

Efectos de un protocolo HIIT con ejercicios funcionales sobre el rendimiento y la composición corporal

Francisco J. Bermejo, Guillermo Olcina, Ismael Martínez, Rafael Timón

Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Extremadura. Cáceres (España).

Recibido: 24.01.2018
Aceptado: 27.03.201

Resumen

Introducción: El entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) es uno de los medios más eficaces para mejorar la función metabólica y cardiorrespiratoria, así como para incrementar el rendimiento físico. Tradicionalmente se han utilizado protocolos HIIT basados en la carrera o el ciclismo, sin embargo pocos estudios han tratado de analizar los efectos de un protocolo HIIT que incluya ejercicios funcionales de fuerza.

Objetivos: Comparar los efectos sobre el rendimiento y la composición corporal de dos protocolos diferentes de HIIT.

Material y método: 14 varones jóvenes (edad: $21,67 \pm 1,61$ años; altura: $1,73 \pm 0,06$ metros; peso: $76,07 \pm 12,96$ kg) participaron en el estudio y fueron divididos de forma balanceada y aleatoria en dos grupos experimentales: Grupo Ciclismo (GC) y Grupo Entrenamiento Funcional (GEF). Ambos grupos entrenaron 2 d/semana durante 4 semanas. El GC realizó 4 rep. x 30 seg. de sprint en bicicleta, con 3 min. de recuperación. El GEF realizó un circuito (30" trabajo/ 15" descanso) con 6 ejercicios funcionales de fuerza (elíptica, battle rope, escalera de agilidad, kettlebell, burpees y multisaltos). Esos ejercicios fueron repetidos 3 veces combinados con 3 minutos de recuperación. Las siguientes valoraciones fueron realizadas antes y después del programa de entrenamiento: Composición corporal, consumo máximo de oxígeno, T-Test, potencia máxima y potencia media en cicloergómetro, lactato, así como valores de frecuencia cardíaca, tensión arterial y hemoglobina.

Resultados: En ambos grupos se observó un aumento significativo de los valores de VO_{2max} y potencia máxima, así como un descenso en el peso graso y en el porcentaje graso tras el programa de entrenamiento. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre grupos.

Conclusión: Un programa HIIT basado en ejercicios funcionales de fuerza produce mejoras sobre el rendimiento aeróbico, anaeróbico y la composición corporal similares a las conseguidas por un programa HIIT de sprint repetido en bicicleta.

Palabras clave:

HIIT. Entrenamiento funcional.
Composición corporal.
Consumo máximo de oxígeno.
Potencia.

Effects of a HIIT protocol including functional exercises on performance and body composition

Summary

Introduction: High Intensity Interval Training (HIIT) is one of the most effective ways to improve metabolic and cardiorespiratory factors, as well as to increase physical performance. Running or cycling HIIT protocols have been usually performed, but there are few research related to the effects of a HIIT protocol including functional strength exercises

Objectives: To compare the effects of two different HIIT protocols on the performance and the body composition.

Material and Method: 14 young males (years: $21,67 \pm 1,61$; height $1,73 \pm 0,06$ m; weight: $76,07 \pm 12,96$ kg) took part in the study and they were divided into two randomly balanced groups: Cycling Group (GC) and Functional Training Group (GEF). Both groups worked out 2 days a week during a 4-week-period. GC performed 4 rep. x 30 seconds of bicycle sprint with 3 minutes recovery time. GEF performed a trial based on 30" work (high intensity)/15"rest, with 6 functional strength exercises consisting of elliptical bike, battle rope, agility ladder, kettlebell, burpees and jumps. These exercises were repeated 3 times in combination with 3 minutes recovery time. The following measurements were carried out before and after the training: Body composition, maximum oxygen uptake, T-test, maximum and mean power on cycle ergometer, blood lactate, as well as hear rate, blood pressure and hemoglobin.

Results: Significant changes were observed in the values referred to VO_{2max} , maximum power, fat weight and fat percentage for both groups. Nevertheless, no significant difference was observed between groups.

Conclusion: A HIIT program based on functional strength exercises improved aerobic, anaerobic performance and body composition in a similar way than the HIIT program on a bicycle.

Key words:

HIIT. Functional training.
Body composition. Maximum
oxygen uptake. Power.

Correspondencia: Francisco J. Bermejo
E-mail: javiberme1@hotmail.com

Introducción

El Entrenamiento Interválico de Alta Intensidad (HIIT) está caracterizado por esfuerzos intermitentes máximos o supramáximos (85-95% $F_{cmáx}$) intercalados con periodos de recuperación¹⁻⁴. Este tipo de entrenamiento a pesar de tener una duración menor que el entrenamiento aeróbico continuo ha demostrado ser efectivo para obtener mejoras a nivel cardiovascular, metabólico y músculo esquelético⁵⁻⁷. Por ello, el HIIT es una alternativa eficaz al entrenamiento de resistencia tradicional, ya que requiere menos tiempo y permite realizar un mayor volumen de ejercicio de alta intensidad que el ejercicio continuo².

Existen diferentes protocolos HIIT en función del tipo de actividad, la intensidad y la duración de los periodos de actividad y recuperación. La mayor parte de los estudios previos han utilizado protocolos HIIT en cicloergómetro, con esfuerzos de 10-30 seg. al 90-100% $F_{cmáx}$, repetidos 4-6 veces y con periodos de recuperación de 1-4 min^{8,9}. En este sentido, en el estudio llevado a cabo por Whyte *et al.*,¹⁰ se investigó los efectos de un HIIT sobre los factores de riesgo cardio-metabólico en hombres sedentarios. El protocolo, consistió en 2 semanas de 6 sesiones de 4-6 repeticiones de sprints con una intensidad "all out" de 30 seg. en un cicloergómetro con recuperaciones de 4,30 minutos entre cada repetición. Se observó un descenso significativo del peso corporal y del diámetro de cintura, así como un aumento del VO_2 máx y una mejora de la sensibilidad a la insulina. Rodas¹¹ evaluó los cambios en el metabolismo aeróbico y anaeróbico producidos por un programa de entrenamiento HIIT en cicloergómetro tras un entrenamiento diario durante 2 semanas, con esfuerzos de 15-30 seg. ejecutados a máxima intensidad y con descansos de 45-30 seg., se produjeron aumentos significativos del VO_2 máx y del pico máximo de potencia. En consecuencia, estos estudios demostraron que las adaptaciones producidas dependieron de la relación existente entre el trabajo y el descanso. Buchheit *et al.*,¹² sugirieron que en los protocolos HIIT de corta duración la relación entre trabajo/descanso es determinante para poder maximizar el tiempo de trabajo por encima del 90% de VO_2 máx y conseguir mayores adaptaciones. Se concluyó que un ratio trabajo/descanso >1, es decir, tiempos de trabajo superiores a los de descanso, eran más adecuados para mantener intensidades de trabajo por encima del 90% de VO_2 máx. No obstante, intervalos cortos de esfuerzo con tiempos de recuperación superiores a los de trabajo parecen mejorar otros parámetros fisiológicos, tales como VT1, VT2 y capacidad anaeróbica¹³.

Además de estos protocolos de entrenamiento, existen otros HIIT que incorporan circuitos con ejercicios de fuerza. Emberts *et al.*,¹⁴ demostraron que en una sesión de entrenamiento HIIT, que seguía el protocolo diseñado por Tabata *et al.*,¹⁵ consistente en la realización de 4 series x 4 minutos de ejercicios funcionales de fuerza, se alcanzaban valores de frecuencia cardiaca, VO_2 máx, lactato y RPE superiores al rango marcado por el *American College of Sports Medicine*¹⁶ para la mejora de la capacidad respiratoria. Además, se concluyó que una sesión aguda de HIIT realizado con *kettlebells* provocó un mayor gasto calórico que una sesión de sprints repetidos realizados en bicicleta, y resultó ser efectivo para estimular respuestas metabólicas y cardiorrespiratorias¹⁷.

Sin embargo, son pocos los estudios que tratan de investigar los efectos sobre el rendimiento y la salud de programas de entrenamiento que utilizan HIIT con ejercicios funcionales (Jumpings, Burpees, Lun-

ges, etc.). En este sentido, Buckley *et al.*,¹⁸ compararon los efectos de 6 semanas de entrenamiento de un protocolo HIIT con remo, con otro HIIT multimodal que incorporaba ejercicios de fuerza. Los resultados de este estudio demostraron que el HIIT multimodal de fuerza provocó similares adaptaciones aeróbicas y anaeróbicas, y mayores incrementos en el rendimiento muscular, que el programa HIIT realizado con remo.

Por todo ello, el objetivo del presente estudio, fue analizar los efectos a largo plazo de un programa de HIIT basado en ejercicios funcionales sobre el rendimiento y la composición corporal, así como compararlo con los efectos producidos por un programa HIIT realizado en bicicleta.

Material y método

Sujetos

Un total de 14 varones jóvenes participaron de forma voluntaria en el estudio (edad: 21,67±1,61 años; altura: 1,73 ± 0,06 metros; peso: 76,07 ± 12,96 kg).

Todos los sujetos estaban sanos y eran físicamente activos, aunque no realizaban ningún tipo de entrenamiento específico de forma regular. A todos ellos se les pidió que mantuvieran el tipo de dieta que estaban llevando y que no consumieran ningún tipo de suplementación. Cada sujeto fue informado del procedimiento a seguir durante el estudio y todos ellos proporcionaron su consentimiento informado por escrito. El experimento fue desarrollado y llevado a cabo con la aprobación del Comité de Ética Biomédica de la Universidad de Extremadura (España), respetando los criterios definidos en la Declaración de Helsinki de 2008.

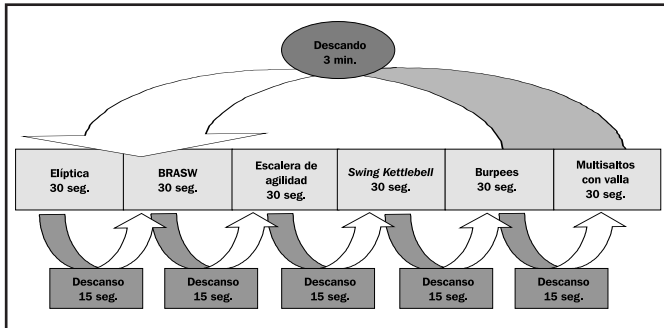
Diseño experimental

El estudio se desarrolló durante un periodo de 6 semanas, dedicadas tanto la primera como la última a hacer las valoraciones, y quedando 4 semanas para realizar los programas de entrenamiento. El diseño experimental se basó en un estudio transversal, donde los 14 participantes fueron divididos aleatoriamente en dos grupos: Grupo Entrenamiento Funcional (GEF), que realizó un HIIT basado en un circuito de fuerza, y Grupo Ciclismo (GC), que realizó un HIIT en bicicleta. Ambos protocolos se caracterizaron por ser de alta intensidad y con tiempos de recuperación incompletos. Se optó por seleccionar estos protocolos ya que investigaciones previas han demostrado que la relación trabajo/descanso que hemos empleado en el presente estudio resultó ser efectiva para provocar adaptaciones cardiorrespiratorias y metabólicas¹⁷.

Cada protocolo de entrenamiento fue realizado dos veces por semana, aumentando el volumen de entrenamiento las dos últimas semanas. Los dos protocolos comenzaron con un calentamiento de movilidad articular (tobillo, rodilla, cadera, hombro y cuello), que siguió con 5 minutos de rodaje en bicicleta con una cadencia de 50-60 rpm.

El GEF, realizó un protocolo de entrenamiento caracterizado fundamentalmente por ejercicios funcionales con implicación de los grandes grupos musculares del cuerpo.

Consistió en realizar un circuito de 6 ejercicios diferentes. Cada ejercicio tuvo una duración de 30" con un esfuerzo máximo "all out", mientras que el descanso entre ejercicios era de 15". Cuando completaban el circuito se descansaba 3 min (Figura 1). El circuito fue repetido 3 veces durante las primeras 2 semanas. Posteriormente, durante las

Figura 1. Esquema – resumen del circuito realizado durante el protocolo de Entrenamiento GEF.

dos últimas semanas, el circuito se realizó 4 veces por sesión. Este entrenamiento constó de los siguientes ejercicios: Elíptica, *battle ropes alternating squats waves*, escalera de agilidad, *swing kettlebell* (10-12 kg), burpees y multisaltos con vallas.

El GC realizó un HIIT basado en el ciclismo, consistente en realizar 4 repeticiones de 30 seg. de sprints en una bicicleta potenciómetro (Cycle Ops400 pro; Saris Cycling Group; USA) con una cadencia entre 100 y 120rpm, con una carga igual a 100w por encima de la potencia media de cada sujeto y con 3 minutos de recuperación entra cada *sprint* (Figura 2). Esta potencia media se obtuvo en las valoraciones previas a la intervención, que se realizaron durante la primera semana. En la semana 3 y 4 se aumentó a 6 repeticiones de *sprints*.

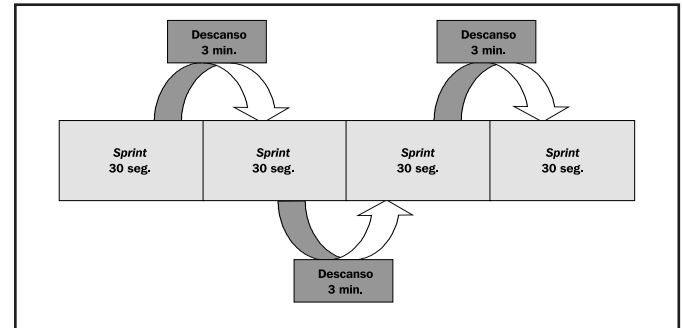
Mediciones

Las valoraciones fueron realizadas antes y después de las 4 semanas de intervención, durante la primera y última semana del estudio. Las mediciones se realizaron en dos días diferentes, separadas al menos 48 horas para evitar la influencia de la fatiga.

El primer día se citó a los sujetos en el laboratorio y se llevó a cabo una valoración antropométrica, siguiendo los criterios establecidos por la ISAK¹⁹. La altura y el peso corporal se midieron utilizando un estadiómetro portátil (Seca 213, Alemania), y se calculó el índice de masa corporal (peso/talla²). También se midieron los pliegues cutáneos y las circunferencias musculares, para estimar el porcentaje de masa muscular y masa grasa mediante el uso de ecuaciones antropométricas²⁰.

Posteriormente, los sujetos fueron llevados a un pabellón polideportivo donde realizaron las pruebas de T-test y Yo-Yo test.

El T-test es una prueba que nos sirvió para medir la agilidad y velocidad de desplazamiento de los individuos. Esta prueba se realizó previa al Yo-Yo test para evitar que la fatiga pudiera influir. El T-test se desarrolla realizando desplazamientos hacia adelante, laterales y atrás. Se precisó de 4 conos. Para la realización de este test el cono A se utiliza como punto de partida, de ahí se miden 10 yardas (9,14 metros) hacia adelante donde se ubica un cono B y de este se mide 5 yardas (4,57 metros) hacia cada uno de los lados para ubicar los demás conos (C y D). A la altura del cono A se colocaron unas células fotoeléctricas (Chronojump; Boscosystem; España), que registraron el tiempo de realización de la prueba. Cada participante realizó este test 2 veces, y se seleccionó el mejor tiempo.

Figura 2. Esquema – resumen de las características del protocolo de Entrenamiento GC.

El Yo-Yo test fue usado para medir de manera indirecta el $\text{VO}_2\text{máx}$, aplicando una serie de cálculos posteriores²¹. Este test consistió en realizar carreras de ida y vuelta sobre un tramo de 20 metros, con descansos de 10 segundos entre ellas. Para establecer las distancias utilizamos una cinta métrica, y se precisó de un ordenador con altavoces para facilitar la audición a los sujetos. La prueba finalizaba cuando el individuo no era capaz de mantener el ritmo de carrera.

Durante el segundo día, y en cualquier caso habiendo tenido 48 horas de descanso, se volvió a citar a los sujetos al laboratorio donde se les tomó la tensión arterial mediante un esfigmomanómetro, se valoró la hemoglobina total mediante un analizador específico (Hemocue 201; Angholm; Sweden) y se les hizo una prueba en bicicleta potenciómetro (Cycle Ops400 pro; Saris Cycling Group; USA) para valorar la potencia media y la potencia máxima desarrollada en un esfuerzo de tipo anaeróbico.

Para valorar la potencia media anaeróbica, los sujetos tuvieron que mantener un esfuerzo máximo en el potenciómetro durante 60 segundos, y se observaron los vatios medios mantenidos en este periodo. La potencia máxima se determinó en base al pico de potencia (medido en vatios) conseguido durante los primeros 10 segundos del esfuerzo. Los sujetos empezaron con un calentamiento de 5 minutos pedaleando a 50-60 rpm en la bicicleta. Posteriormente, justo antes de iniciar los 60 seg. de prueba, se indicaba a los sujetos que incrementaran la frecuencia de pedaleo hasta 120 revoluciones por minuto y se subía la resistencia del potenciómetro estableciendo una potencia objetivo de 500 vatios. Durante el desarrollo de la prueba, los sujetos tenían que mantener una cadencia superior a 120 rpm, por lo que se fue reduciendo progresivamente la carga a lo largo de la prueba con el objetivo de que no bajara dicha cadencia. Al finalizar la prueba se les sacó lactato y se analizaron las muestras en el analizador de lactato mediante Lactate Scout + (cuenta con un margen de error de 0,2 mmol). Durante la realización de la misma prueba, se tomaron valores referentes a la frecuencia cardiaca máxima alcanzada y la frecuencia cardiaca media obtenida durante los 60 segundos. Dicha frecuencia cardiaca se obtuvo con un pulsómetro (PowerCal, CycleOps; USA).

Análisis estadístico

Una vez recogidos todos los datos, se utilizó el programa estadístico SPSS en su versión 19.0 para Windows con el fin de analizar los mismos.

Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk con el fin de verificar una distribución normal de los datos y la prueba de Levene's para evaluar la homogeneidad de la varianza.

Dado que el número de sujetos que comprendía la muestra fue pequeño y que no cumplieron los requisitos mencionados anteriormente, fueron utilizadas pruebas no paramétricas. Por ello, las comparaciones entre las condiciones de intervención (GEF vs GC) para cada variable fueron sometidas a la U de Mann-Whitney, y los cambios intrasujetos fueron estudiados a partir de la prueba de Wilcoxon.

El nivel de significación se fijó en $p \leq 0,05$, con un nivel de confianza del 95%. La media y desviación estándar (SD) se utilizaron como estadística descriptiva. Los resultados se expresaron como la media \pm desviación estándar.

Limitaciones

La presente investigación tiene algunas limitaciones. El número de participantes fue pequeño por lo que este hecho condiciona la potencia del estudio. Por otro lado, no se hizo un control exhaustivo de la dieta,

y durante el desarrollo de los entrenamientos, los participantes informaron que habían realizado el esfuerzo a máxima intensidad, pero no se utilizaron otros registros fisiológicos para cuantificar la carga interna tales como frecuencia cardiaca, concentraciones de lactato, CK o LDH.

Resultados

En la Tabla 1 se muestran los valores referentes al rendimiento. En GEF se observó un aumento significativo del VO_2 máx ($p=0,013$) y la potencia máxima ($p=0,040$). En GC también se observó un aumento significativo de VO_2 máx ($p=0,011$) y la potencia máxima ($p=0,015$), así como de la potencia media ($p=0,019$). Sin embargo, no se observó ninguna diferencia significativa entre grupos.

En la Tabla 2 se muestran los valores referentes a la composición corporal y antropometría. En GEF se observó un descenso significativo en los valores referidos a peso graso ($p=0,047$) y porcentaje graso ($p=0,049$). Resultados similares fueron observados en GC con descensos significativos en peso graso ($p=0,025$) y porcentaje graso ($p=0,022$). No se observó ninguna diferencia significativa entre grupos.

Tabla 1. Valores referentes al rendimiento (Mean \pm SD).

	GEF (n=7)		GC (n=7)	
	Pre	Post	Pre	Post
T-test (seg)	10,03 \pm 0,35	10,01 \pm 0,41	10,44 \pm 0,81	10,32 \pm 0,69
VO_2 máx (ml*min/Kg)	44,96 \pm 1,69	47,31 \pm 3,07*	45,37 \pm 3,91	49,21 \pm 5,79*
Potencia máxima (W)	573,50 \pm 37,56	643,66 \pm 54,68*	572,71 \pm 134,82	684,42 \pm 128,20*
Potencia media (W)	312,82 \pm 32,12	329,66 \pm 31,77	295,85 \pm 67,77	336,71 \pm 57,12*
FC máxima (ppm)	183,33 \pm 3,55	180,33 \pm 5,60	178,57 \pm 4,57	181,00 \pm 6,00
FC media (ppm)	176,50 \pm 5,35	173,50 \pm 4,54	169,14 \pm 7,88	172,42 \pm 11,47
Lactato final (mmol/L)	14,40 \pm 1,88	12,43 \pm 2,22	13,08 \pm 2,08	13,90 \pm 3,62

*diferencias significativas intergrupos ($p \leq 0,05$)

Tabla 2. Valores referentes a composición corporal y antropometría (Mean \pm SD).

	GEF (n=7)		GC (n=7)	
	Pre	Post	Pre	Post
Peso (kg)	75,38 \pm 9,89	75,03 \pm 9,99	76,67 \pm 15,92	76,64 \pm 15,05
IMC	25,15 \pm 2,79	25,03 \pm 2,79	24,98 \pm 3,95	24,97 \pm 3,59
Peso muscular (kg)	36,17 \pm 4,70	36,28 \pm 5,06	36,67 \pm 8,26	37,19 \pm 7,47
% muscular	48,03 \pm 1,95	48,37 \pm 2,18	48,14 \pm 3,61	48,65 \pm 3,85
Peso graso (kg)	10,35 \pm 2,59	9,98 \pm 2,47*	10,98 \pm 4,33	10,44 \pm 4,36*
% graso	13,61 \pm 2,00	13,20 \pm 2,03*	14,09 \pm 3,96	13,33 \pm 4,12*

*diferencias significativas intergrupos ($p \leq 0,05$)

Tabla 3. Valores referentes a tensión arterial y hemoglobina (Mean \pm SD).

	GEF (n=7)		GC (n=7)	
	Pre	Post	Pre	Post
Tensión sistólica (mmHg)	116,33 \pm 8,64	120,16 \pm 16,57	120,00 \pm 8,96	122,42 \pm 14,16
Tensión diastólica (mmHg)	64,33 \pm 10,83	67,66 \pm 10,09	64,42 \pm 9,39	72,42 \pm 10,13
Hemoglobina (g/dL)	14,40 \pm 1,59	13,78 \pm 0,40	14,00 \pm 1,37	14,31 \pm 1,33

En la Tabla 3 se muestran los valores referentes a tensión arterial y hemoglobina. No se observó ninguna diferencia significativa.

Discusión

Los resultados de este estudio han demostrado que el HIIT, independientemente del tipo de protocolo utilizado (ejercicios funcionales o bicicleta), mejora parámetros de rendimiento y de composición corporal.

En ambos grupos se ha observado un aumento del $\text{VO}_2\text{máx}$ tras el entrenamiento. Otros estudios también han demostrado que el HIIT (4-6 sesiones por semana) ejecutado durante varias semanas mejora el $\text{VO}_2\text{máx}$ en personas físicamente activas^{4,22,23}.

Esta mejora de $\text{VO}_2\text{máx}$, puede deberse principalmente tanto a las adaptaciones del potencial oxidativo muscular, como al aumento de mitocondrias y actividad enzimática mitocondrial, que permitirá un mayor aprovechamiento de la energía²⁴.

Además, el incremento de la contractilidad cardíaca y de la capacidad de bombeo que provoca el ejercicio de alta intensidad también podría explicar el aumento del $\text{VO}_2\text{máx}$ en base a un aumento del volumen sistólico^{25,26}.

Tras el entrenamiento, también se ha observado un aumento de la potencia máxima y la potencia media (en este caso, solo en el GC) desarrollada en un potenciómetro. En la mayoría de estudios previos en los que se emplea un entrenamiento interválico de alta intensidad a corto plazo, la potencia máxima y media se vio mejorada^{27,28}. Esta mejora podría explicarse en base a las adaptaciones periféricas que provoca un HIIT, tales como la mejora en el llenado rápido de los depósitos de fosfocreatina (PC) y la optimización del papel que desarrolla la oximoglobina como almacén de oxígeno intracelular¹².

En la fase inicial de este tipo de ejercicios, el oxígeno no llega a los valores de la demanda real del mismo debido al retraso de la cinética del VO_2 . Por ello, la energía para la resíntesis de ATP debe ser obtenida por medio de oxígeno intracelular almacenado y/o a través de la vía anaeróbica, destacando en este sentido el papel de la oximoglobina y la fosfocreatina.

Otras investigaciones concluyen que la mejoría en los niveles de potencia podría deberse a adaptaciones de tipo neuromuscular, observándose un aumento en el reclutamiento o activación de unidades motrices²⁹, así como un aumento significativo de fibras tipo IIa y una disminución de las fibras tipo I³⁰.

La mejora de la potencia media solo se observó en el GC. Este resultado podría explicarse en base a que el GC realizó el entrenamiento en bicicleta, por lo que la prueba de valoración realizada fue más específica para este grupo que para el grupo GEF. Estudios previos han concluido que los resultados obtenidos en una prueba de valoración serán mejores si se utiliza una prueba más específica y con un componente mecánico similar a las empleadas en el entrenamiento^{31,32}. En base a esto, podemos decir que debido a la especificidad de la prueba elegida para evaluar la potencia, dicha potencia media aumentó solo en el grupo B (grupo que entrenó en bicicleta).

En relación con la valoración de la composición corporal se encontró un descenso en los valores referentes al peso graso (kg) y al porcentaje de masa grasa. Resultados similares se han encontrado en estudios previos en los que se observó un descenso del porcentaje graso tras un programa HIIT monitorizado y realizado en cicloergómetro³³⁻³⁵.

Según diversos autores, este descenso en la masa grasa podría deberse a un aumento de las catecolaminas³⁶, de la hormona del crecimiento³⁷ y de la actividad de la β hidroxil coenzima A deshidrogenasa³⁸. Estos factores juegan un papel importante en la estimulación de la lipólisis, así como en la liberación de tejido graso subcutáneo e intramuscular. Por otro lado Boutcher⁸, concluyó que tras la realización de un HIIT, se produce un aumento de la oxidación de los ácidos grasos debido a la necesidad de la remoción del lactato y los hidrogeniones, y de resintetizar el glucógeno muscular.

Finalmente, no ha habido diferencias significativas entre un grupo y otro en lo referente al rendimiento y la composición corporal. Si bien es cierto que pocos estudios han analizado los efectos producidos por un HIIT que incluya ejercicios funcionales de fuerza, los estudios revisados encontraron resultados similares a los nuestros. Buckley *et al.*,¹⁸ concluyó que un HIIT multimodal incorporando ejercicios de fuerza provocó las mismas adaptaciones aeróbicas y anaeróbicas que un HIIT realizado en remo. En la misma línea, McRae *et al.*,³⁹ estudiaron los efectos de un HIIT basado en movimientos globales del cuerpo (burpees, saltos, mountain climbers, etc.) tras 4 semanas de entrenamiento, encontrando mejoras en la capacidad aeróbica similares a las producidas por un entrenamiento continuo en tapiz rodante.

Esta falta de diferencias podría explicarse debido a que ambos protocolos utilizaron intensidades muy altas y las adaptaciones fisiológicas fueron similares. No podemos olvidar que el HIIT ha demostrado consistentemente incrementos en el rendimiento aeróbico y anaeróbico comparados con el ejercicio aeróbico de resistencia^{40,41}. Esto podría indicar que la variable intensidad del ejercicio podría jugar un papel más importante que el tipo de ejercicio en esta modalidad de entrenamiento, aunque más investigaciones deberían realizarse en este sentido. No obstante, la presente investigación tiene algunas limitaciones. El número de participantes fue pequeño por lo que este hecho condiciona la potencia del estudio y los resultados deberían interpretarse con cautela, especialmente si se tratan de extrapolar a otros contextos. Por otro lado, no se hizo un control exhaustivo de la dieta, y durante el desarrollo de los entrenamientos, los participantes informaron que habían realizado el esfuerzo a máxima intensidad, pero no se utilizaron otros registros fisiológicos para cuantificar la carga interna tales como frecuencia cardíaca, concentraciones de lactato, CK o LDH. Por ello, más investigaciones deben ser realizadas para profundizar en los efectos fisiológicos, metabólicos y anatómico-funcionales que pueden provocar sobre el organismo los protocolos HIIT basados en la aplicación de ejercicios funcionales de fuerza.

Conclusiones

Por todo ello, podríamos concluir que un programa HIIT basado en ejercicios funcionales de fuerza produjo mejoras del rendimiento aeróbico, anaeróbico y la composición corporal similares a las conseguidas por un programa HIIT de *sprint* repetido en bicicleta. Estos hallazgos pueden tener importantes implicaciones en el diseño de sesiones y en la planificación de entrenamiento por parte de los entrenadores personales y especialistas en acondicionamiento físico.

Agradecimientos

Esta investigación pudo ser realizada gracias a la financiación aportada por la Junta de Extremadura (nº de referencia: GR15020-CTS036).

Conflicto de intereses

Los autores no declaran conflicto de intereses alguno.

Bibliografía

- Tucker WJ, Sawyer BJ, Jarrett CL, Bhammar DM, Gaesser GA. Physiological Responses to High-Intensity Interval Exercise Differing in Interval Duration. *J Strength Cond Res*. 2015;29(12):3326-35
- Billat VL, Slawinski J, Bocquet V, Demarle A, Lafitte L, Chassaing P, et al. Intermittent runs at the velocity associated with maximal oxygen uptake enables subjects to remain at maximal oxygen uptake for a longer time than intense but submaximal runs. *Eur J Appl Physiol*. 2000;81(3):188-96.
- Buchheit M, Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part II: Anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. Vol. 43, *Sports Medicine*. 2013. p. 927-54.
- Laursen PB, Jenkins DG. The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Med*. 2002;32(1):53-73.
- Gibala MJ, Little JP, Macdonald MJ, Hawley JA. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *J Physiol*. 2012;5(March 2012):1077-84.
- Little JP, Gillen JB, Percival ME, Safdar A, Tarnopolsky MA, Punthakee Z, et al. Low-volume high-intensity interval training reduces hyperglycemia and increases muscle mitochondrial capacity in patients with type 2 diabetes. *J Appl Physiol*. 2011;111(6):1554-60.
- Moholdt T, Madssen E, Rogno M, Aamot IL. The higher the better? Interval training intensity in coronary heart disease. *J Sci Med Sport*. 2014;17(5):506-10.
- Boutcher SH. High-intensity intermittent exercise and fat loss. *J Obes (revista electrónica)* 2011;2011:868305 (consultado 1209/2017). Disponible en: <https://www.hindawi.com/journals/jobe/2011/868305/>
- Gibala MJ, McGee SL. Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain? *Exerc Sport Sci Rev*. 2008;36(2):58-63.
- Whyte LJ, Gill JMR, Cathcart AJ. Effect of 2 weeks of sprint interval training on health-related outcomes in sedentary overweight/obese men. *Metabolism*. 2010 Oct;59(10):1421-8.
- Rodas GA. Short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism of both aerobic and anaerobic metabolism. *Eur J Appl Physiol*. 2000;82(5):480-6.
- Buchheit M, Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: Cardiopulmonary emphasis. *Sports Med*. 2013 May;43(5):313-38.
- Laursen P, Kitic C, Peake J, S Coombes J, G Jenkins D. Influence of High-Intensity Interval Training on Adaptations in Well-Trained Cyclists. Vol. 19, *Journal of strength and conditioning research* / National Strength & Conditioning Association. 2005. p. 527-33.
- Emberts T, Porcari J, Doberstein S, Steffen J, Foster C. Exercise intensity and energy expenditure of a tabata workout. *J Sport Sci Med*. 2013;12(3):612-3.
- Tabata I, Nishimura K, Kouzaki M, Hirai Y, Ogita F, Miyachi M, et al. Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO₂max. *Med Sci Sport Exerc*. 1996;28(10):1327-30.
- Thompson WR, Gordon NF, Pescatello LS. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. 9th ed. 2014. *J Can Chiropr Assoc*. 2014; 58(3):6-10.
- Williams BM, Kraemer RR. Comparison of Cardiorespiratory and Metabolic Responses in Kettlebell High-Intensity Interval Training Versus Sprint Interval Cycling. *J Strength Cond Res*. 2015;29(12):3317-25.
- Buckley S, Knapp K, Lackie A, Lewry C, Horvey K, Benko C, et al. Multimodal high-intensity interval training increases muscle function and metabolic performance in females. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2015;40(11):1157-62.
- Stewart A, Marfell-Jones M, Olds T, de Ridder H. International standards for anthropometric assessment. Lower Hutt, New Zealand. International Society for the Advancement of Kinanthropometry, 2011. 51.
- Alvero Cruz JR, Cabañas M, Herrero de Lucas A, Martínez Ríaza L, Moreno Pascual C, Porta Manzanido J, et al. Protocolo de valoración de la composición corporal para el reconocimiento médico-deportivo. Documento de consenso del grupo español de cineantropometría de la federación española de medicina del deporte. *Arch Med Deporte*. 2010. XXVII(139): 330-44.
- Bangsbo J, Iaia FM, Krstrup P. The Yo-Yo Intermittent Recovery Test: A Useful Tool for Evaluation of Physical Performance in Intermittent Sports. *Sport Med*. 2008;38(1):37-51.
- Helgerud J, Hoydal K, Wang E, Karlsen T, Berg P, Bjerkaas M, et al. Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39(4):665-71.
- Astorino TA, Edmunds RM, Clark A, King L, Gallant RA, Namm S, et al. High-intensity interval training increases cardiac output and VO₂max. *Med Sci Sports Exerc*. 2016;49(2):265-73.
- Tschakert G, Hofmann P. High-intensity intermittent exercise: Methodological and physiological aspects. *Int J Sports Physiol Perform*. 2013;8(6):600-10.
- Helgerud J, Høydal K, Wang E, Karlsen T, Berg P, Bjerkaas M, et al. Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39(4):665-71.
- Bassett DR, Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32(1):70-84.
- Astorino TA, Allen RP, Roberson DW, Jurancich M. Effect of high-intensity interval training on cardiovascular function, VO₂max, and muscular force. *J Strength Cond Res*. 2012;26(1):138-45.
- Burgomaster KA, Hughes SC, Heigenhauser GJF, Bradwell SN, Gibala MJ. Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *J Appl Physiol*. 2005;98(6):1985-90.
- Van Cutsem M, Duchateau J, Hainaut K. Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *J Physiol*. 1998;513:295-305.
- Farzad B, Gharakhanlou R, Agha-Alinejad H, Curby DG, Bayati M, Bahraminejad M, et al. Physiological and performance changes from the addition of a sprint interval program to wrestling training. *J Strength Cond Res*. 2011;25(9):2392-9.
- Rossi FE, Schoenfeld BJ, Ocetnik S, Young J, Vigotsky A, Contreras B, et al. Strength, body composition, and functional outcomes in the squat versus leg press exercises. *J Sports Med Phys Fitness (revista electrónica)* 2016; Oct 13 (consultado 0910/2017). Disponible en: <https://www.minervamedica.it/en/journals/sports-med-physical-fitness/article.php?cod=R40Y9999N00A16101304>.
- Roberts JA, Alspaugh JW. Specificity of training effects resulting from programs of treadmill running and bicycle ergometer riding. *Med Sci Sports*. 1972;4(1):6-10.
- Dunn SL. Effects of exercise and dietary intervention on metabolic syndrome markers of inactive premenopausal women, Doctoral dissertation, University of New South Wales (documento electrónico) 2009 (consultado 1110/2017). Disponible en: <http://unsworks.unsw.edu.au/vital/access/manager/Repository/unsworks:7345>.
- Trapp EG, Chisholm DJ, Boutcher SH. Metabolic response of trained and untrained women during high-intensity intermittent cycle exercise. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2007;293(6):R2370-75.
- Tremblay A, Simoneau JA, Bouchard C. Impact of exercise intensity on body fatness and skeletal muscle metabolism. 1994;43 (1):814-18.
- Bracken RM, Linnane DM, Brooks S. Plasma catecholamine and norepinephrine responses to brief intermittent maximal intensity exercise. *Amino Acids*. 2009;36(2):209-17.
- Nevill ME, Holmyard DJ, Hall GR, Allsop P, Van Oosterhout A, Burrin JM, et al. Growth hormone responses to treadmill sprinting in sprint and endurance-trained athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1996;72(5-6):460-7.
- Tremblay A, Simoneau JA, Bouchard C. Impact of exercise intensity on body fatness and skeletal muscle metabolism. *Metabolism*. 1994;43(7):814-18.
- McRae G, Payne A, Zelt JGE, Scribbans TD, Jung ME, Little JP, et al. Extremely low volume, whole-body aerobic-resistance training improves aerobic fitness and muscular endurance in females. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2012;37(6):1124-31.
- Gist NH, Fedewa MV, Dishman RK, Cureton KJ. Sprint interval training effects on aerobic capacity: A systematic review and meta-analysis. *Sport Med*. 2014;44(2):269-79.
- Hazell TJ, MacPherson REK, Gravelle BMR, Lemon PWR. 10 or 30-s sprint interval training bouts enhance both aerobic and anaerobic performance. *Eur J Appl Physiol*. 2010;110(1):153-60.