | 1,2 ± 0,2 | 97,6 ± 22,7 | 56,2 ± 14,7 |
| | Post | 95,4 ± 21,4 † | 1,4 ± 0,2 † | 115,6 ± 26,7 † | 69,5 ± 15,3 † |
| | Δ | 13,9 | 0,2 | 18 | 13,4 |
| G E 2 | Pre | 87 ± 23,9 | 1,3 ± 0,2 | 106,8 ± 41,4 | 65 ± 29,3 |
| | Post | 99,1 ± 29,1 † | 1,4 ± 0,2 † | 117,2 ± 37,9 | 73,1 ± 24,4 |
| | Δ | 12,2 | 0,1 | 10,4 | 8,1 |
| G E 3 | Pre | 90 ± 26,7 | 1,2 ± 0,3 | 109,9 ± 34,5 | 63 ± 19,4 |
| | Post | 107,3 ± 32,2 † | 1,5 ± 0,3 † | 125,9 ± 38,5 | 73,8 ± 23 |
| | Δ | 17,3 | 0,3 | 16,1 | 10,8 |
| G C | Pre | 92,7 ± 24 | 1,3 ± 0,3 | 103,6 ± 24,4 | 64,3 ± 19,6 |
| | Post | 103,4 ± 31,5 | 1,5 ± 0,5 | 112,9 ± 26,3 | 71,5 ± 22,2 |
| | Δ | 10,8 | 0,2 | 9,3 | 7,2 |

GE1: grupo uno de entrenamiento de fuerza en circuito de alta intensidad; GE2: grupo dos de entrenamiento de fuerza en circuito de alta intensidad; GE3: grupo tres de entrenamiento de fuerza en circuito de alta intensidad; GC: grupo control; TP_f= torque pico en flexión; TPR_f= torque pico relativo en flexión; WT_f= trabajo total en flexión; PM_f= potencia media en flexión; †: diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre pre test y post test.

y el de Levene para observar la homogeneidad de la muestra. Para conocer el efecto de las variables independientes sobre las variables dependientes se realizó un ANOVA de medidas repetidas para toda la muestra por variable. Si había diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$), se aplicaba un ANOVA de medidas repetidas de cada grupo con el fin de establecer diferencias entre el pre-test y pos-test. En caso de producirse diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) por grupo se realizó un análisis de varianza con un factor ANOVA y la prueba Post Hoc de Bonferroni para conocer si se producían diferencias significativas entre grupos. El nivel de significación estadística se fijó en $p \leq 0,05$ y un valor de $p \leq 0,10$ para tendencia a la significación.

Resultados

El estudio fue completado finalmente por 39 participantes. En cada grupo, el número de sujetos quedó como sigue: GE1 n= 11, GE2 n= 11, GE3 n= 9 y GC n=8. Ninguno de los sujetos dejó el programa a raíz de daños o respuestas adversas al entrenamiento.

Fuerza Isocinética

Las tablas 2 y 3 muestran los resultados de las distintas variables asociadas a la fuerza isocinética para los grupos de entrenamiento y para el grupo control en el pre y en el post test. Se analizó el torque pico concéntrico en la flexión y extensión de la rodilla a la

Tabla 4. Datos de *composición corporal* en pre test y post test. Valores dados como media ± desviación estándar.

| | | GrC (%) | MG (Kg) | MLG (Kg) |
|-------------|------|-------------|-------------|--------------|
| G E 1 | Pre | 23,4 ± 8,4 | 16,8 ± 7,1 | 51,3 ± 9,3 |
| | Post | 23,2 ± 9,1 | 16,5 ± 7,5 | 52,1 ± 9,8 * |
| | Δ | -0,2 | -0,3 | 0,8 |
| G E 2 | Pre | 18,5 ± 7,6 | 12,1 ± 4,5 | 51,2 ± 9,8 |
| | Post | 19,1 ± 7,7 | 12,4 ± 4,9 | 51,8 ± 9,8 |
| | Δ | 0,6 | 0,2 | 0,6 |
| G E 3 | Pre | 21,8 ± 7,8 | 16,7 ± 9,2 | 54,8 ± 10,1 |
| | Post | 21,0 ± 9,4 | 16,3 ± 11,4 | 55,5 ± 9,6 |
| | Δ | -0,8 | -0,4 | 0,7 |
| G C | Pre | 23,0 ± 11,7 | 17,6 ± 11,5 | 53,0 ± 8,1 |
| | Post | 23,1 ± 11,9 | 17,6 ± 11,9 | 53,2 ± 8,3 |
| | Δ | 0,1 | 0 | 0,2 |

GE1: grupo de entrenamiento de fuerza en circuito de alta intensidad de una sesión semanal de entrenamiento; GE2: grupo de entrenamiento de fuerza en circuito de alta intensidad de dos sesiones semanales de entrenamiento; GE3: grupo de entrenamiento de fuerza en circuito de alta intensidad de tres sesiones semanales de entrenamiento; GC: grupo control; GrC (%): porcentaje de grasa corporal; MG (Kg): masa grasa; MLG (Kg): masa libre de grasa; n: número de sujetos en el grupo de entrenamiento; Δ: valores de diferencia entre pre-test y post-test. *: tendencia a la significación ($p \leq 0,10$) entre pre- y post-test.

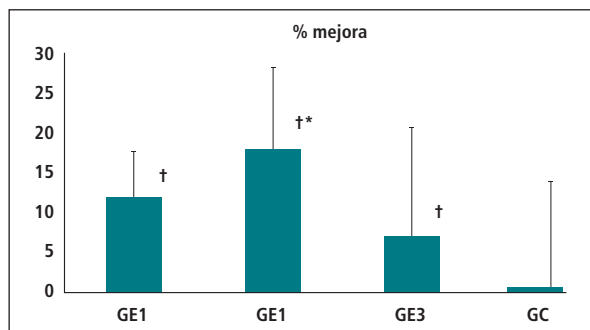


Figura 3. Porcentaje de mejora de fuerza isocinética en el torque pico de la extensión.

GE1: grupo uno de entrenamiento de fuerza en circuito de alta intensidad; GE2: grupo dos de entrenamiento de fuerza en circuito de alta intensidad; GE3: grupo tres de entrenamiento de fuerza en circuito de alta intensidad; GC: grupo control; †: diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de mejora de fuerza isocinética en el torque pico de la extensión ($p \leq 0,05$) entre pre test y post test; *: diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de mejora de la fuerza isocinética en el torque pico de la extensión ($p \leq 0,05$) entre grupo de entrenamiento y grupo control.

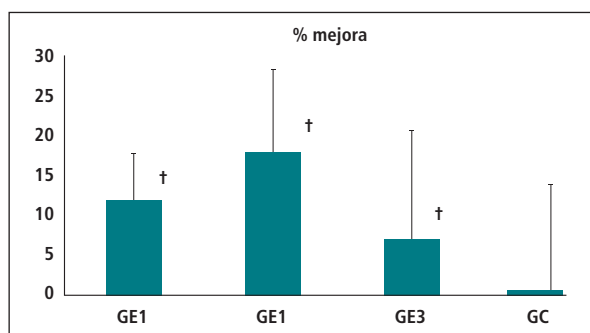


Figura 4. Porcentaje de mejora de fuerza isocinética en el torque pico de la flexión.

GE1: grupo uno de entrenamiento de fuerza en circuito de alta intensidad; GE2: grupo dos de entrenamiento de fuerza en circuito de alta intensidad; GE3: grupo tres de entrenamiento de fuerza en circuito de alta intensidad; GC: grupo control; †: diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de mejora de la fuerza isocinética en el torque pico de la flexión ($p \leq 0,05$) entre pre-test y post-test.

velocidad angular de $60^{\circ}\cdot s^{-1}$. El análisis reveló que se produjo un incremento estadísticamente significativo en los valores de fuerza en la extensión y flexión de la rodilla en todos los grupos sometidos al estudio excepto en GC. No se observaron diferencias significativas entre grupos de entrenamiento al llevar a cabo el análisis estadístico Post-Hoc de Bonferroni, aunque se hallaron ciertas diferencias ($p \leq 0,05$) y con tendencia a la significación entre GE1, GE2 y GC en extensión.

Asimismo, en las figuras 3 y 4 se muestran los porcentajes de mejora en extensión y flexión de la fuerza isocinética de cada uno de los grupos sometidos al entrenamiento y del grupo control.

Composición Corporal

En la tabla 4 se presentan los resultados de las variables de composición corporal para los distintos grupos experimentales y para GC en el pre test y en el post test. Al realizar el análisis estadístico, los resultados mostraron una tendencia a la significación en la masa muscular con un valor de $p= 0,061$ en GE1; no hubieron cambios en ninguna variable analizada relativa a composición corporal en el resto de grupos de entrenamiento ni en GC; tampoco se observaron diferencias estadísticas al comparar entre grupos.

En la figura 5, se muestran los porcentajes de modificación en masa libre de grasa de cada uno de los grupos sometidos al entrenamiento y del grupo control.

Discusión

El propósito del presente estudio fue analizar el efecto de la frecuencia de entrenamiento en circuito

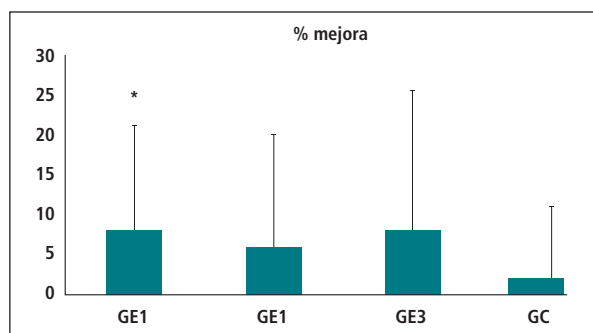


Figura 5. Porcentaje de modificación en masa libre de grasa. GE1: grupo de entrenamiento en circuito de alta intensidad de una sesión de entrenamiento semanal; GE2: grupo de entrenamiento en circuito de alta intensidad de dos sesiones de entrenamiento semanal; GE3: grupo de entrenamiento en circuito de alta intensidad de tres sesiones de entrenamiento semanal; GC: grupo control; *: diferencias con tendencia a la significación en el porcentaje de modificación en masa libre de grasa entre pre-test y pos-test ($p=0.061$).

de alta intensidad sobre la fuerza isocinética y la composición corporal en sujetos no entrenados. En la hipótesis inicial se estableció que llevar a cabo un programa de entrenamiento de fuerza en circuito de alta intensidad con sujetos jóvenes no entrenados durante tres sesiones semanales obtendría mejores resultados en fuerza isocinética y en composición corporal que llevarlo a cabo durante una o dos sesiones semanales. Los hallazgos principales de este estudio mostraron que todos los grupos mejoraron en fuerza isocinética y que no se encontraron diferencias entre grupos en dicha variable una vez finalizado el protocolo de entrenamiento. Sí se hallaron sin embargo diferencias significativas al comparar GE2 con GC en fuerza isocinética y se encontraron diferencias con tendencias a la significación en masa muscular en GE1 al comparar los resultados entre pre test y post test.

Fuerza Isocinética Máxima

En el presente estudio, la fuerza isocinética, y en concreto el torque pico, mejoró entre un 12-18% en extensión y entre un 18-22 % en flexión de rodilla a la velocidad angular de $60^{\circ}\cdot s^{-1}$. Sin embargo, no se encontraron diferencias entre grupos de entrenamiento. Fue GE2 el único que mostró diferencias estadísticamente significativas al compararlo con GC en las variables de torque pico de rodilla en extensión: $p \leq 0,009$; torque pico relativo en extensión: $p \leq 0,009$; trabajo total en extensión: $p \leq 0,006$ y potencia media de rodilla en extensión: $p \leq 0,005$. Analizada también la flexión en la misma articulación no se hallaron diferencias significativas al comparar entre grupos de entrenamiento ni al comparar con GC. Aunque existe una clara y directa relación entre el tamaño del área de sección transversal del músculo (CSA) y la habilidad de producir fuerza,

determinados autores defienden la postura de que la adquisición inicial de fuerza al llevar a cabo programas de entrenamiento de fuerza con sobrecargas, tiene un componente mayoritariamente neural (Gabriel, Kamen, & Frost, 2006). En otros estudios consultados, otros autores consideraron también a la vista de la corta duración de sus investigaciones (sesiones de entrenamiento semanales), que las ganancias en fuerza podrían deberse más a cambios producidos en los mecanismos neurales que a hipertrofia muscular en las primeras semanas de entrenamiento (Jones, Howatson, Russell, & French, 2013; Judge, 2003; Romero-Arenas et al., 2013), tales como un aumento de la capacidad de reclutamiento y de la frecuencia de estimulación de las unidades motoras, una mayor sincronización en la activación de estas y un aumento de la actividad de los músculos agonistas junto con una disminución de la co-activación de los músculos antagonistas. Las adaptaciones tempranas en programas de entrenamiento de fuerza se relacionan predominantemente con las mejoras en la capacidad del sistema nervioso para activar y coordinar eficazmente los músculos, mientras que el papel de la hipertrofia se hace cada vez más relevante a medida que se gana en experiencia de entrenamiento (Shoenfeld, 2010). Basándonos en la citada investigación pensamos que la falta de cambios antropométricos significativos producidos en este estudio sugiere que los factores neurales pueden haber sido más importantes en los incrementos de masa muscular que las adaptaciones morfológicas de los sujetos. Sin embargo, se encontró que esta posible mejora de la fuerza por medio de adaptaciones neurales se acompañó de un aumento en la masa muscular del 1,6 %, por lo que pudieron suscitarse además ciertas adaptaciones morfológicas.

Son pocos los estudios previos que han evaluado el efecto del entrenamiento en circuito de alta intensidad y menos aún los que han analizado el efecto de la frecuencia del entrenamiento de fuerza sobre la composición corporal y las ganancias de masa muscular en poblaciones no entrenadas (Candow & Burke, 2007; Taaffe, 1999). Los hallazgos de esta investigación están en la misma línea que los obtenidos por Candow y Burke (2007), quienes previamente compararon el efecto del entrenamiento de fuerza llevándolo a cabo 2 o 3 días semanales sobre la fuerza y la masa muscular en adultos no entrenados durante 6 semanas de entrenamiento. Su protocolo de entrenamiento consistió en 2-3 series de 10 repeticiones al 60-90% de 1RM utilizando 9 ejercicios y controlando el volumen para que fuese igual entre los grupos. Al igual que ocurrió en este estudio y utilizando dos semanas menos de entrenamiento, se observaron aumentos similares

en la fuerza y en la masa muscular en ambos grupos, independientemente de la frecuencia de entrenamiento utilizada. En otro estudio llevado a cabo por Taaffe (1999) se evaluaron los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza en adultos mayores que completaron 3 series de 10 repeticiones al 1RM calculado, realizando 8 ejercicios con una frecuencia de un día, dos días y tres días semanales. Después de 24 semanas de entrenamiento las ganancias musculares y de fuerza se desarrollaron de manera similar en los tres grupos a pesar de las diferencias en el volumen utilizado. Se discutió en su momento que, debido a que los sujetos del estudio tenían entre 65 y 79 años de edad, pudo ser posible que a sus edades avanzadas un estímulo de entrenamiento de solo un día semanal fuera suficiente para aumentar la fuerza y la masa muscular sin efectos adicionales al aumentar la frecuencia o el volumen. Puesto que los resultados de esta investigación muestran resultados similares a la citada investigación en referencia a los aumentos de fuerza es probable que el nivel de desacondicionamiento previo de los participantes pueda haber influido en el aumento de la fuerza muscular independientemente de la frecuencia semanal de entrenamiento utilizada.

Basándonos en la investigación anterior podemos considerar que las adaptaciones de la fuerza en las fases iniciales de entrenamiento son menos sensibles a las alteraciones en el volumen o la frecuencia de entrenamiento y que los beneficios se manifiesten a medida que un individuo va aumentando su nivel, independientemente de la edad de los sujetos. De hecho, en un metanálisis llevado a cabo por Rhea et al (2003) se concluyó que individuos bien entrenados requerían un mayor número de sesiones de entrenamiento semanales para maximizar las ganancias de fuerza en comparación con otros sujetos con escasa o nula experiencia en entrenamiento, produciéndose una respuesta consistente a medida que la frecuencia de entrenamiento aumentaba hasta 3 días por semana. Al comparar la condición de menor frecuencia de entrenamiento con sobrecargas de un estudio llevado a cabo por McLester (2000) con otro realizado por Candow et al (2007), en el que los sujetos entrenaron dos y tres veces por semana, se llegó a la conclusión, sin embargo, de que el umbral de mejora de la fuerza se alcanza con 2 sesiones semanales de entrenamiento y que los aumentos adicionales en la frecuencia no resultan en mayores beneficios. Los resultados mostrados en esta investigación muestran unos valores similares a los obtenidos en la investigación realizada por Burt, Wilson y Willardson (2007), en la que se analizaron diferencias de fuerza entre dos grupos de mujeres no entrenadas realizando un ejercicio similar a los propuestos en el

presente estudio (press de pierna) durante un día y dos días a la semana. Tras ocho semanas de entrenamiento se produjeron adaptaciones similares, pues aunque la fuerza isocinética mejoró en todos grupos, no hubieron diferencias estadísticamente significativas entre el grupo que entrenó press de pierna un día y el que entrenó dos días a la semana ($p = 0,757$). Los hallazgos mostrados en esta investigación están también en línea con Graves (1990), quien halló que una sesión fue igualmente efectiva que llevar a cabo dos o tres sesiones por semana al entrenar la fuerza en ejercicios de extensión lumbar. DeMichele (1997) determinó, sin embargo, que al llevar a cabo un protocolo de entrenamiento de fuerza para la mejora de los rotadores del tronco, dos sesiones de entrenamiento semanales obtenían los mismos resultados que realizarlo tres sesiones o más por semana. Atendiendo a las recomendaciones realizadas por el American College of Sport Medicine ACSM (1998), tres sesiones por semana consiguen mejoras en torno al 20-30% superiores a una o dos sesiones cuando se entrena la musculatura de los brazos y la de las piernas; mientras que cuando se entrena la musculatura de la columna, una o dos sesiones por semana generan ganancias similares de fuerza si se compara con tres sesiones de entrenamiento de fuerza con sobrecargas.

Composición corporal

Una vez llevado a cabo el presente estudio, al valorar la composición corporal, y más específicamente la masa muscular, solo se encontró una tendencia a la significación entre pre-test y post test con un valor de $p = 0,061$ en GE1. No se produjeron, sin embargo, modificaciones estadísticamente significativas en términos absolutos ni porcentuales en la composición corporal en ninguno de los grupos experimentales y tampoco se observaron diferencias significativas al comparar los diferentes grupos tras un entrenamiento en circuito de alta intensidad de ocho semanas. Como se puede deducir de los datos obtenidos, en el presente trabajo no se observa un descenso significativo del porcentaje de grasa corporal ni un aumento significativo en la masa muscular en ninguno de los grupos sometidos al entrenamiento con diferentes frecuencias semanales (una sesión, dos sesiones y tres sesiones semanales). Este suceso podría ser debido en parte a la no realización correcta del protocolo establecido durante las ocho semanas en las que tuvo lugar el estudio, o a que este tipo de población (sujetos no entrenados con una edad comprendida entre los $22,2 \pm 2,1$ años), respondieron de forma diferente a la prevista al entrenamiento en circuito de alta intensidad propues-

to. Se llega a esta deducción debido fundamentalmente a que al realizar una revisión de estudios que analizaban las mismas variables relativas a composición corporal, tales como el de Takeshima et al (2004), los sujetos sí mostraron una disminución significativa de la grasa corporal tras las 12 semanas que tuvo lugar el protocolo de entrenamiento de fuerza establecido. En concreto, observaron un descenso del 16% de la masa grasa. El citado estudio tuvo una duración de 4 semanas superior al propuesto en este trabajo, por lo que es posible que las adaptaciones hubieran llegado más tarde si se hubiera mantenido el programa durante un periodo de tiempo más prolongado. Utilizando un volumen y una frecuencia de entrenamiento similar a la del citado estudio, Paoli et al (2010) compararon dos programas de entrenamiento en circuito de baja y alta intensidad (15RM vs 6RM) durante un periodo de 12 semanas. En este estudio se observó también un gran descenso del porcentaje de grasa corporal en el grupo de participantes que entrenó con una intensidad alta e idéntica a la utilizada en esta investigación (6RM), siendo esta reducción significativamente mayor que la del grupo que entrenó con una intensidad más baja (15RM). Los autores especularon al respecto que estos hallazgos se debieron fundamentalmente a un incremento del exceso de oxígeno consumido (EPOC) durante las horas posteriores al ejercicio, pues investigaciones anteriores demostraron que ejercicios de fuerza con sobrecargas realizados a alta intensidad generaban mayor EPOC que ejercicios similares llevados a cabo a una intensidad de trabajo más baja con el consiguiente aumento del metabolismo y la disminución del peso corporal (Alcaraz et al., 2011; Haltom et al., 1999; Paoli et al., 2015; Paoli et al., 2012; Thornton, 2002).

Otro efecto importante que produce el entrenamiento de fuerza con sobrecargas realizado a alta intensidad es el aumento de la masa muscular. Además de influir de manera directa en el metabolismo basal, este incremento de la masa muscular minimiza los efectos de la sarcopenia (Mitchell, 2012). Aunque investigaciones iniciales propusieron que la mayoría de las ganancias iniciales de fuerza en sujetos no entrenados se debían a adaptaciones neurales más que a hipertrofia muscular (Moritani, 1979), los resultados de este estudio sugieren que algunas de las ganancias de fuerza iniciales en GE1 podrían deberse también a estadios iniciales de hipertrofia muscular a pesar de que la duración del protocolo de entrenamiento fue bastante reducido. Existen posicionamientos que defienden que, debido a la variabilidad de opciones utilizadas a la hora de realizar mediciones de hipertrofia, es probable que esta ocurra también en sujetos no entrenados al someterse a protocolos de entrenamiento no prolongados en el

tiempo, aunque es difícil de detectar. Esta versión queda sustentada por un estudio llevado a cabo por Seynnes, de Boer y Narici (2007), que demostraron que los sujetos jóvenes y sanos sometidos a su investigación mostraron hipertrofia medible después de tan solo tres semanas de entrenamiento de fuerza con sobrecargas realizado a alta intensidad.

Respecto a la carga de entrenamiento, Hunter et al (2004) establecieron que la intensidad óptima para promover hipertrofia muscular en programas de entrenamiento de fuerza debía oscilar entre el 60% y el 80% del 1RM. Si se establece una relación dosis-respuesta con las afirmaciones realizadas por los autores citados anteriormente y las cargas utilizadas en este estudio, los resultados obtenidos en masa muscular con un valor de $p=0,061$, revelaron un incremento con tendencia a la significación de la masa muscular en respuesta al entrenamiento en circuito de alta intensidad propuesto, llevado a cabo durante 8 semanas y con una carga de 6 RM.

Solo unos pocos ensayos controlados han investigado los efectos de la frecuencia del entrenamiento en las adaptaciones musculares y las mejoras de fuerza. Un estudio llevado a cabo por McLester (2000), que comparó 1 vs 3 días de entrenamiento de fuerza equiparando el volumen en sujetos bien entrenados, informaron que la ganancia de fuerza del grupo que entrenó un solo día fue 2/3 menor que el grupo que entrenó con una mayor frecuencia después de 12 semanas de entrenamiento de fuerza con sobrecargas. Por otra parte, las diferencias porcentuales de cambio de masa muscular favorecieron la condición de alta frecuencia de entrenamiento en relación a baja frecuencia (8 contra 1, respectivamente), aunque los resultados no fueron estadísticamente significativos. Por el contrario, Candow et al (2007), que investigaron los efectos del entrenamiento de fuerza 2 vs 3 días a la semana en un cohorte de hombres y mujeres sin experiencia y con un tamaño de muestra similar al utilizado en esta investigación, llegaron a la conclusión de que después de 6 semanas no se observaron diferencias en la masa muscular entre las diferentes condiciones de entrenamiento evaluando dichos parámetros a través de una densitometría dual de rayos x (DEXA). Las aparentes discrepancias entre estos estudios podrían estar relacionadas con el nivel de entrenamiento de los participantes. Los sujetos que participaron en el estudio de McLester (2000) estaban experimentados en el entrenamiento de fuerza con sobrecargas, mientras que los de Candow et al (2007) eran principiantes sin nivel previo de entrenamiento. En este sentido, los resultados obtenidos en este trabajo fueron muy similares a los obtenidos por Candow et al (2007); aunque el estu-

dio llevado a cabo por estos autores tuvo una duración menor (6 semanas), no se observaron tampoco cambios significativos en la masa muscular en los diferentes grupos sometidos al entrenamiento propuesto ni en GC al evaluar los parámetros asociados a composición corporal a través de DEXA.

Limitaciones del estudio

Este estudio tuvo varias limitaciones que deben tenerse en cuenta al interpretar los resultados. En primer lugar, el periodo de tiempo en el que se llevó a cabo fue relativamente corto, cubriendo solo 8 semanas; no está claro si los resultados habrían sido diferentes si la duración hubiera sido mayor. En segundo lugar, el pequeño tamaño de la muestra en cada uno de los grupos pudo afectar a la potencia estadística; se observó un alto grado de variabilidad interindividual entre los sujetos al realizar los cálculos estadísticos, lo que limitó la capacidad de detectar diferencias significativas en las mediciones. En tercer lugar, aunque el uso de entrenamientos llegando al fallo muscular es una práctica común en los programas de fuerza y acondicionamiento físico, este entrenamiento puede aumentar el potencial de sobreentrenamiento cuando se emplea con demasiada frecuencia en el tiempo (Izquierdo, 2006). Podría ser posible que los efectos negativos de este se manifestaran y afectaran negativamente a nuestros resultados; todos los participantes, independientemente del grupo al que pertenecieran, utilizaron altas cargas (6 RM) durante las 8 semanas que duró el procedimiento y se percibieron ciertos marcadores de sobreentrenamiento que finalmente no pudieron analizarse. Por último, los hallazgos son específicos para sujetos jóvenes sin experiencia en entrenamiento de fuerza con sobrecargas y no pueden generalizarse necesariamente a otras poblaciones; específicamente, las diferencias en las influencias hormonales, la sensibilidad anabólica del músculo, las habilidades de recuperación y otros factores pueden alterar la respuesta hipertrófica en adolescentes, mujeres y ancianos. Investigaciones futuras deberían buscar determinar la generalización de resultados a estas poblaciones.

Conclusión

Como conclusión al presente estudio, y teniendo en cuenta las limitaciones de este y que los resultados son únicamente extrapolables a sujetos de características similares, podemos deducir a la vista de los resultados obtenidos que el entrenamiento en circuito de alta intensidad propuesto consigue adaptaciones en la fuerza isocinética en la articulación de la rodilla al entrenar un día, dos días y tres días semanales. También podríamos concluir, que llevar a cabo un día de entrenamiento semanal utilizando el protocolo propuesto consigue ciertos aumentos en la masa muscular en tan solo 8 semanas en sujetos jóvenes no entrenados.

Aplicaciones prácticas

Las pautas actuales de entrenamiento recomiendan llevar a cabo al menos 2 días de entrenamiento de fuerza con sobrecargas para mejorar en fuerza y en composición corporal (Schoenfeld, Ogborn, & Krieger, 2016b; Schoenfeld, et al., 2015). Los resultados del presente estudio proporcionan una visión novedosa de las adaptaciones musculares asociadas con el entrenamiento de fuerza con sobrecargas en individuos jóvenes sin experiencia en entrenamiento, pues independientemente de llevar a cabo una sesión, dos sesiones o tres sesiones semanales se pueden conseguir mejoras en fuerza al aplicar el protocolo establecido en circuito de alta intensidad. Este estudio sugiere además la existencia de una relación dosis-respuesta entre la frecuencia de entrenamiento de fuerza con sobrecargas y las adaptaciones musculares, pues solo con entrenar una vez por semana se pueden obtener ciertas mejoras en la masa muscular al aplicar el entrenamiento propuesto. Además, es concebible que se puedan obtener mayores beneficios hipertróficos periodizando la frecuencia en el transcurso de un ciclo de entrenamiento más a largo plazo y no en tan solo 8 semanas; tal estrategia mantendría la novedad del estímulo de entrenamiento y permitiría aumentos continuos en la acumulación de proteínas contráctiles musculares dando lugar a mejoras más significativas.

BIBLIOGRAFÍA

- ACSM. (1998). American College of Sports Medicine Position Stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(6), 975-991.
- Alcaraz, P. E., Perez-Gomez, J., Chavarrias, M., & Blazevich, A. J. (2011). Similarity in adaptations to high-resistance circuit vs. traditional strength training in resistance-trained men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(9), 2519-2527. doi:10.1519/JSC.0b013e3182023a51.
- Alcaraz, P. E., Sanchez-Lorente, J., & Blazevich, A. J. (2008). Physical performance and cardiovascular responses to an acute bout of heavy resistance circuit training versus traditional strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3), 667-671. doi:10.1519/JSC.0b013e31816a588f.
- Arazi, H., & Asadi, A. (2011). Effects of 8 Weeks Equal-Volume Resistance Training with Different Workout Frequency on Maximal Strength, Endurance and Body Composition. *International Journal of Sports Science and Engineering*, 05 No. 02, 112-118.
- Armstrong, R. B. (2006). Development of the World Health Organization Global Physical Activity Questionnaire (GPAQ). *Journal of Public Health*, 14(2), 66-70. doi:10.1007/s10389-006-0024-x.
- Baechle, T. R. (2008). Essentials of strength training and conditioning. *Anonymous Champaign, IL: Human Kinetics Publishers*.
- Benden, M. E., Zhao, H., Jeffrey, C. E., Wendel, M. L., & Blake, J. J. (2014). The evaluation of the impact of a stand-biased desk on energy expenditure and physical activity for elementary school students. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(9), 9361-9375. doi:10.3390/ijerph110909361.
- Braun, W. A., Hawthorne, W. E., & Markofski, M. M. (2005). Acute EPOC response in women to circuit training and treadmill exercise of matched oxygen consumption. *European Journal of Applied Physiology*, 94(5-6), 500-504. doi:10.1007/s00421-005-1383-7.
- Brentano, M. A., Cadore, E. L., Da Silva, E. M., Ambrosini, A. B., Coertjens, M., Petkowicz, & R., Krue, L. F. (2008). Physiological adaptations to strength and circuit training in postmenopausal women with bone loss. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(6), 1816-1825. doi:10.1519/JSC.0b013e31817ae3f1.
- Burt, J., Wilson, R., & Willardson, J. M. (2007). A comparison of once versus twice per week training on leg press strength in women. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 47(1), 13-17.
- Cadore, E. L., Pinto, R. S., Bottaro, M., & Izquierdo, M. (2014). Strength and endurance training prescription in healthy and frail elderly. *Aging and Disease*, 5(3), 183-195. doi:10.14336/AD.2014.0500183.
- Caiozzo, V. J., Perrine, J. J., & Edgerton, V. R. (1981). Training-induced alterations of the in vivo force-velocity relationship of human muscle. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, 51(3), 750-754.
- Candow, D. G., & Burke, D. G. (2007). Effect of short-term equal-volume resistance training with different workout frequency on muscle mass and strength in untrained men and women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(1), 204-207. doi:10.1519/R-19785.1
- Coburn, J. W. (2011). NSCA's essentials of personal training. *Anonymous Champaign, IL: Human Kinetics Publishers*.
- Chilibeck, P. D., Sale, D. G., & Webber, C. E. (1998). A comparison of strength and muscle mass increases during resistance training in young women. *European Journal of Applied Physiology*, 77, 170-175.
- Chodzko-Zajko, W. J., Proctor, D. N., Fiatarone Singh, M. A., Minson, C. T., Nigg, C. R., Salem, G. J., & Skinner, J. S. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and physical activity for older adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(7), 1510-1530. doi:10.1249/MSS.0b013e3181a0c95c.
- DeMichele, P. D., Graves, J. E., Foster, D. N., Carpenter, D., Garzarella, L., Brehue, W., & Fulton, M. (1997). Isometric dorsal rotations strength: Effective training frequency on its development. *Archives of physiology and Medical Rehabilitation*, 78, 64-69.
- Fahlman, M. M., Boardley, D., Lambert, C. P., & Flynn, M. G. (2002). Effects of endurance training and resistance training on plasma lipoprotein profiles in elderly women. *Journal of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 57(2), B54-60.
- Fleck, S. J., & Kraemer, W. J. (2005). Designing resistance training program. *Human Kinetics Publishers*.
- Fry, A. C. (2004). The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Medicine*, 34(10), 663-679.
- Gabriel, D. A., Kamen, G., & Frost, G. (2006). Neural adaptations to resistive exercise: mechanisms and recommendations for training practices. *Sports Medicine*, 36, 133-149.
- Gettman, L. R., Ayres, J. J., Pollock, M. L., Durstine, J. L., & Grantham, W. (1979). Physiologic effects on adult men of circuit strength training and jogging. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 60(3), 115-120.
- Gomez-Cabello, A., Ara, I., Gonzalez-Aguero, A., Casajus, J. A., & Vicente-Rodriguez, G. (2012). Effects of training on bone mass in older adults: a systematic review. *Sports Medicine*, 42(4), 301-325. doi:10.2165/11597670-000000000-00000.
- Graves, J. E., Foster, D. N., Leggett, S. H., Carpenter, D. M., Vuoso, R., & Jones, A. (1990). Effects of training frequency and specificity on isometric lumbar extension strength. *Spine*, 15, 504-509.
- Green, D. J., Watts, K., Maiorana, A. J., & O'Driscoll, J. G. (2001). A comparison of ambulatory oxygen consumption during circuit training and aerobic exercise in patients with chronic heart failure. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, 21(3), 167-174.
- Haltom, R. W., Kraemer, R. R., Sloan, R. A., Hebert, E. P., Frank, K., & Tryniecki, J. L. (1999). Circuit weight training and its effects on excess postexercise oxygen consumption. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(11), 1613-1618.
- Harber, M. P., Fry, A. C., Rubin, M. R., Smith, J. C., & Weiss, L. W. (2004). Skeletal muscle and hormonal adaptations to circuit weight training in untrained men. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 14(3), 176-185.
- Hartman, M. J., Fields, D. A., Byrne, N. M., & Hunter, G. R. (2007). Resistance training improves metabolic economy during functional tasks in older adults. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(1), 91-95.
- Hunter, G. R., Bryan, D. R., Wetzstein, C. J., Zuckerman, P. A., & Bamman, M. M. (2002). Resistance training and intra-abdominal adipose tissue in older men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(6), 1023-1028.
- Hunter, G. R., McCarthy, J. P., & Bamman, M. M. (2004). Effects of resistance training in older adults. *Sports Medicine*, 34(5), 329-348.
- Izquierdo, M., Gonzalez-Badillo, J. J., Hakkinen, K., Ratamess, N. A., Kraemer, W. J., French, D. N., Eslava, J., Altadill, A., Asiain, X., & Gorostiaga, E. M. (2006). Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. *Journal of Applied Physiology*, 100, 1647-1656.
- Jones, T. W., Howatson, G., Russell, M., & French, D. N. (2013). Performance and neuromuscular adaptations following differing ratios of concurrent strength and endurance training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(12), 3342-3351.
- Judge, L. W., & Burke, J. R. (2003). Neural adaptations with sport specific resistance training in highly skilled athletes. *Journal of Sports Science*, 21, 419-427.
- Kraemer, W. J., Adams, K., Cafarelli, E., Dudley, G. A., Dooly, C., Feigenbaum, M. S., & Triplett-McBride, T. (2002). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(2), 364-380.
- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(4), 674-688.
- Latham, N. K., Bennett, D. A., Stretton, C. M., & Anderson, C. S. (2004). Systematic review of progressive resistance strength training in older adults. *Journal of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 59(1), 48-61.
- Mazzetti, S., & Volek, J. S. (2000). The influence of direct supervision of

- resistance training on strength performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, 1175-1184.
- McLester, J. R., & Guillems, M. E. (2000). Comparison of 1 day and 3 days per week of equal-volume resistance training in experienced subjects. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14, 273-281.
- Mitchell, W. K., Atherton, P., Larvin, M., Lund, J., & Narici, M. (2012). Sarcopenia, dynapenia, and the impact of advancing age on human skeletal muscle size and strength; a quantitative review. *Frontiers in Physiology*, 3, 260.
- Moritani, T. D. (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Sports Medicine*, 58, 115-130.
- Paoli, A., Moro, T., & Bianco, A. (2015). Lift weights to fight overweight. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 35(1), 1-6. doi:10.1111/cpf.12136ç.
- Paoli, A., Moro, T., Marcolin, G., Neri, M., Bianco, A., Palma, A., & Grimaldi, K. (2012). High-Intensity Interval Resistance Training (HIRT) influences resting energy expenditure and respiratory ratio in non-dieting individuals. *Journal of Translational Medicine*, 10, 237.
- Paoli, A., Pacelli, F., Bargossi, A. M., Marcolin, G., Guzzinati, S., Neri, M., & Palma, A. (2010). Effects of three distinct protocols of fitness training on body composition, strength and blood lactate. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 50(1), 43-51.
- Pereira, A., Izquierdo, M., Silva, A. J., Costa, A. M., Bastos, E., Gonzalez-Badillo, J. J., & Marques, M. C. (2012). Effects of high-speed power training on functional capacity and muscle performance in older women. *Experimental Gerontology*, 47(3), 250-255.
- Peterson, M. D., Rhea, M. R., & Alvar, B. A. (2005). Applications of the dose-response for muscular strength development: a review of meta-analytic efficacy and reliability for designing training prescription. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(4), 950-958.
- Rhea, M. R., Alvar, B. A., Burkett, L. N., & Ball, S. D. (2003). A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(3), 456-464. doi:10.1249/01.MSS.0000053727.63505.D4.
- Romero-Arenas, S., Pérez-Gómez, J., & Alcaraz, P. E. (2011). Entrenamiento en circuito. ¿Una herramienta útil para prevenir los efectos del envejecimiento?. *Cultura Ciencia y Deporte*. doi:10.12800/ccd.v6i18.45.
- Romero-Arenas, S., Martínez-Pascual, M., & Alcaraz, P. E. (2013). Impact of resistance circuit training on neuromuscular, cardiorespiratory and body composition adaptations in the elderly. *Aging and Disease*, 4(5), 256-263.
- Shoenfeld, B. J. (2010). The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24, 2857-2872.
- Schoenfeld, B. J., Ratamess, N. A., Peterson, M. D., Contreras, B., & Tiryaki-Sonmez, G. (2015). Influence of Resistance Training Frequency on Muscular Adaptations in Well-Trained Men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(7), 1821-1829. doi:10.1519/JSC.0000000000000970.
- Schoenfeld, B. J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2016a). Effects of Resistance Training Frequency on Measures of Muscle Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*. doi:10.1007/s40279-016-0543-8.
- Schoenfeld, B. J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2016b). Dose-response relationship between weekly resistance training volume and increases in muscle mass: A systematic review and meta analysis. *Journal of Sports Science*. 35(11):1073-1082. doi:10.1080/02640414.
- Seynnes, O. R., de Boer, M., & Narici, M. V. (2007). Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *Journal of Applied Physiology*, (1985), 102(1), 368-373.
- Skidmore, B. L., Jones, M. T., Blegen, M., & Matthews, T. D. (2012). Acute effects of three different circuit weight training protocols on blood lactate, heart rate, and rating of perceived exertion in recreationally active women. *Journal of Sports Science and Medicine*, 11(4), 660-668.
- Staron, R. S., & Karapondo, D. L. (1991). Strength and skeletal muscle adaptations in heavy-resistance-trained women after detraining and retraining. *Journal of Applied Physiology*, 70, 631-640.
- Taaffe, D. R., Duret, C., & Wheeler, S. (1999). Once-weekly resistance exercise improves muscle strength and neuromuscular performance in older adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, 47(10): 1208-14.
- Takeshima, N., Rogers, M. E., Islam, M. M., Yamauchi, T., Watanabe, E., & Okada, A. (2004). Effect of concurrent aerobic and resistance circuit exercise training on fitness in older adults. *European Journal of Applied Physiology*, 93(1-2), 173-182.
- Thornton, M. K. (2002). Effects of resistance exercise bouts of different intensities but equal work on EPOC. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(4), 715-722.
- Vincent, K. R., Braith, R. W., Feldman, R. A., Kallas, H. E., & Lowenthal, D. T. (2002). Improved cardiorespiratory endurance following 6 months of resistance exercise in elderly men and women. *Archives of Internal Medicine*, 162(6), 673-678.
- Waller, M., & Hannon, J. (2011). Resistance circuit training: Its application for the adult population. *Strength and Conditioning Journal*, 33(1), 16-22.
- Wernbom, M., Augustsson, J., & Thomee, R. (2007). The influence of frequency, intensity, volume and mode of strength training on whole muscle cross-sectional area in humans. *Sports Medicine*, 37(3), 225-264.
- Willardson, J. M. (2006). A brief review: factors affecting the length of the rest interval between resistance exercise sets. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 978-984.
- William, A., Selig, S., Hayes, A., Krum, H., Patterson, J., & Hare, D. L. (2007). Circuit resistance training in chronic heart failure improves skeletal muscle mitochondrial ATP production rate—a randomized controlled trial. *Journal of Cardiac Failure*, 13(2), 79-85.
- Williams, M. A., & Stewart, K. J. (2009). Impact of strength and resistance training on cardiovascular disease risk factors and outcomes in older adults. *Clinics in Geriatrics Medicine*, 25(4), 703-714, ix.
- Zhang, K., Sun, M., Werner, P., Kovera, A. J., Albu, J., Pi-Sunyer, F. X., & Boozer, C. N. (2002). Sleeping metabolic rate in relation to body mass index and body composition. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders*, 26(3), 376-383. doi:10.1038/sj.ijo.0801922.