

Grado Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

Promoción 2009-2013 4º Curso



TRABAJO FIN DE GRADO

Facultad Ciencias de la Educación

Francisco Miguel Jiménez Rodríguez

**Efectos del HIIT en la composición corporal,
potencia máxima y fuerza máxima. Un estudio
preexperimental**

Efectos del HIIT en la composición corporal, potencia máxima y fuerza máxima. Un estudio preexperimental

Autor: Francisco Miguel Jiménez Rodríguez

Tutor/a: Aurora Llopis Garrido

Orientación: Investigación

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	4
MARCO TEÓRICO Y OBJETIVOS.....	5
METODOLOGÍA.....	8
Aproximación Experimental al Problema.....	8
Muestra.....	9
Material y Procedimiento.....	9
Entrenamiento Interválico de Alta Intensidad (HIIT).....	14
Análisis Estadísticos.....	17
RESULTADOS.....	17
DISCUSIÓN.....	24
CONCLUSIÓN.....	27
FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN.....	28
AGRADECIMIENTOS.....	28
BIBLIOGRAFÍA.....	29

RESUMEN

El principal objetivo de este estudio es conocer los efectos del HIIT en la composición corporal, fuerza dinámica (FDM) y potencia máxima (P_{máx}) de miembro superior e inferior, potencia en saltos y fuerza máxima isométrica (FIM) manual. Cuatro hombres activos universitarios de similares características (21.5 ± 0.5 años, 175.75 ± 2.63 cm, 76.27 ± 4.76 kg) se ofrecieron como voluntarios para formar parte del estudio, un estudio preexperimental, sin grupo control, en el que realizaron un protocolo de entrenamiento durante 5 semanas, con una frecuencia de 3 sesiones por semana, lo que supone en total la realización de 15 sesiones. Los sujetos desarrollaron cada semana el mismo protocolo, el cual consistía en realizar 2 series consecutivas de 30 segundos de cada ejercicio con un periodo de recuperación activa de 30 segundos. Hay un total de 10 ejercicios funcionales que van variando cada semana siguiendo el mismo protocolo, por lo tanto, el tiempo de cada sesión de entrenamiento es de 20 minutos. Se realizó mediciones de composición corporal, fuerza isométrica máxima manual, fuerza dinámica máxima (1RM en extensiones de rodilla, squat y press banca) absoluta y relativa al peso corporal, saltos verticales (SJ, CMJ, Abalakov y SJbw) y potencia máxima (Squat y press banca). Estos parámetros fueron medidos pre entrenamiento y post entrenamiento para observar los cambios que se producirían después del periodo de entrenamiento. Los resultados presentaron mejoras significativas ($p < 0.05$) en composición corporal, dinamometría y CMJ. Aunque no hubo mejoras significativas en los demás parámetros debido a la reducida muestra, la mayoría de ellos mejoraron claramente. La FDM tanto absoluta como relativa al peso corporal mejoró proporcionalmente tanto en miembros superior como inferior. Al contrario, la P_{máx} aumento solo en miembro superior, disminuyendo en miembro inferior y la altura de los saltos medidos en plataforma de Bosco también aumentaron. Los datos presentan que el HIIT produce mejoras en la composición corporal, FDM en miembro superior e inferior, FIM manual, P_{máx} en miembro superior y potencia en saltos en jóvenes físicamente activos.

Palabras Clave: HIIT, Composición corporal, fuerza dinámica máxima, fuerza isométrica máxima, potencia máxima, SJ, CMJ y Abalakov.

MARCO TEÓRICO Y OBJETIVOS

Actualmente hay un gran número de estudios que muestran claramente las evidencias de los mayores efectos del entrenamiento interválico de alta intensidad o High-Intensity Interval Training (HIIT) en comparación con el tradicional entrenamiento de resistencia a nivel de adaptaciones fisiológicas en individuos saludables y enfermos (Gibala, Little, MacDonald & Hawley, 2012). El HIIT es un método de entrenamiento de 2 a 6 semanas de duración que combina repetidos esfuerzos de corta duración a altas intensidades de trabajo intercalando periodos de recuperación a bajas intensidades o pausa. Laursen & Jenkins (2002) proponen que el HIIT puede ser definido como series repetidas de ejercicios de corta a moderada duración (desde 10 segundos a 5 minutos) completados a una intensidad mayor a la del umbral anaeróbico, o una intensidad mayor de 90% VO₂max (Gibala & McGee, 2008). Coincidimos con Gibala et al. (2012) en considerar el HIIT como una intervención potencial para la mejora de la salud y la capacidad de rendimiento atlético. Además, este autor señala como el HIIT puede ser un método de entrenamiento excelente para conseguir mejoras en poco tiempo, ya que la falta de tiempo para realizar actividad física hoy en día es más frecuente. La cantidad se está sustituyendo por la calidad en muchos usuarios, que como afirma un estudio de Bartlett et al. (2011), revela que es más agradable realizar un HIIT antes que un entrenamiento a moderada intensidad y mayor duración.

En cuanto a la respuesta metabólica, según Burgomaster, Heigenhauser & Gibala (2006) al inicio del entrenamiento del HIIT se produce una disminución de los depósitos de ATP y PCr seguidos de una disminución de los depósitos de glucógeno. Tras una sesión de HIIT los depósitos de fosfágenos suelen tardar entre 3-4 minutos en restituirse completamente, mientras que, al contrario, los niveles iniciales del pH y lactato tardan en completar su restitución varias horas (Tomlin & Wenger, 2011; citado en Boutcher, 2011). En cuanto al glucógeno, MacDougall, Ward & Sale (1977), coinciden en decir que después de un HIIT se produce una depleción en los niveles de glucógeno, y por lo tanto, el periodo de recuperación completa para volver a los valores normales de glucógeno pueden ser alcanzados dentro de las 24 horas, y además, dentro de esas 24 horas, la resíntesis no puede ser acelerada por una ingesta más alta de lo normal de carbohidratos. (Gaitanos, Williams, Boobis & Brooks, 1993) afirma que durante el entrenamiento se produce una inhibición de la glucólisis anaeróbica, por lo tanto, al

final del entrenamiento la resíntesis de ATP proviene principalmente de la degradación de los triglicéridos musculares y de la PCr. Según Rodas, Ventura, Cadefau, Cussó & Parra (2000), un programa de entrenamiento interválico de alta intensidad aumenta la concentración de fosfocreatina y el glucógeno en el músculo.

Casi todas las investigaciones que han utilizado el HIIT, como una estrategia para inducir rápidas adaptaciones en el músculo esquelético y el rendimiento en hombres jóvenes activos, han utilizado el cicloergómetro como instrumento de trabajo (Gibala et al. 2006). Entre los efectos más significativos de combinar el entrenamiento aeróbico intercalado con el anaeróbico encontramos el aumento del VO₂máx (Talanian, Galloway, Heigenhauser, Bonen & Spriet, 2007; Helgerud, Hoydal & Wang, 2007; Whyte, Gill & Cathcart, 2010; Astorino, Allen, Roberson & Jurancich, 2012), el aumento del metabolismo lipídico y la oxidación de las grasas reduciendo la masa grasa corporal (Tremblay, Simoneau, & Bouchard, 1994; Boudou, Sobngwi, Mauvais-Jarvis, Vexiau & Gautier, 2003; Talanian et al., 2007; Trapp, Chisholm & Boutcher, 2007; Trapp, Chisholm, Freund & Boutcher, 2008; Salvadori et al., 2013) debido al aumento de las catecolaminas y la hormona del crecimiento (Nevill et al., 1996; Brachen, Linnane & Brooks, 2009;). Burgomaster, Hughes, Heigenhauser, Bradwell & Gibala, (2005) y Talanian et al. (2007) han demostrado que 6-7 sesiones de HIIT producen un incremento de la capacidad para oxidar grasas en todo el cuerpo y en el músculo esquelético. También se han hallado incrementos significativos en la actividad de las enzimas glucolíticas (Tremblay et al., 1994; Rodas et al., 2000). Sijie, Hainai, Fengying & Jianxiong, (2012) sugieren el HIIT para mejorar la composición corporal en jóvenes mujeres con sobrepeso. Además, después de 9 semanas de HIIT la disminución del peso corporal y el IMC fueron significativos en jóvenes con sobrepeso (Heydari, Freund & Boutcher, 2012). Autores como Scheunke, Mikat & McBride (2002) dicen que un HIIT puede suponer hasta 38 horas quemando grasas. Otro aspecto importante es el retraso de la fatiga muscular (Weston et al. 1997) con la mejora en la capacidad tampón (Jenkins & Quigley, 1993).

Hay evidencias claramente significativas de los efectos del HIIT en la pérdida de peso, aumento de la capacidad aeróbica, y sobre todo incremento de la capacidad anaeróbica (Tabata et al., 1996; Ziemann et al., 2011). Sin embargo, pocos estudios he llegado a conocer que muestre los efectos del HIIT con respecto al aumento de masa muscular, fuerza máxima y potencia máxima. Algunos autores como Trapp et al. (2008) confirmaron en su estudio un incremento de la masa muscular del tronco después de 15

semanas de HIIT. Otros como Boudou et al. (2003) demuestran un incremento del 24% el área transversal del muslo tras un programa de HIIT durante 8 semanas. Por otra parte, un estudio de Abbie et al. (2009) afirma que con un programa de HIIT durante 6 semanas aumenta la masa magra con suplementación β -alanina.

En cuanto a los efectos en la fuerza y potencia máxima, Cormie, McGuigan & Newton (2012) dice que potencia y fuerza están relacionadas. Thorstensson, Sjodin & Karlsson (1975) comprueba en su estudio el aumento de máxima contracción voluntaria después de un entrenamiento de velocidad en 8 sujetos jóvenes durante 8 semanas. Sin embargo, Astorino et al. (2012) admite que no tiene conocimientos sobre ningún estudio que relacione los efectos del HIIT con la producción de fuerza voluntaria. También refleja que si fuera efectivo, el HIIT podría ser empleado para incrementar la producción de fuerza en lugar, o para acompañar, del entrenamiento de fuerza tradicional. Por lo tanto, en su estudio lo comprueba, y después de 2 semanas de HIIT los resultados muestran que no hay mejora en la producción de fuerza muscular de los extensores y flexores de la rodilla, pero si en el pico de potencia máxima, resistencia muscular y alto índice de fatiga. Este mismo autor explica que individuos con mayor proporción de fibras tipo I, podrían presentar un pico de potencia y producción de fuerza muscular mejoradas, en respuesta a un corto periodo de entrenamiento interválico. Tampoco hay estudios que muestren que el HIIT aumenta la fuerza muscular mediante dinamometría manual, pero si relacionan la fuerza medida con dinamómetro con fuerza máxima isométrica. Esto será debido a que la mayoría de los protocolos de entrenamiento se realizan en cicloergómetro o en tapiz rodante y desarrollan un trabajo más dirigido al tren inferior. Bohannon (2011) está de acuerdo en utilizar la dinamometría manual para realizar mediciones de fuerza muscular.

La mayoría de las investigaciones utilizan en su protocolo la bicicleta ergométrica, sin embargo, existen numerosas modalidades como correr, saltar, subir escaleras, etc., de las cuales se desconocen los efectos. Así mismo, todos los deportes implican grandes cantidades de movimientos, por lo tanto, necesitan de un programa de acondicionamiento físico que incluya múltiples movimientos de todas las partes del cuerpo que involucren muchas articulaciones desarrollados en múltiples planos, o lo que es lo mismo, desarrollar un programa de entrenamiento funcional (Gambetta, 2007). Por ello, vamos a desarrollar un programa de entrenamiento funcional mediante el método HIIT para conocer sus efectos.

El principal objetivo de este estudio es conocer los efectos del HIIT en la composición corporal, fuerza y potencia máxima de miembro superior e inferior, y fuerza máxima isométrica manual. Consecuentemente a los estudios revisados, la hipótesis sería que (a) disminuyese el porcentaje de masa grasa y la masa muscular no fuera afectada, (b) aumentase significativamente la fuerza dinámica máxima tanto en miembros inferiores como superiores, (c) aumentase significativamente la potencia máxima en miembros superiores e inferiores y la potencia en salto y (d) aumentase la fuerza máxima isométrica manual.

MÉTODOLÓGIA

Aproximación Experimental del Problema

Se trata de un estudio piloto de tipo preexperimental. Este estudio no pretende ser representativo de la población debido a la reducida muestra que posee. Para evaluar las respuestas del entrenamiento, los sujetos completaron una serie de pruebas de referencia (pretest) para ser comparadas al final del periodo de entrenamiento (posttest). Las pruebas se llevaron a cabo en dos días consecutivos para que el sujeto estuviera completamente descansado, ya que son pruebas de alta exigencia muscular. El primer día se realizó mediciones de composición corporal, fuerza isométrica máxima manual y fuerza dinámica máxima (1RM en extensiones de rodilla y press banca) absoluta y relativa al peso corporal. El segundo día se realizó las mediciones de potencia con saltos verticales (SJ, CMJ, Abalakov y SJbw) y potencia máxima (Squat y press banca). Dos días después, los sujetos comenzaron con el entrenamiento completando 15 sesiones durante 5 semanas con una frecuencia de 3 días a la semana. Cada entrenamiento estuvo separado por al menos 48 horas de descanso. Al finalizar el entrenamiento, se volvió a realizar las mediciones (posttest) que se hicieron al principio con la misma secuencia. Estas mediciones se realizaron tras dejar 48 horas de descanso desde la última sesión de entrenamiento. También fue registrada la hora del día en que se realizaban los entrenamientos. Toda la información obtenida para realizar el proyecto fue hallada en la base de datos de PubMed, SCOPUS, SPORTDISCUS y Google Académico, además de algunos libros consultados.

Muestra

Cuatro hombres activos universitarios (21.5 ± 0.5 años, 175.75 ± 2.63 cm, 76.27 ± 4.76 kg) se ofrecieron como voluntarios para formar parte del único grupo que realizara el pretest, el tratamiento y el posttest, y valoraremos los cambios producidos entre ambos. Todos ellos son estudiantes universitarios del Grado de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, por lo tanto, son físicamente activos. Realizan actividad física habitualmente 4 días a la semana durante todo el año de manera recreacional y para conseguir una buena condición física, aunque ninguno de ellos participa en competiciones de ninguna modalidad deportiva. Realizan actividad física aeróbica como correr o salir en bicicleta y ejercicios de fuerza muscular, generalmente hipertrofia. Todos los participantes fueron informados de los objetivos y las condiciones del estudio, además de la exigencia que conllevaba este tipo de entrenamiento, y dieron su consentimiento para participar en él. Los sujetos estaban libres de enfermedades cardiovasculares o lesiones musculares. Además no eran fumadores. Estaban excluidos del estudio los sujetos que presentaran obesidad, los que no hacían actividad física habitualmente, los sujetos que llevaban sin realizar actividad física dos meses atrás y los sujetos que presentaran síntomas de alguna lesión muscular.

Material y Procedimiento

Las mediciones se llevaron a cabo en dos días consecutivos con el objetivo de que el sujeto estuviera completamente descansado, ya que son pruebas de alta exigencia muscular y el hecho de hacerlas todas el mismo día aumentaría la fatiga, proporcionando resultados menos valiosos en los test. El primer día se realizó mediciones de composición corporal, fuerza isométrica máxima manual y fuerza dinámica máxima, mientras que el segundo día se realizó las mediciones de saltos verticales (SJ, CMJ, Abalakov y SJbw) y potencia máxima (Squat y press banca). Los días previos al inicio de las evaluaciones, así como momentos previos a la evaluación, el investigador informo a los sujetos del funcionamiento y realización del test para evitar cualquier tipo de problema. Todas las evaluaciones se realizaron por la mañana en horario de 11:00 h a 13:00 h.

Durante el primer día, para realizar el análisis de la composición corporal se utilizó la técnica de Bioelectrical Impedance Analysis (BIA) o lo que es lo mismo, un Impedanciómetro (Tanita TBF-300 MA, Japón) previamente descrito en Dartagnan (2013). Con esta técnica obtendremos los datos referentes al peso del sujeto, el IMC, el porcentaje de masa grasa, así como los kilogramos de masa magra y masa grasa. El día anterior a su medición, se informó a los sujetos que vinieran miccionados y defecados, y que realizaran la última ingesta de comida tres horas antes. Para iniciar su medición, se debe registrar en el dispositivo parámetros como la altura, la edad, el peso de la ropa que lleve puesta y si eres un sujeto atlético o sedentario. Seguidamente, los sujetos se colocan de pie en la plataforma y permanecen en esa posición durante varios segundos. El dispositivo inmediatamente estima los datos referidos a los parámetros anteriormente mencionados.

Para evaluar la fuerza máxima isométrica de presión manual en ambas manos se utilizó el dinamómetro de presión digital adaptable (Psymtec TKK 5101 Grip D; Takey, Tokio Japan). Este modelo muestra la medida de los valores máximos de fuerza en la flexión estática de ambas manos. El arco de medida es de 0.5 a 100 kgf y la unidad mínima de medida es de 0.1 kgf, con una precisión de ± 2.0 kgf. Previamente se realizó un calentamiento de 5 minutos con movilidad articular del tren inferior y algunos ejercicios de asimilación con el instrumento. El dinamómetro (Handgrip) se ajustó a las condiciones de la mano de cada sujeto, ajustando la empuñadura para que la articulación interfalángica proximal de los dedos forme un ángulo de 90° resultando un valor de 5,5 en el maneral del dinamómetro para todos los sujetos (Ruiz et al. 2006). Los sujetos se colocaron de pie con el brazo extendido a lo largo del cuerpo sin apoyarlo y ejercieron la mayor fuerza posible apretando el dinamómetro durante 3 segundos. Cada sujeto realizó dos intentos con cada mano intercalando la mano de ejecución y descansando un minuto entre ejecución. Los datos obtenidos fueron anotados a medida que iban realizando el test. Al finalizar el test fue elegido el valor más alto obtenido en cada intento con cada mano, el cual se mide en kilogramos de fuerza.

Seguidamente, se realizó la evaluación de la fuerza dinámica máxima en extensiones de rodilla y press banca, último test del primer día. La RM se calculó de manera indirecta a través de la fórmula de Brzycki, 1993 ($1RM = Kg / (1,0278 -$

0,0278*rep). El investigador informo a los sujetos sobre la fiabilidad de dicha fórmula y el número de repeticiones que deberían de hacer animándoles a que hicieran menos de 5 RM para que el valor final de 1RM fuera lo más cercano posible al que realizarían si la medición se realizara directamente. En primer lugar se realizó la evaluación de extensión de rodillas y posteriormente la de press banca. Los sujetos realizaron un adecuado protocolo de calentamiento que consistió en cinco minutos en bicicleta, movilidad articular y varias repeticiones con cargas equivalentes al 30% (8-10 repeticiones), 40% (6-8 repeticiones) de la 1RM estimada, además de asimilar la ejecución técnica de la prueba. Cinco minutos después, los sujetos comenzaron el test. En ambos test los sujetos realizaron 2 intentos incrementando la carga hasta conseguir hacer menos de 5RM. Había un periodo de descanso de cinco minutos para recuperar y volver a realizar el siguiente intento. A la hora de evaluar la fuerza en tren inferior, los sujetos se colocaron sentados en la máquina de extensión de rodillas o leg extension, con la espalda apoyada en el respaldo, el cual esta brevemente inclinado hacia atrás, manos agarrando los brazos del sillón para mantener el tronco inmóvil, rodillas flexionadas 60° aproximadamente y los tobillos colocados detrás de las almohadillas. El movimiento consiste en hacer repeticiones extendiendo completamente la rodilla hasta la horizontal, 180°, sin importar la velocidad. Después de 5 minutos de descanso realizaron el test de press banca considerado uno de los ejercicios primarios y fundamentales que se utilizan a la hora de valorar la fuerza máxima (1RM) (Arthur, 1982). El Press Banca parte de una posición decúbito supino en un banco, rodillas flexionadas, pies apoyados en el banco, codos 90° de flexión y hombros 90° de abducción. El movimiento consiste en la extensión de los brazos, de manera que desplazan la barra verticalmente hacia arriba sin tener en consideración la velocidad. Los sujetos debían de estar muy concentrados antes de empezar el test. Durante el test el investigador animo constantemente a los sujetos para que realizaran el mayor número de repeticiones que pudieran con la carga adicionada. Los datos se iban registrando contabilizando el número de repeticiones máximas que hacían con cada carga. En el momento en que el sujeto realizara menos de 5RM, se apuntaba la carga con la que lo había hecho y se calculaba el valor estimado de 1RM a través de la fórmula de Brzycki. Los datos obtenidos se expresan en valores absolutos y relativos al peso corporal.

El segundo día se realizó las mediciones de saltos verticales (SJ, CMJ, Abalakov y SJbw) y potencia máxima (Squat y press banca). Los test de saltos vienen siendo uno de los métodos de evaluación de la potencia del tren inferior más utilizados dentro del ámbito de la actividad física y el deporte (López-Gómez & López-Elvira, 2012). Realizaron un calentamiento estandarizado antes de realizar los test de salto que consistió en 5 minutos de pedaleo en una bicicleta estática seguido de 10 minutos de un calentamiento específico incluyendo las modalidades de saltos que iban a ser evaluadas. En primer lugar se realizaron los test de saltos. Para su evaluación, se utilizó el ErgoJump Bosco System (Byomedic, S.C.P., Barcelona, Spain), el cual, mide el tiempo de vuelo durante el salto vertical y estima el desplazamiento vertical del centro de gravedad durante la ejecución de cada salto. Tiene un temporizador digital conectado por un cable a dos barras de infrarrojos. El temporizador se activa por los pies del sujeto en el momento de la liberación de la plataforma y se detiene en el momento del contacto que baja. El dispositivo realiza unos cálculos matemáticos que quedan grabados. Los sujetos realizaron dos intentos de cada uno de los saltos con un periodo de recuperación de 60 segundos entre cada salto. Se tomaron los datos de mayor altura.

En el protocolo de ejecución del SJ el sujeto efectúa un salto vertical partiendo desde la posición de medio Squat (flexión de rodilla 90°) con el tronco recto y las manos en la cadera. Durante el CMJ el sujeto se dispone erguido con las manos en las caderas, posteriormente realiza un movimiento de flexión hacia abajo (flexión de rodilla 90°) seguido de un salto vertical. El tronco debe permanecer lo más recto posible. El salto con la ayuda de los brazos (Abalakov) es idéntico al CMJ pero con la ayuda de los brazos para alcanzar la mayor altura debido a la coordinación y mayor impulsión. Su valor representa los valores máximos de altura alcanzada. El SJbw (SJ con carga sobre los hombros) se realizó con una carga similar al peso corporal de cada sujeto. Su ejecución es idéntica a la del SJ pero las manos sostienen la barra con carga sobre los hombros. Los sujetos adoptaban la posición inicial de cada salto y el investigador daba la señal para su ejecución. Los valores de cada salto se obtienen en centímetros (altura conseguida en el salto). Además de la altura del salto, los resultados nos permiten obtener índices relacionados con la fuerza muscular, como la capacidad contráctil (SJbw), la capacidad explosiva (SJ), explosivo-elástica (CMJ) y la coordinación de los brazos (Abalakov). Todos ellos calculados teniendo en cuenta el tiempo de vuelo.

Después de 5 minutos de recuperación, los sujetos pasaron a realizar el test de potencia máxima en Squat y press banca. Antes de comenzar realizaron un pequeño calentamiento de movilidad articular de miembro superior e inferior. El cálculo de las variables mecánicas se realizó mediante un transductor dinámico Real Power Pro (Globus Italia para conexión a Tesys 400) y del software Ergo System 8.5. El sistema se fija con una abrazadera a la barra haciendo que el cable se desplace verticalmente e informe de la posición de la barra durante el recorrido (1000Hz). Los test de potencia se realizaron en pórtico guiado. El test de evaluación fue la realización de una Curva de Fuerza-Velocidad destinada a la determinación de la curva y a la estimación de la carga vinculada a la potencia máxima ($P_{\text{máx}}$). Los sujetos ejecutaron un test de cargas progresivas en el ejercicio de press banca en pórtico. La carga inicial fue de 20 Kg, incrementándose en 10 Kg por serie. El movimiento se ejecutó a máxima velocidad y solo en fase concéntrica. Se realizó una serie por carga y tres repeticiones por serie. El descanso entre series fue de 3 minutos cuando la velocidad media de ejecución fue superior a $1\text{m}\cdot\text{sg}^{-1}$, y de 5 minutos cuando era inferior a $1\text{m}\cdot\text{sg}^{-1}$. Para cada repetición, obtuvimos un valor medio y máximo de la fuerza aplicada (F), la velocidad (V) y la potencia (P). Se seleccionó una única repetición por cada serie y sobrecarga, correspondiente a la de mayor valor en la potencia media (P_{mean}). Establecimos como potencia máxima ($P_{\text{máx}}$) el valor más elevado de potencia media alcanzada a lo largo de la curva completa. En la realización del test de Squat seguimos el mismo protocolo pero debido a que se moviliza más carga y no conocíamos la RM de los sujetos, la carga iba incrementando hasta que descendiera 2 cargas consecutivas la potencia máxima. Además se calculó la RM de cada sujeto en Squat. La RM la calculamos extrapolando de la curva F-V la carga correspondiente a 0.2 m/s . El software señala la carga que corresponde a esa velocidad y esa carga se consideraba como la RM. Se estima que la velocidad media de una RM está en torno a los 0.2 m/s , Durante todas las series, el investigador informaba a los sujetos del comienzo de cada repetición.

Tras finalizar el periodo de entrenamiento, estas mediciones se volvieron a realizar con el mismo protocolo tras dejar 48 horas de descanso desde la última sesión de entrenamiento.



Figura 1. Medición de P_{máx} en Squat y Press Banca.



Figura 2. ErgoJump para saltos.

High Intensity Interval Training (HIIT)

El entrenamiento consiste en realizar un circuito interválico de ejercicios funcionales que implican largas cadenas musculares realizadas con el peso corporal. Todos los ejercicios implican grandes grupos musculares y desarrollan la musculatura del miembro inferior, superior y la del tronco. Como su propio nombre indica, son ejercicios de alta intensidad. El circuito consta de 10 ejercicios distintos. El protocolo de entrenamiento consiste en realizar 2 series consecutivas de 30 segundos de cada ejercicio intercaladas con 30 segundos de descanso activo entre cada serie. El tiempo total de entrenamiento es de 20 minutos. Antes de comenzar el entrenamiento, los sujetos llevaron a cabo un calentamiento estandarizado consistente en 10 minutos de carrera continua, movilidad articular y ejercicios específicos para preparar el sistema cardiovascular y muscular.

El periodo de entrenamiento se llevó a cabo durante 15 sesiones, distribuidas en 5 semanas, realizadas con una frecuencia de 3 sesiones por semana. Cada entrenamiento estaba separado del siguiente por al menos 48 horas. Además, cada semana se realizaban distintos ejercicios, cambiando por otros distintos, o realizando variantes de los que ya estaban. Al ser un entrenamiento interválico de alta intensidad, la efectividad del circuito depende de la velocidad a la que se hagan las repeticiones. Fundamentalmente, todos los ejercicios deberían de realizarse al tiempo de una repetición por segundo, aunque hay ejercicios más complejos que no permiten ir a ese ritmo, sin embargo, se realizaría de igual modo a la máxima velocidad.

Hay variedad de ejercicios que implican grandes grupos musculares. Muchos de los ejercicios comprometen los músculos de la parte central del cuerpo (Core), por lo

tanto, se prevé una mejora en el control dinámico postural desarrollando la musculatura del complejo lumbo-pélvico, permitiendo la expresión de la fuerza dinámica funcional (Gambetta, 2007). Estos músculos tienen un pequeño rol en los movimientos funcionales, ya que está activo en todos los movimientos. (Gambetta, 2007). Por otra parte, muchos ejercicios del tren inferior son pliométricos y debería de producir mejoras en potencia.

Varios días antes al comienzo del entrenamiento, el investigador mostró a todos los sujetos como realizar la técnica de todos los ejercicios, ya que el variar la técnica de algún ejercicio podría ser perjudicial y provocar lesiones a los participantes. Al ser un entrenamiento intenso los sujetos necesitan estar altamente motivados, por ello la presencia del investigador fue crucial en todos los entrenamientos animando a los sujetos y realizando pequeñas correcciones sobre la técnica.

La dieta fue controlada por los propios sujetos para evitar pérdidas o ganancias excesivas de peso y ser una amenaza para los resultados de los test. Además, el investigador controló el número de sesiones de cada sujeto en una hoja de control. El investigador comunicó a los participantes que no desarrollaran ningún tipo de actividad física durante el periodo experimental hasta que realizaran el posttest, debido a los posibles beneficios positivos o negativos que podrían alterar los resultados del tratamiento.

Hay que añadir que uno de los sujetos llevo un control de la Frecuencia Cardiaca durante todas las sesiones de entrenamiento. Para ello utilizo un pulsómetro (Polar RS400SD), una cinta elástica (WearLink+®, transmisor WearLink code®) y el software Polar ProTrainer 5 para obtener las gráficas de la FC. Se registró la FC Media y la FC Máxima.

A continuación se plasma el contenido de ejercicios del entrenamiento llevado a cabo durante las 5 semanas.

	1ª Semana	2ª Semana	3ª Semana	4ª Semana	5ª Semana
1º	 Salto a la comba intercalando pie	 Salto a la comba pies juntos	 Subir/bajar escalón intercalando pies	 Desplazamientos laterales con cambio de dirección 10m	 Skipping lateral con cambio dirección 10 m
2º	 Subir/bajar escaleras a un escaló	 Subir/bajar escaleras a dos escalones	 Subir escaleras con pies juntos	 Apoyar y elevar codos	 Rotaciones de tronco en el mismo sitio
3º	 Tronco recto y elevar brazo a la vertical	 Tronco recto y elevar un brazo/pierna contraria	 Abrir y cerrar manos manteniendo tronco recto	 Saltar escalón con pies juntos	 Skipping subiendo dos escalones + retroceder uno
4º	 Abdominales Oblicuo	 Flexionar codos y extender rodillas	 Lunch saltando	 Flexión de brazos	 Flexión Hindú
5º	 Tronco recto y adelantar y atrasar manos	 Squat	 Extender y flexionar piernas	 Abrir y cerrar piernas con tronco recto	 Sprint con cambio de dirección 10 m
6º	 Split Frontal intercalando piernas	 Burpees saltando al final del movimiento	 Tronco recto y rodillas al codo	 Burpees con flexión de brazos y salto al final del movimiento	 Subir y bajar escalón
7º	 Skipping en el sitio	 Skipping con manos apoyadas en suelo	 Burpees realizando flexión de brazos	 Desplazamientos con cambio de dirección	 Abrir, adelantar y cerrar manos
8º	 Levantarse y agacharse	 V-Sit Abdominal	 Flexión de brazos/ giro 360º y flexión de brazos	 Salto + giro 180º	 Desplazamientos a un lado y otro de la
9º	 Elevar piernas	 Caer y andar hacia delante y atrás	 Flexión de brazos/salto y flexión de piernas	 Desplazamientos laterales apoyando los pies en un escalón	 Abrir y cerrar piernas avanzando hacia delante
10º	 Abrir y cerrar brazos y piernas	 Burpees sin salto al final del movimiento	 Saltar escalón intercalando piernas	 Skipping hacia delante con cambio de dirección 10 m	 Crunch

Análisis Estadístico

Se ha utilizado el programa ISM SPSS Statistic 19 para analizar las diferencias significativas entre las diferentes variables en el PreTest y PostTest. Se utilizó la comparación de medias de prueba T para muestras relacionadas y se obtuvo la media y la desviación típica. Para realizar los gráficos se utilizó el Software Microsoft Excel 2010. Solo las variables Peso, IMC, Masa Magra, Fuerza Isométrica Máxima derecha y CMJ mostraron diferencias significativas con un $p < 0.05$. También se observó las diferencias que hubo en las demás variables, que valor y porcentaje habían disminuido o aumentado las variables desde el PreTest hasta el PostTest.

RESULTADOS

Todos los participantes completaron con éxito el protocolo de entrenamiento y fueron evaluados correctamente. Los resultados fueron expresados como la media y la desviación típica distinguiendo con un asterisco los valores que fueron significativos. Los resultados están presentados en distintas tablas seguidas de un gráfico donde se puede visualizar la distribución de cada valor.

Tabla 1. Resultados del test de Composición Corporal (n=4)

Parámetros	PreTest	PostTest
Peso (kg)	76.27±4.76	74.55±4.97*
IMC (kg/m ²)	24.7±1.11	24.1±1.18*
Masa grasa (%)	10.75±3.15%	10.28±3.35
Masa grasa (kg)	8.3±2.78	7.7±2.67
Masa magra (kg)	67.9±3.26	66.85±4.15*

IMC= Índice Masa Corporal

*Diferencias Significativas ($p < 0.05$).

El peso disminuyó una media de 1.72 kg, lo que supone un 2.26%, mientras que el IMC disminuyó un 2.43%. Estos dos parámetros junto a la masa magra que también descendió 1.65%, resultaron tener diferencias significativas ($p < 0.05$). Los demás parámetros también disminuyeron, aunque con un ligero valor superior a $p > 0.05$ (masa grasa (%) <4.42% y masa grasa (kg) <7.23%).

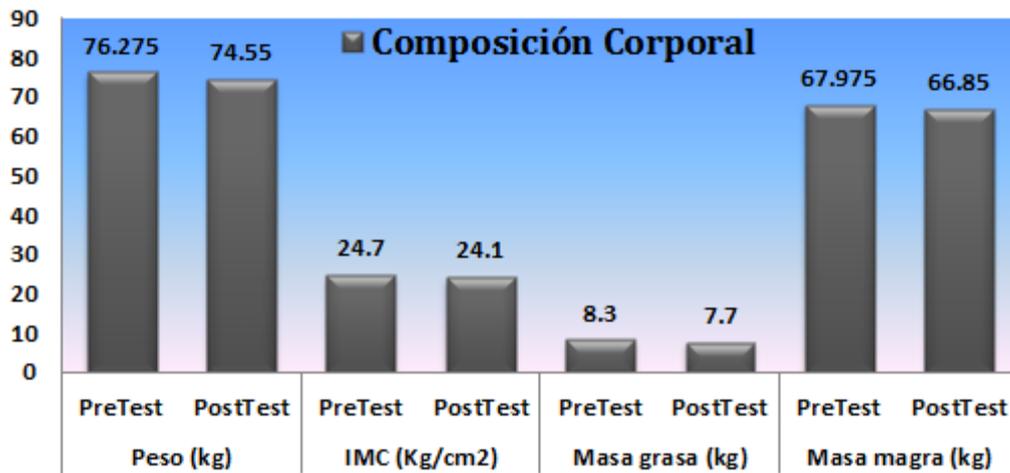


Figura 3. Gráfico correspondiente a los cambios post HIIT producidos en los parámetros relacionados con la composición corporal.

Tabla 2. Resultados de los parámetros relacionados con Fuerza Isométrica y Dinámica Máxima (n=4)

Parámetros	PreTest	PostTest
FIM Dinamometría (kgf) (derecha)	46.32±5.16	48.02±6.16*
FIM Dinamometría (kgf) (izquierda)	44.42±4.16	46.85±5.06
FDM absoluta (kg) (extensión rodilla)	104.12±10.55	118.63±4.46
FDM Relativa (kg ⁻¹) (extensión rodilla)	1.36±0.15	1.59±0.08
FDM absoluta (kg) (press banca)	75.09±9.24	76.26±9
FDM Relativa (kg ⁻¹) (press banca)	0.98±0.12	1.02±0.15
FDM absoluta (kg) (squat)	138.9±26.25	153.37±21.34
FDM Relativa (kg ⁻¹) (squat)	1.84±0.43	2.06±0.32

FIM= Fuerza Isométrica Máxima; FDM= Fuerza Dinámica Máxima; Kg⁻¹= kg relativos al peso corporal.

*Diferencias Significativas (p<0.05).

En cuanto a FIM evaluada mediante dinamometría, presenta diferencias significativas (p<0.05) solo en la mano derecha aumentando la fuerza ejercida en kgf un 3.67%, mientras que la mano izquierda aumenta un 5.45% pero sin diferencias significativas.

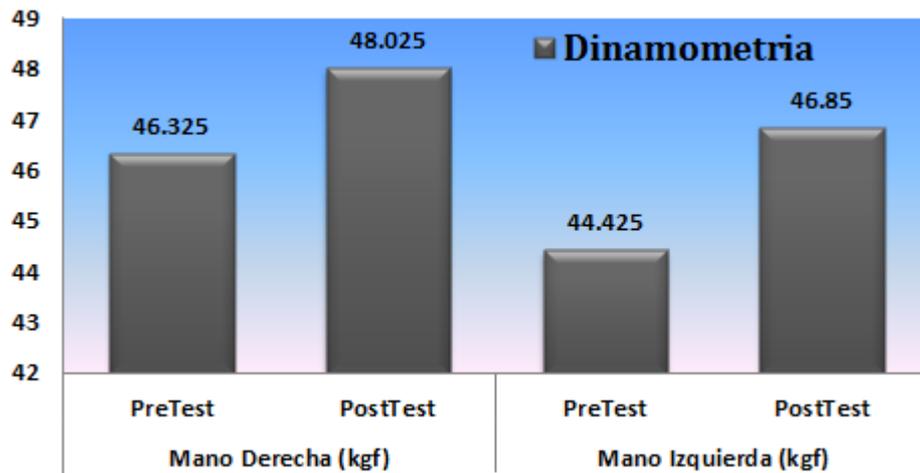


Figura 4. Gráfico correspondiente a los cambios post HIIT producidos en los parámetros relacionados con la dinamometría (FIM).

En cuanto a FDM, las variables no presentan diferencias significativas ($p > 0.05$), aunque todas presentan sus valores aumentados. La FDM en extensión de rodilla absoluta y relativa al peso corporal aumentan un 13.93% y 16.88% respectivamente, lo que corresponde a un incremento de 14.51 kg en la RM. Al mismo tiempo, la FDM en press banca aumenta en menor medida, 1.56% y 4.07%, aumentando 1.17 kg la RM. En Squat la FDM tanto absoluta como relativa al peso corporal aumentan un 10.42% y 12.09%, que corresponde con un aumento de 14.47 kg en la RM, similar al aumento en extensión de rodilla. La FDM de tren inferior aumenta considerablemente con respecto a la de tren superior, tanto la absoluta como la relativa al peso.

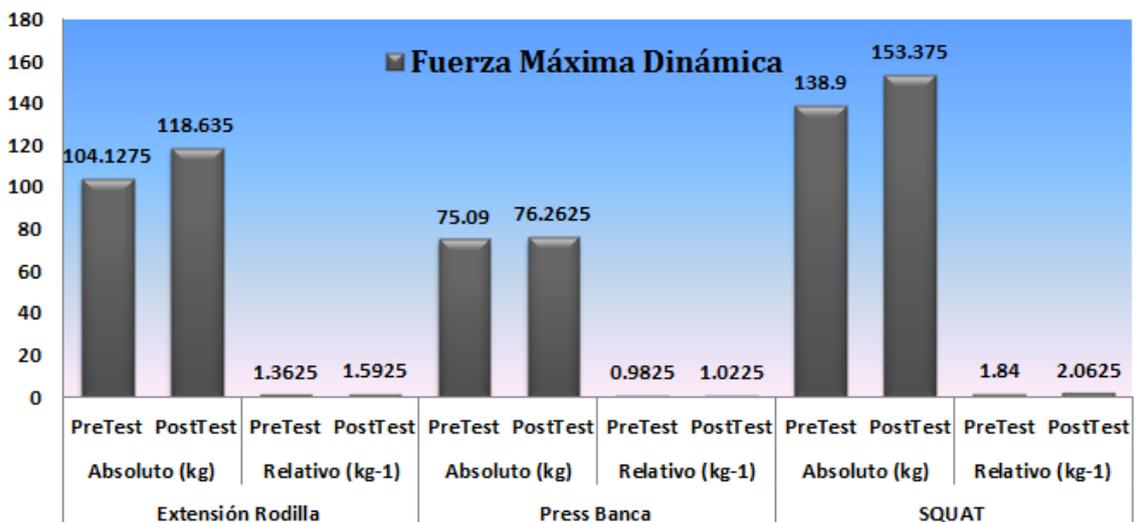


Figura 5. Gráfico correspondiente a los cambios post HIIT producidos en los parámetros relacionados con la FDM.

Tabla 3. Resultados de los parámetros relacionados con Potencia Máxima (n=4)

Parámetros	PreTest	PostTest
Pmáx (W) (squat)	506.47±17.33	488.12±17.06
Pmáx Relativa (W/kg ⁻¹) (squat)	6.7±0.54	6.56±0.49
Carga Pmáx (kg) (squat)	86.32±20.87	90.6±9.35
Pmáx (W) (press banca)	320.42±59.26	327.87±40.3
Pmáx Relativa (W/kg ⁻¹) (press banca)	4.23±0.95	4.43±0.76
Carga Pmáx (kg) (press banca)	36.65±4.71	39.35±6.76

Pmáx= Potencia Máxima; W/kg⁻¹=Newton/ kg de peso corporal.

Ninguna de las variables relacionadas con potencia máxima presentan diferencias significativas ($p > 0.05$). Los valores de Squat en Pmáx y Pmáx relativa disminuyen un 3.62% y 1.9% respectivamente. Esa disminución supone 18.35 W de fuerza menos aplicada. En press banca incrementa un 2.32% la Pmáx y un 4.66% la Pmáx relativa. Este aumento supone un incremento de 7.45 W de fuerza aplicada.

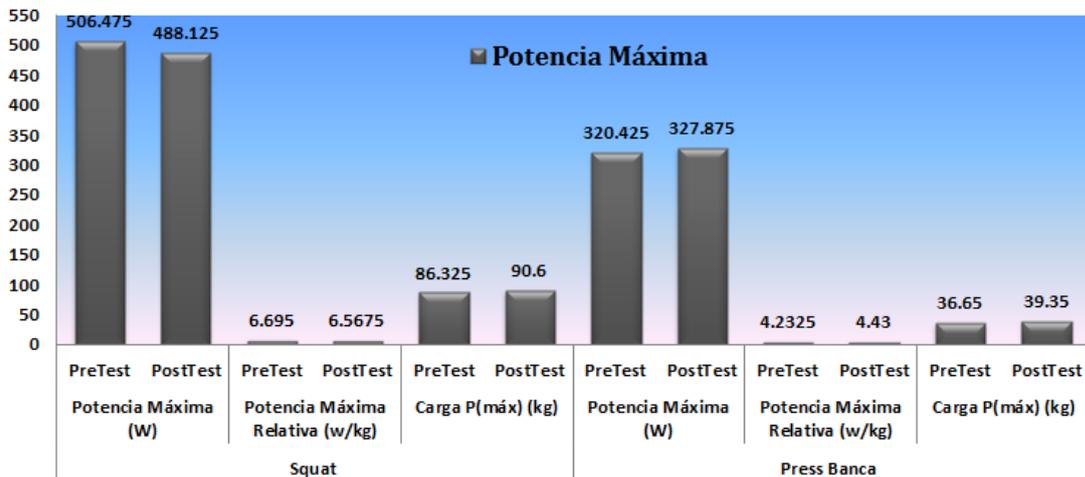

Figura 6. Gráfico correspondiente a los cambios post HIIT producidos en los parámetros relacionados con la Pmáx.

Tabla 4. Resultados de los parámetros relacionados con los Saltos y los índices de fuerza muscular (n=4)

Parámetros	PreTest	PostTest
SJ (cm)	29.93±4.46	31.1±3.72
CMJ (cm)	32.83±3.42	34.15±6*
Abalakov (cm)	37.26±3.16	39.15±4.55
SJbw (cm)	6.5±2.95	7.62±2.3
SJbw/SJ (kg/cm)	0.22±0.1	0.21±0.05
CC (%)	40.31±11.17	43.46±6.30
CE (%)	50.12±13.18	45.68±6.54
CEE (%)	3.20±3.20	4.07±3.15
CooR Br (%)	6.36±1.13	6.79±2.63

SJbw= Squat Jump con carga (peso corporal); SJbw/SJ₀= Índice de Bosco; CC= Componente Contráctil; CE= Componente Explosivo; CEE= Componente Explosivo-Elastico; CooR Br= Índice Coordinación de brazos
*Diferencias Significativas (p<0.05).

La única variable que presenta diferencias significativas es el CMJ (p<0.05). Todas las variables aumentan considerablemente. El SJ aumenta un 3.89% (1.17 cm) y el CMJ aumenta un 4.01% (1.32 cm). El Abalakov aumenta en mayor medida que los saltos anteriores un 5.05% (1.89 cm) y el SJbw aumenta un 17.30% (1.12 cm), lo que supone el mayor aumento proporcionalmente. Contrariamente, el SJbw/SJ₀ (Índice de Bosco) disminuye un 3.20%.



Figura 7. Gráfico correspondiente a los cambios post HIIT producidos en los parámetros relacionados con los Saltos.

Los índices de fuerza analizados no presentan diferencias significativas ($p>0.05$), aunque aumentan proporcionalmente. El CC aumenta un 7.8%, mientras que el CE disminuye un 8.8%. Por otra parte, el CEE es el que presume de mayor aumento con un 27%. También aumenta en menor porcentaje que los demás la Coor Br con un 6.7%.

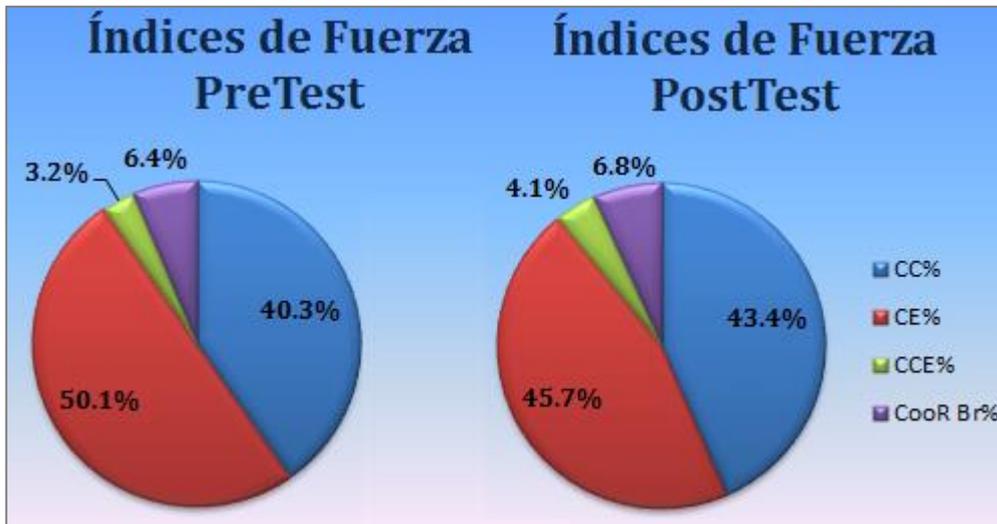
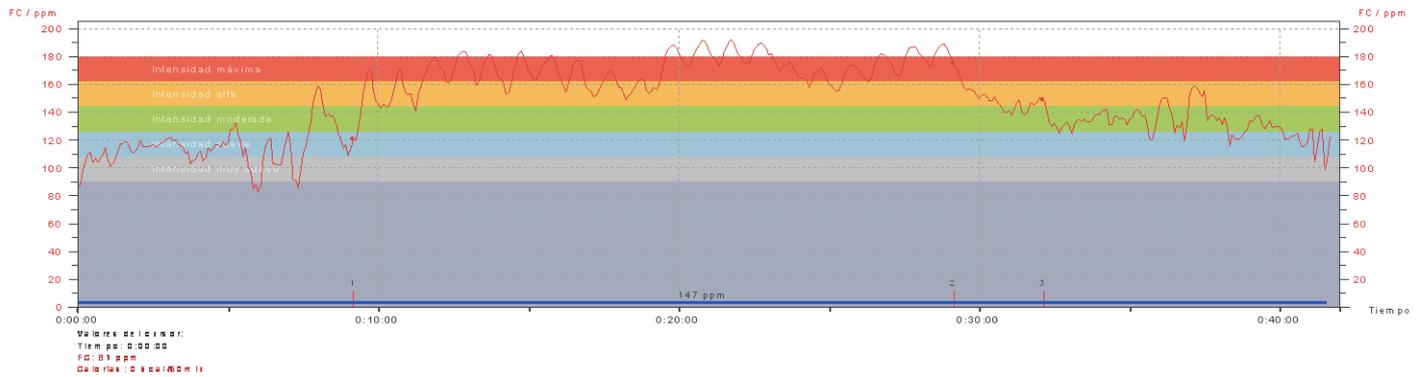


Figura 8. Gráficos referentes a los cambios producidos post HIIT en los índices de fuerza.

Se incluye también el resultado de las gráficas de la variación de la Frecuencia Cardiaca obtenidas por uno de los sujetos durante cada semana de entrenamientos, registrada con un pulsómetro Polar RS400SD. Hay una sola gráfica representativa de cada semana. El entrenamiento abarca desde el intervalo 1 al 2.

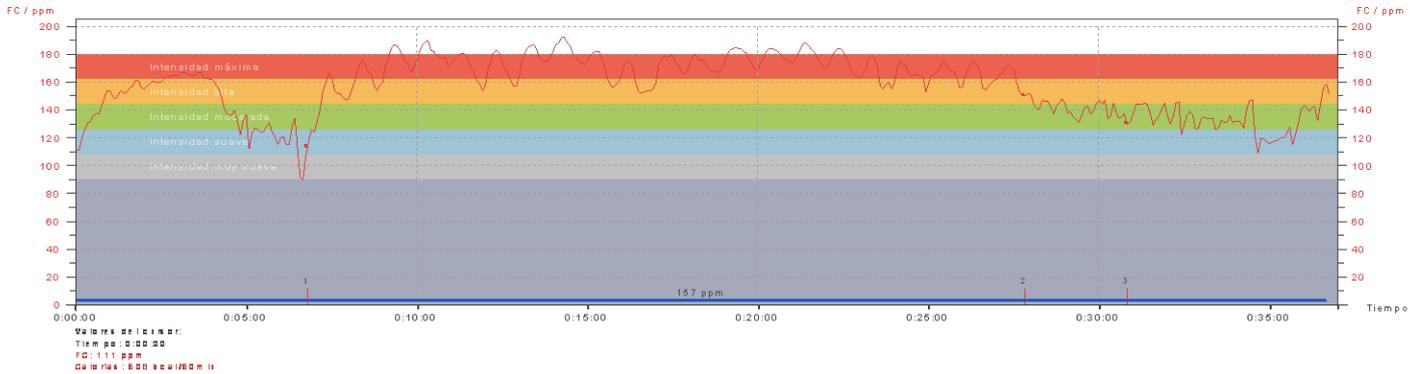


Gráfica 1. Representativa de la primera semana



Persona	Ángel Díaz Manchón	Fecha	24/04/2013	Frecuencia cardíaca promed	147 ppm		
Ejercicio	6º EIAI	Hora	11:15:58	Frecuencia cardíaca máx.	192 ppm		
Deporte	Carreiras	Duración	0:41:42.4				
Nota				Selección	0:00:00 - 0:41:40 (0:41:40)		

Gráfica 2. Representativa de la segunda semana



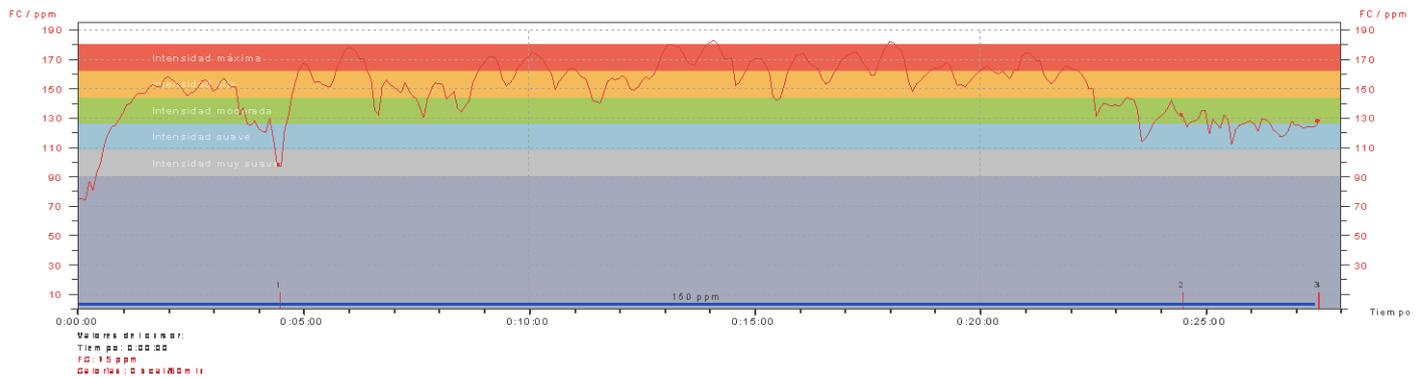
Persona	Ángel Díaz Manchón	Fecha	08/05/2013	Frecuencia cardíaca promed	157 ppm		
Ejercicio	9º EIAI	Hora	11:17:57	Frecuencia cardíaca máx.	192 ppm		
Deporte	Carreiras	Duración	0:36:49.4				
Nota				Selección	0:00:00 - 0:36:45 (0:36:45)		

Gráfica 3. Representativa de la tercera semana



Persona	Ángel Díaz Manchón	Fecha	13/05/2013	Frecuencia cardíaca promed	161 ppm		
Ejercicio	12º EIAI	Hora	12:12:40	Frecuencia cardíaca máx.	191 ppm		
Deporte	Carreiras	Duración	0:31:20.3				
Nota				Selección	0:00:00 - 0:31:20 (0:31:20)		

Gráfica 4. Representativa de la cuarta semana



Persona	Ángel Díaz Manchón	Fecha	24/06/2013	Frecuencia cardíaca promed	150 ppm		
Ejercicio	15º EIAI	Hora	16:34:13	Frecuencia cardíaca máx.	183 ppm		
Deporte	Carreras	Duración	0:27:32.6				
Nota				Selección	0:00:00 - 0:27:30 (0:27:30)		

Gráfica 5. Representativa de la quinta semana

Frecuencia Cardíaca Promedio: 153 ppm
 Frecuencia Cardíaca Máxima Media: 191 ppm

DISCUSIÓN

El principal objetivo de este estudio era conocer los efectos del HIIT en la composición corporal, fuerza y potencia máxima de miembro superior e inferior, potencia en saltos y fuerza isométrica máxima manual en hombres activos. Los resultados han revelado que se cumplen la mayoría de las hipótesis propuestas, por lo tanto, disminuye el porcentaje de masa grasa y también el de masa muscular, aumenta la fuerza dinámica máxima tanto en miembros inferiores como superiores, la fuerza máxima isométrica manual se ve aumentada en ambas manos, y por último, solo aumenta la potencia máxima en miembros superiores y la altura de los saltos. Contrariamente, se ve disminuida la potencia máxima en miembros inferiores, el Índice de Bosco, y el CE.

En cuanto a la composición corporal, coincidimos con muchos estudios en que el HIIT produce la disminución de la masa grasa corporal. Como hemos comprobado en este estudio, resultando una disminución del 7.23% de masa grasa en tan solo 5 semanas de entrenamiento. La significativa pérdida de peso también se debe a la disminución de masa magra, cuya hipótesis era que permaneciera intacta, sin embargo, ha disminuido. No se ha demostrado en este estudio, aunque según varios autores, varias de las causas que suponen la pérdida de masa grasa al realizar un HIIT es el aumento de las

catecolaminas (Brachen, Linnane & Brooks, 2009) y la hormona del crecimiento (Nevill, Holmyard, Hall et al. 1996), las cuales, son las encargadas de estimular la lipólisis, y con ello, la liberación de grasa subcutánea e intramuscular. Durante un programa de HIIT las adaptaciones metabólicas del musculo esquelético favorecen el proceso de oxidación de lípidos (Tremblay et al. 1994). Tremblay, Simoneau, & Bouchard (1994) demostraron que con el entrenamiento del HIIT se produce un incremento de la actividad de las enzimas glucolíticas musculares, reducción de las grasas subcutáneas, incremento de la actividad de la β hidroxiacil coenzima A deshidrogenasa que cataliza un paso clave en la oxidación de grasas. Otro aspecto importante es el EPOC, ya que durante la realización de un HIIT, la energía requerida proviene del metabolismo anaeróbico (Scheunke et al. 2002). Boutcher (2011), deduce que tras la realización de un HIIT aumentan la oxidación de grasas debido a la necesidad de eliminar el lactato y los hidrogeniones y de resintetizar glucógeno. El metabolismo en el periodo de recuperación post ejercicio podría quemar más calorías que el ejercicio mismo (Henderson et al. 2007).

Hay evidencias de la cantidad de estudios que demuestran la eficacia del HIIT en los cambios producidos en la composición corporal, sin embargo, no se ha encontrado apenas estudios que comparen las mejoras en FIM y FDM. En este estudio se ha evaluado, y con mejoras muy positivas de cara a la mejora de la condición física. El aumento de FIM manual en las dos manos puede ser debido a una mejora en el reclutamiento a nivel central. Los valores aumentan en las dos manos positivamente, sin embargo, aumenta en mayor proporción en la izquierda (5.45%) que en la derecha (3.67%). Los resultados pueden estar influidos por la dominancia lateral de cada sujeto.

Para discutir los resultados de la FDM nos centraremos en la FDM relativa al peso, ya que existe una disminución de peso tras el programa de entrenamiento que puede afectar a la capacidad de generar fuerza máxima. Hemos comprobado en este estudio que aun perdiendo peso y disminuyendo la masa magra se ha aumentado la FDM. En los resultados correspondientes al tren inferior se puede observar un aumento en la RM relativa al peso del 16.88% y 12.09% en la extensión de rodilla y squat respectivamente, aumentando la carga en cada uno de manera similar (14.51 kg vs 14.47kg). Estos resultados se contradicen con los de Astorino et al. (2012), que afirman

que después de 2 semanas de HIIT no hay mejora en la producción de fuerza muscular de los extensores de la rodilla. Quizás sea muy poco tiempo para inducir mejoras significativas en la producción de fuerza muscular. Por el contrario, en el miembro superior la FDM relativa al peso en press de banca aumenta en menor proporción que en el miembro inferior con un 4.07% más. Las causas de este aumento de FDM puede ser debida a la gran cantidad de ejercicios de cadena cinética larga con implicación tanto de los miembros inferiores, superiores y del Core, ya que según Shinkle et al. (2012), el entrenamiento de fuerza del Core tiene efectos significativos en la habilidad del sujeto para transferir fuerza a las extremidades. Un Core fuerte permitirá una transferencia de fuerza desde el miembro inferior al superior (McGill, 2009 y Bompa, 1999; citado por Shinkle et al. 2012).

Por otro lado, en cuanto a la P_{máx}, Cormie et al. (2012) decían que potencia y fuerza están relacionadas, sin embargo, en este estudio los resultados corroboran lo contrario, con un aumento de la FDM y una disminución de la P_{máx} en miembros inferiores (<1.9% la P_{máx} relativa al peso corporal). Sin embargo, en miembro superior si se cumple esa relación. Volviendo de nuevo al estudio de Astorino et al. (2012) en el que no mejoraba la producción de fuerza muscular, pero si el pico de potencia máxima, en nuestro estudio los resultados muestran lo contrario, con una disminución en los valores de P_{máx} de los miembros inferiores. Esta disminución en la P_{máx} al realizar Squat se contradice con los resultados del Test de Bosco, que sin embargo, aumentan y con mayor relevancia el CMJ, que adquiere diferencias significativas, paralelamente al aumento del CEE. En el entrenamiento se ha incluido multitud de ejercicios pliométricos, que según muchos investigadores (Fatouros et al., 2000; Asmussen, & Bonde-Petersen, 1974; Blattner, & Noble, 1979; Bobbert, 1990; Bosco, Vitasalo, Komi, & Luhtanen, 1982; Brown, Mayhew, & Boleach, 1986; Chu, 1996) mejorarían la potencia. Al realizar ejercicios sin carga, se ha mejorado la potencia en saltos alcanzando mayor altura, sin embargo se ha disminuido la P_{máx} en squat con carga, ya que no hemos utilizado cargas externas durante el entrenamiento. Esta relación se muestra claramente en el Índice de Bosco, que mide la relación entre la fuerza (kg de peso) y la altura del salto (cm). En el pretest la media era de 0.22, es decir, el sujeto con un peso igual al peso corporal consigue saltar el 22% de lo que haría si no utilizara

ningún peso. En el posttest disminuye al 21%. Como ha disminuido el valor, está claramente justificado que prima la adquisición de velocidad sobre la adquisición de fuerza, por lo que el sujeto ha trabajado con cargas ligeras (su peso corporal) durante el entrenamiento. El CC aumenta en poca proporción, mientras que el CE disminuye. Coincidimos con Gehri, Ricard, Kleiner & Kirkendall, (1998) en considerar la utilización de los ejercicios pliométricos para mejorar la fase concéntrica de la contracción muscular. Esa mejora ha sido atribuida a la liberación de energía elástica almacenada en los elementos elásticos en serie del musculo durante la elongación (Bosco et al. 1981). Fatouros et al. (2000) afirma que muchos investigadores suponen que las características del entrenamiento pliométrico facilitarían ganancias significativas de fuerza muscular y potencia, además de optimizar el rendimiento del salto. Estamos totalmente de acuerdo con esta afirmación, así como la afirmación de Izquierdo et al. (2009), el entrenamiento pliométrico mejora la altura en los saltos verticales.

Por último, al ser un entrenamiento de alta exigencia, se recomienda a personas físicamente activas que lleven practicando actividad física varios meses o incluso años con importancia de la ejecución técnica para evitar lesiones.

CONCLUSIONES

Como conclusión, este estudio ha estado limitado por la reducida muestra de sujetos y el grupo control. A pesar de ello, ha tenido muy buenos resultados consiguiendo mejoras en casi todas las variables medidas, y con diferencias significativas en algunas de ellas. Se ha demostrado la eficacia del HIIT para producir mejoras en la composición corporal, potencia máxima, fuerza dinámica máxima y fuerza isométrica máxima manual, así como mejoras en la potencia en saltos y los componentes de fuerza muscular. Por lo tanto, en un corto periodo de tiempo, las mejoras que produce el HIIT son más que evidentes, y muchas personas activas deberían de incluirlo en su programa de entrenamiento para mejorar su aptitud física.

FUTURAS INVESTIGACIONES

Un desafío para futuras investigaciones sería realizar el estudio experimental y conocer si existen efectos más significativos en estas variables aumentando la muestra y añadiendo un grupo control. Por otra parte, sería interesante conocer la dosis mínima y adecuada que produzcan los máximos beneficios. Estudiar las contraindicaciones del HIIT, así como su óptima aplicabilidad tanto en el contexto de la salud como en el del rendimiento deportivo. Comprobar su aplicabilidad en la formación y preparación física de practicantes de deportes colectivos e individuales.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a todos los sujetos participes en este estudio, ya que gracias a su esfuerzo, constancia y dedicación durante todo el periodo de entrenamiento, se ha podido llevar a cabo esta investigación y conseguir estos magníficos resultados que evidencian los claros efectos de esta actual tendencia de entrenamiento. Así como el magnífico tiempo pasado junto a ellos y su incesable transmisión de apoyo desde el primer al último día de la investigación. Ellos son los verdaderos artífices de este proyecto.

Por otra parte, agradecer al Profesor Dr. Paulino Padial Puche y al doctorando Amador por facilitarme el apoyo instrumental necesario para realizar las evaluaciones, así como la información recibida de su parte colaborando en mi formación, resolviendo dudas y ayudándome en el análisis de los datos e interpretación de los resultados.

Todos y cada uno de ellos han jugado un papel fundamental en mi desarrollo como profesional, aportándome variedad y multitud de conocimientos, gracias a los cuales, he podido desarrollar este proyecto.

Muchas gracias a todos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abbie E. Smith, Ashley A. Walter Jennifer L. Graef, Kristina L. Kendall, Jordan R. Moon, Christopher M. Lockwood, David H. Fukuda, Travis W. Beck, Joel T. Cramer, and Jeffrey R Stout. (2009). Effects of β -alanina supplementation and high-intensity interval training on endurance performance and body composition in men: a double-blind trial. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 6:5
2. Arthur, M. (1982). NSCA test and measurements survey results. *NSCA J.* 3:38A-38C.
3. Astorino, T. A., Allen, R. P., Roberson, D. W., and Jurancich, M. (2012). Effect of high-intensity interval training on cardiovascular function, $V_{O_{2max}}$, and muscular force. *J. Strength Cond Res*, 26 (1), 138-145.
4. Bartlett, J.D., Close, G.L., MacLaren, D.P., Gregson, W., Drust, B. & Morton, J. P. (2011). High-intensity interval running is perceived to be more enjoyable than moderate-intensity continuous exercise: implications for exercise adherence. *Journal of Sports Sciences*, 29(6), 547-553.
5. Behm, D. G. and Sale, D. G. (1993). Velocity specificity of resistance training. *Sport Med.* 15: 374-388. Häkkinen, K. and Komi, P. V. (1985). Changes in electrical and mechanical behaviour of leg extensor muscles during heavy resistance strength training. *Scand. J. Sports Sci.*, 7, 55-64.
6. Blattner, S. and Noble. L. (1979). Relative effects of isokinetic and plyometric training on vertical jump performances. *Res. Q.*, 50, 533-538.
7. Bohannon R. W. (2011). Literature reporting normative data for muscle strength measured by hand-held dynamometry: A systematic review. *Isokinetics and Exercise Science*, 19(3), 143-147.
8. Bompa, T. O. (1999). *Periodization training for sports*. Champaign, IL: Human Kinetics.
9. Bosco, C. Komi, P., and Ito, A. (1981). Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. *Acta Physiol. Scand.*, 111(2), 135-140.
10. Bosco, C., Vitasalo, J. T., Komi, P. V. and Luhtanen, P. (1982). Combined effect of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch shortening cycle exercise. *Acta Physiol. Scand.*, 114(4), 557-565.
11. Boudou, P., Sobngwi, E., Mauvais-Jarvis, F., Vexiau, P. and Gautier, J. F. (2003). Absence of exercise-induced variations in adiponectin levels despite decreased abdominal adiposity and improved insulin sensitivity in type 2 diabetic men. *European Journal of Endocrinology*, 149(5), 421-424.
12. Boutcher, S. H. (2011). High-intensity intermittent exercise and fat loss. *Journal of Obesity*. vol. 2011, Article ID868305, 10 pages doi: 10.1155
13. Brachen, R.M., Linnane, D.M. and Brooks, S. (2009). Plasma catecholamine and neprine responses to brief intermittent maximal intensity exercise. *Amino Acids*, 36(2), 209-217.

14. Burgomaster, K.A., Heigenhauser, G. J.F. and Gibala, M.J. (2006). Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance. *Journal of Applied Physiology*, 100(6), 2041-2047.
15. Burgomaster, K.A., Howarth, K. R., Phillips, S. M., Rakobowchuk, M., MacDonald, M. J., McGee, S. L., Gibala, M. J. (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in human. *J. Physiol.* 586(1), 151-160.
16. Burgomaster, K. A., Hughes, S. C., Heigenhauser, G. J. F., Bradwell, S. N. and Gibala, M. J. (2005). Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *Journal of Applied Physiology*, 98(6), 1985-1990.
17. Chu, D. A. (1996). *Jumping into plyometrics*. Champaign, IL: Human Kinetics.
18. Cormie P., McBride J. M., and McCaulley G. O. (2008). Power-Time, Force-Time, and Velocity-Time Curve Analysis During the Jump Squat: Impact of Load. *Journal of Applied Biomechanics*, 24, 112-120.
19. Cormie P., McGuigan M. R., and Newton R. U. (2012). Developing Maximal Neuromuscular Power. *Sports Med*, 41(2), 125-146.
20. Costill, D.L., Verstappen, F., Kupiers, H., Janssen, E. and Fink, W. J. (1984). Acid-base balance during repeated bouts of exercise: influence of HCO₂. *Int J. Sports Med.*, 5, 228-231.
21. Dartagnan, P. (2013). Clinical procedures used for analysis of the body composition. Procedimentos clínicos utilizados para análise da composição corporal. *Rev. Bras. Cineantropom. Desempenho Hum*, 15(1), 113-129.
22. Dorado C., Sanchis-Moysi J., and Calbet J. A. (2004). Effects of recovery mode on performance, O₂ uptake, and O₂ deficit during high-intensity intermittent exercise. *Can. J. Appl Physiol*, 29(3), 227-244.
23. Fatouros, Ioannis G.; Jamurtas, Athanasios Z.; Leontsini, D.; Taxildaris, Kyriakos; Aggelousis, N.; Kostopoulos, N.; Buckenmeyer, Philip. (2000). Evaluation of plyometric exercise training, weight training, and their combination on vertical jumping performance and leg strength. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 14(4), 470-476.
24. Fox, E. L., Bowers, R. W., Foss, M. L. (1989). The physiological basis of physical education and athletics (pp. 345-346). *Brown, Dubuque, Iowa, USA*,
25. Gaesser, G. A., Brooks, G. A. (1984). Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption: a review. *Med Sci Sports Exerc*, 16(1), 29-43.
26. Gaitanos, G.C., Williams, C., Boobis, L. H. and Brooks, S. (1993). Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 75(2), 712-719.

27. Gambetta V. (2007). *Athelitic Development. The art & science of functional sports conditioning*. Human Kinetics. USA.
28. Gehri, D. J., Ricard, M. D., Kleiner, D. M. and Kirkendall, D. T. (1998). A comparison of plyometric training techniques for improving vertical jump ability and energy production. . *Journal of Strength and Conditioning Research*, 12(2), 85-89.
29. Gibala, M. J., Little, J. P., Essen, M. V., Wilkin, G. P., Burgomaster, K. A., Sandeep Raha, A. S., and Tarnopolsky, M. A. (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *J. Physiol.* 575(3), 901-911.
30. Gibala, M. J., Little, J. P., MacDonald, M. J. and Hawley, J. A. (2012). Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *J. Physiol.*, 590(5), 1077-1084.
31. Gibala M. J. & McGee S. L. (2008). Metabolic adaptations to short-term high-intensity Interval training: a little pain for a lot of gain? *Exerc Sport Sci Rev*, 36(2), 58-63.
32. Harmer, A. R., McKenna, M. J., Sutton, J. R., Snow, R. J., Ruell, P. A., Booth, J., Thompson, M. W., Mackay, N. A., Stathis, C. G., Cramer, R. M., Carey, M. F. and Enger, D. M. (2000). Skeletal muscle metabolic and ionic adaptations during intense exercise following sprint training in humans. *J. Appl. Physiology*, 89(5), 1793-1803.
33. Helgerud, J., Hoydal, K., Wang, E. et al (2007). Aerobic high-intensity intervals improve $VO_{2\text{máx}}$ more than moderate training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(4), 665-671.
34. Henderson G. C., Fattor J. A., Horning M. A., Faghihnia N., Johnson M. L., Mau T. L., Luke-Zeitoun M. and Brooks A. (2007). Lipolysis and fatty acid metabolism in men and women during the post exercise recovery period. *J. Physiol*, 584(3), 963-981.
35. Heydari M, Freund J. and Boutcher S. H. (2012). The effect of High-Intensity Intermittent Exercise on Body Composition of Overweight Young Males. *Journal of Obesity*, vol. 2012, 8 pages.
36. Jenkins, D. G., and Quigley, B. M. (1993). The influence of high-intensity exercise training on the Wlim-Tlim relationship. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 25, 275-282.
37. Kendall, K. L., Smith, A. E., Graef, J. L., Fukuda, D. H. Moon, J. R., Beck, T. W. Cramer, J. T. and Stout, J. R. (2009). Effects of four weeks of high-intensity interval training and creatine supplementation on critical power and anaerobic working capacity in college-aged men. *J. Strength Cond Res.*, 23(6), 1663-1669.
38. Kraemer, W. J., and Newton, R. U. (1994). Training for improved vertical jump. *Gatorade Sports Sci. Inst. Rep. (Sports Sci. Exchange)*, 7(6).
39. Laursen P. B. and Jenkins D. G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training. Optimising training programmes and maximizing performance in highly trained endurance athletes. *Sports Med.*, 32(1), 53-73.

40. López Gómez J. M. & López Elvira J. L. (2012). Relevancia de la técnica de inmovilización de brazos en las variables cinéticas en el test de salto con contramovimiento. *Ciencia*, 7(21), 173-178.
41. MacDougall J. D., Ward G. R., Sale D. G., et al. (1977). Muscle glycogen repletion after high-intensity intermittent exercise. *J. Appl. Physiol*, 42(2), 129-132.
42. McGill, S. M. (2009). *Ultimate Back Fitness and Performance* (4th ed.). Ontario, Canada: Wabuno Publishers.
43. Millet G. P., Candau R., Fattori P., Bignet F. and Varray A. (2003). VO_{2max} responses to different intermittent runs at velocity associated with VO_{2max} . *Can. J. Appl Physiol* 28(3), 410-423.
44. Nevill, M. E., Holmyard, D. J., Hall, G. M., et al (1996). Growth hormone responses to treadmill sprinting in sprint- and endurance-trained athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 72(5-6), 460-467.
45. Nielsen J. J., Mohr M., Klarskov C., Kristensen M., Krstrup P., Juel C., and Bangsbo J. (2003). Effects of high-intensity intermittent training on potassium kinetics and performance in human skeletal muscle. *J. Physiol*, 554(3), 857-870.
46. Rodas, G., Ventura, J. L., Cadefau, J. A, Cussó, R. and Parra, J. (2000). A short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism. *European Journal of Applied Physiology*, 82(5-6), 480-486.
47. Ruiz J. R., España-Romero V., Ortega F. B., Siöström M., Castillo M. J. and Gutiérrez A. (2006). Hand span influences optimal grip span in male and female teenagers. *J. Hand. Surg. Am.*, 31(8), 1367-1372.
48. Saez Saez de Villareal, E., Kellis, E., Kraemer, W. J. and Izquierdo, M. (2009). Determining variables of plyometric training for improving vertical jump height performance: a meta-analysis. *J. Strength Cond Res*, 23(2), 495-506.
49. Sahlin, K., Harris, R. C., Hultman, E. (1979). Resynthesis of creatine phosphate in human muscle after exercise in relation to intramuscular PH and availability of oxygen. *Scand J Clin Lab Invest*, 39(6), 551-558.
50. Salvadori A., Fanari P., Marzullo P., Codecasa F., Tovaglieri I., Cornacchia M., Brunani A, Luzi L. and Longhini E. (2013). Short bouts of anaerobic exercise increase non-esterified fatty acids release in obesity. *Eur J. Nutr.*
51. Schimdtbleicher, D. (1992). Training for power events. In: Strength and Power in Sport. Komi, P. V., ed. Boston: *Blackwell Scientific Publishers*, pp. 381-395.
52. Schuenke, M. D., Mikat, R. P. and McBride, J. M. (2002). Effect of an acute period of resistance exercise on excess post-exercise oxygen consumption: implications for body mass management. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 86(5), 411-417.
53. Shinkle, J., Nesser, T. W., Demchak, T. J. and McMannus, D. M. (2012). Effect of core strength on the measure of power in the extremities. *J. Strength Cond. Res.*, 26(2), 373-380.

53. Shiraev T. and Barclay G. (2012). Evidence based exercise-clinical benefits of high intensity interval training. *Australian Family Physician*, 41(12), 960-962.
54. Sijie T., Hainai Y., Fengying Y. and Jianxiong W. High intensity interval exercise training in overweight young women. (2012). *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 52(3), 255-262.
55. Tabata, I., Nishimura, K., Kouzaki, M. et al (1996). Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO_{2max} . *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(10), 1327-1330.
56. Talanian, J. L., Galloway, S. D. R., Heigenhauser, G. J. F., Bonen, A. and Spriet, L. L. (2007). Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women. *Journal of Applied Physiology*, 102(4), 1439-1447.
57. Thorstensson, A., Sjodin, B. and Karlsson, J. (1975). Enzyme activities and muscle strength after "sprint training" in man. *Acta Physiol Scand*, 94(3), 313-318.
58. Trapp, E. G., Chisholm, D.J. and Boutcher, S.H. (2007). Metabolic response of trained and untrained women during high intensity intermittent cycle exercise. *American Journal of Physiology*, 293(6), 2370-2375.
59. Trapp, E. G., Chisholm, D. J., Freund, J. and Boutcher, S. H. (2008). The effects of high-intensity intermittent exercise training on fat loss and fasting insulin levels of young women. *International Journal of Obesity*, 32(4), 684-691.
60. Tremblay, A., Simoneau, J. A. and Bouchard, C. (1994). Impact of exercise intensity on body fatness and skeletal muscle metabolism. *Metabolism*, 43(7), 814-818.
61. Weston, A. R., Myburgh, K. H., Lindsay, F. H., Dennis, S. C., Noakes, T. D., and Hawley, J. A. (1997). Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology Occup Physiol*, 75(1), 7-13.
62. Weston, A. R., Wilson, G. R., Noakes, T. D. and Myburgh, K. H. (1996). Skeletal muscle buffering capacity is higher in the superficial vastus than in the soleus of spontaneously running rats. *Acta Physiol Scand*, 157(2), 211-216.
63. Whyte, L. J., Gill, J. M. R and Cathcart, A. J. (2010). Effect of 2 weeks of sprint interval training on health-related outcomes in sedentary overweight/obese men. *Metabolism Clinical and Experimental*, 59(10), 1421-1428.
64. Ziemann, E., Grzywacz, T., Luszczuk, M., Laskowski, R., Olek, R. A. and Gibson, A. L. (2011). Aerobic and anaerobic changes with high-intensity interval training in active college-aged men. *J. Strength Con Res*, 25(4), 1104-1112.