



UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

TRABAJO FIN DE MASTER: OPCIÓN INVESTIGADORA

MÁSTER RENDIMIENTO DEPORTIVO Y SALUD

**EFFECTO AGUDO DEL ENTRENAMIENTO INTERVÁLICO DE ALTA
INTENSIDAD SOBRE LA OXIDACIÓN DE GRASAS Y EL METABOLISMO
BASAL EN REPOSO 24 HORAS DESPUÉS DE LA SESIÓN**

Autor: Pablo Revueltas Casterás

Tutor académico: Raúl López Gueso

Tutor profesional: Manuel Moya Ramón.

Cotutor: Félix Mateo Cubo

Elche, Junio 2017.

RESUMEN

En la sociedad actual, la falta de tiempo está provocando el desarrollo de gran variedad de patologías asociadas al sedentarismo, siendo la obesidad y el sobrepeso dos de las que generan mayor riesgo para la salud. Tanto el entrenamiento continuo de intensidad moderada como el entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) reportan beneficios sobre la mejora de la composición corporal, así como en otros parámetros relacionados con la salud. No obstante, el HIIT resulta más eficiente en el tiempo y, se le presupone, un mayor efecto sobre el exceso de consumo de oxígeno post ejercicio (EPOC). Para esclarecer la controversia del efecto del HIIT sobre el EPOC, se ha llevado a cabo una intervención de dos semanas de entrenamiento en cinco varones, a razón de tres sesiones por semana, separadas entre sí 24 horas. Las medidas tomadas la semana anterior y posterior al entrenamiento fueron: prueba de metabolismo basal en reposo, prueba incremental y prueba FatMax; midiendo el metabolismo basal en reposo siempre tras 24 horas de la sesión de HIIT. Los objetivos específicos se centrarán en analizar si la realización de HIIT es capaz de conseguir tanto que las grasas sean el principal sustrato energético utilizado, como aumentar el consumo energético, respecto a los valores pre-entrenamiento, en un estado de reposo a las 24 horas posteriores de la sesión de HIIT. De igual modo, se estudiará y comparará, pre-post intervención, variables obtenidas en mediciones del análisis de la composición corporal, prueba incremental y prueba FatMax.

PALABRAS CLAVE:

HIIT, EPOC, RER, oxidación grasas, calorimetría indirecta.

INTRODUCCIÓN

En la sociedad actual, la falta de tiempo de ocio está provocando el desarrollo de gran variedad de patologías asociadas al sedentarismo (Valenzuela, López, González, Juan y Montes, 2007). Siendo la obesidad y el sobrepeso dos de las patologías que generan mayor riesgo para la salud, ya que suelen tener asociadas otras enfermedades cardiovasculares (Lavie, Milani y Ventura, 2009), principal causa de muertes en 2012 según la OMS (2016). Diabetes (Leong y Wilding, 1999; Bloomgarden, 2000); resistencia a la insulina (Leong y Wilding, 1999); hipertensión (Rahmouni, Correia, Haynes y Mark, 2005; Mark, Correia, Morgan, Shaffer y Haynes, 1999); cáncer (Calle y Thun, 2004); dislipidemia, apnea obstructiva del sueño y trastornos respiratorios del sueño (Lavie et al., 2009) etc. Según la OMS (2016), "desde 1980, la obesidad se ha incrementado en todo el mundo, tanto en adultos como en jóvenes. En 2014, el 39% de las personas adultas de 18 o más años tenían sobrepeso, y el 13% eran obesas. En general, hay más personas obesas que con peso inferior al normal". Por su parte, en España obtenemos datos similares. (Aranceta, Pérez, Alberdi, Ramos y Lázaro, 2016; J.J. Sánchez, Jiménez, Fernández y Sánchez, 2012; Rodríguez, López, López y Ortega, 2012).

Realizar ejercicio físico ha demostrado ser una herramienta efectiva para la mejorar de la salud, como veremos más adelante. Las recomendaciones de ejercicio son: ejercicio cardio respiratorio a través de 5 sesiones/semana de intensidad moderada de 30-60 minutos o 3 sesiones/semana de 20-60 minutos de intensidad vigorosa, debiendo sumar los adultos 150 minutos semanales de actividad física moderada o 75 minutos para la intensidad vigorosa. (OMS, 2010; American College of Sports Medicine, 2011; Bayego, Vila y Martínez, 2012). Como se observa, hay dos tipos de entrenamiento diferenciados: el continuo de intensidad moderada y el de intensidad vigorosa. Por tanto procederemos a la definición de cada uno de ellos y al análisis de los beneficios que reportan.

El ejercicio continuo de intensidad moderada es definido por el American College of Sports Medicine (ACSM) como " aquellos ejercicios donde se utilizan grandes grupos musculares y se mantienen continuamente y rítmicamente, y son de naturaleza aeróbica" . Para la mayoría de adultos, la intensidad del ejercicio moderado debe de tener un 40-59% de la frecuencia cardiaca máxima de reserva; un 40-59% del consumo de oxígeno de reserva; un 64-76% de la frecuencia cardiaca máxima; un 46-63% del consumo máximo de oxígeno; entre un 12-13 en la escala de percepción del esfuerzo y entre un 3-5,9 en equivalencia metabólica (MET) (Lopategui, 2013).

Son varias las recomendaciones para la práctica de ejercicio físico desde distintas instituciones (ACSM, 1975,1978,1998; OMS, 2010). Además, numerosos estudios han demostrado los beneficios que tiene a nivel cardiovascular. (Lee, Rexrode, Cook, Manson y Buring, 2001; Manson et al., 2002; Sesso, Paffenbarger y Lee, 2000; Thomas et al., 2010; Garber et al., 2011; Myers, 2003; Warburton, Nicol y Bredin,

2006). Así mismo, está demostrada la capacidad del ejercicio moderado para reducir y mantener el peso corporal (Luque, García, Gutiérrez y Vallejo, 2010; Slentz et al., 2004; Bayego et al., 2012; Myers, 2003); y para mejorar la sensibilidad a la insulina y prevenir síndromes metabólicos relacionados con la diabetes tipo II. (Chipkin, Klugh y Chasan, 2001; Myers, 2003; LaMonte et al., 2005; Warburton et al., 2006).

Por otra parte se encuentra el entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT). Es un sistema de entrenamiento intenso, pero de menor duración que el entrenamiento continuo moderado, compuesto por fases de alta intensidad alternado con periodos de recuperación. (Buchheit y Laursen, 2013; Benito, 2013; Kessler, Sisson y Short, 2012; Gillen y Gibala, 2013). Para la mayoría de adultos, la intensidad del ejercicio vigoroso debe de tener un 60-89% de la frecuencia cardiaca máxima de reserva; un 60-89% del consumo de oxígeno de reserva; un 77-95% de la frecuencia cardiaca máxima; un 60-90% del consumo máximo de oxígeno; entre un 14-17 en la escala de percepción del esfuerzo y entre un 6-8.7 en equivalencia metabólica (MET) (Lopategui, 2013). Así como en el entrenamiento continuo moderado simplemente encontramos como variables a modificar la duración y la intensidad, en el caso del HIIT hayamos ocho, que se deben modificar en función de los objetivos. (Buchheit y Laursen, 2013; Chicharro, 2014).

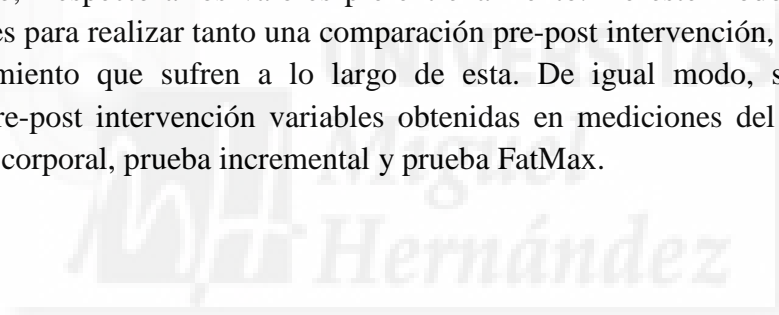
Numerosos estudios han demostrado los beneficios del HIIT a nivel cardiorrespiratorio (Weston, Wisløf y Coombes, 2014; Nybo et al., 2010; García et al., 2016; Ramos, Dalleck, Tjonna, Beetham y Coombes, 2015; Swain y Franklin, 2006); destacando la mejora del VO_{2max} pico respecto al ejercicio continuo de intensidad moderada (Liou, Ho, Fildes y Ooi, 2016; Bacon, Carter, Ogle y Joyner, 2013). También muestra beneficios para casos de diabetes tipo II y mejorar la sensibilidad a la insulina (Jelleyman et al., 2015; Boutcher, 2010; Kessler et al., 2012; Francois y Little, 2015; Shaban, Kenno y Milne, 2014). El efecto que produce en la capacidad de oxidar grasa y mejorar la composición corporal es también relevante. (Trapp, Chisholm, Freund y Boutcher, 2008; Talanian, Galloway, Heigenhauser, Bonen y Spriet, 2007; Perry, Heigenhauser, Bonen y Spriet, 2008; Tremblay, Simoneau y Bouchard, 1994; Costigan, Eather, Plotnikoff, Taaffe y Lubans, 2015).

Como hemos visto, tanto ejercicio continuo de intensidad moderada como el HIIT logran los mismos beneficios. De hecho, varios estudios al comparar sus efectos, obtienen similares resultados. (Keating, Johnson, Mielke y Coombes, 2017; Gibala et al., 2006; Keating et al., 2014; Tjønna et al., 2008; Moholdt et al., 2009). Por tanto, si queremos disminuir las tasas de obesidad y sobrepeso de nuestro país, así como mejorar la salud, ¿qué sistema de entrenamiento elegir, si tienen los mismos beneficios?

Hay dos pilares fundamentales sobre los que el presente estudio se basa para elegir el HIIT. En primer lugar, el menor volumen de entrenamiento que requiere respecto al continuo, de este modo se convierte en igual de eficaz pero más eficiente en el tiempo, ya que una de las causas por las que no se realiza ejercicio es por la falta de tiempo. Y en segundo lugar, y el motivo por el que se realiza el estudio, es por el

llamado "excess post-exercise oxygen consumption" (EPOC). El consumo de oxígeno que hay después de la práctica de ejercicio es un factor muy a tener en cuenta en la pérdida de grasa con programas de HIIT, ya que son utilizadas como sustrato energético principal, por parte del organismo, en el proceso de recuperación al estado de reposo. (Marchante, 2015). Así, Børsheim y Bahr (2003) en su revisión encuentra un EPOC más prolongado para ejercicios de mayor intensidad en comparación al ejercicio de resistencia moderada.

Para esclarecer la controversia sobre el efecto del HIIT sobre el EPOC, se ha decidido realizar un estudio cuasi-experimental de intervención de dos semanas de entrenamiento de HIIT. El objetivo general del estudio es el de valorar los efectos agudos que produce el HIIT tras dos semanas de entrenamiento. Los objetivos específicos se centrarán en analizar si la realización de entrenamiento interválico de alta intensidad es capaz de modificar la tasa de oxidación de las grasas (g/min) y de los hidratos de carbono (g/min) en reposo, a las 24 horas posteriores de la sesión, respecto a los valores pre-entrenamiento. Igual de importante será estudiar el efecto que produce el HIIT sobre el metabolismo basal en reposo, analizando así, si hay un cambio en las kilocalorías consumidas (kcal/24h) en reposo a las 24 horas de finalizar la sesión de entrenamiento, respecto a los valores pre-entrenamiento. De este modo, se utilizarán estas variables para realizar tanto una comparación pre-post intervención, como analizar el comportamiento que sufren a lo largo de esta. De igual modo, se estudiará y comparará pre-post intervención variables obtenidas en mediciones del análisis de la composición corporal, prueba incremental y prueba FatMax.



MATERIAL

Sujetos.

Cinco varones activos (23 ± 5 años de edad; $81,84 \pm 20,56$ kg de peso corporal; $39,34 \pm 5,97$ ml/kg/min VO_{2max}), estudiantes del Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad Miguel Hernández de Elche. Se ofrecieron de forma voluntaria para participar en el estudio. Los sujetos fueron informados del propósito y diseño del estudio, además se les notificó la posibilidad de abandonarlo si lo consideraban necesario. Todos los participantes firmaron un consentimiento informado, indicando la ausencia de patologías que impidieran el desarrollo del estudio. Así mismo, se les informó de los requisitos para realizar el estudio: no realizar otro tipo de actividad física en el periodo del estudio de forma particular y seguir el estricto control de la dieta isocalórica y equilibrada nutricionalmente que les proporcionamos. El protocolo fue elaborado de acuerdo con la Declaración de Helsinki y aprobado por la comisión ética de la Universidad Miguel Hernández de Elche (España).

Diseño del estudio

Los sujetos completaron un total de 4 semanas de estudio, comprendido por una primera semana de medidas pre-test ; una segunda y tercera semana de entrenamiento y seguimiento del metabolismo basal en reposo y, una cuarta semana de medidas post-test. La primera semana, el día 1 se realizó una test para la determinación del metabolismo basal en reposo y, tras 3 horas, la prueba de esfuerzo incremental. 72 horas después de la prueba de esfuerzo incremental, se realizó el test de FatMax. Durante las semanas 2 y 3 se realizaron 6 sesiones de HIIT con un día de descanso entre sesiones, los cuales se aprovechaban para medir el metabolismo basal en reposo a las 24 horas del final de la sesión. Desde el día anterior del inicio del estudio hasta su finalización, los sujetos no realizaron ningún otro tipo de actividad física o deporte por cuenta propia y siguieron un estricto seguimiento de una dieta isocalórica, igual para todos. (Figura 1).

	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado	domingo
semana 1	prueba metabolismo basal en reposo			FatMax			
	prueba incremental						
semanas 2y3	sesión HIIT	prueba metabolismo basal en reposo	sesión HIIT	prueba metabolismo basal en reposo	sesión HIIT	prueba metabolismo basal en reposo	
semana 4	prueba incremental			FatMax			
no realización de otra actividad física fuera del estudio + seguimiento de la dieta proporcionada							

Figura 1. Diseño del estudio. Diseño del estudio. Cuatro semanas de intervención: semana 1 mediciones pre-entrenamiento; semana 2 y 3 entrenamiento de HIIT; semana 4 mediciones post-entrenamiento.

Mediciones.

Análisis de la composición corporal (Bioimpedancia Eléctrica, Bia).

Para conocer el peso (kg) de los voluntarios (necesario para utilizar el analizador de gases en las pruebas del estudio), se utilizaba la báscula de bioimpedancia Tanita modelo BC-420MA (TANITA® Corp., Tokio, Japan) de 4 electrodos. Para ello el

sujeto debe posicionarse encima de la báscula con los pies descalzos, en condiciones de ambiente controlado, habiendo estado en reposo 15 minutos antes, previa micción, y con los brazos en posición anatómica. Los datos obtenidos son la masa grasa, el nivel de grasa visceral, masa muscular, agua total, masa ósea estimada, IMC, metabolismo basal, edad metabólica, tipo de constitución física y valores de referencia.

Metabolismo basal en reposo.

Prueba de calorimetría indirecta, una técnica basada en la medición del consumo de oxígeno (O₂) y la excreción de dióxido de carbono (CO₂). Dicha prueba se realizaba en ayunas, entre las 8-9 horas de la mañana para evitar cansancio del sujeto por actividades del día, tumbado en una camilla y en una habitación cerrada al público para evitar sobresaltos del sujeto. Para controlar el cociente respiratorio se utilizaba un analizador de gases (MasterScreen CPX, CareFusion, 97204 Hoechberg, Germany). Dicha prueba también tuvo lugar de forma basal y a las 24 horas de la realización de cada una de las sesiones de HIIT.

Prueba incremental.

Cardiología.

Previo al comienzo de la prueba, un especialista en cardiología examinó la tensión arterial del sujeto, para comprobar que los valores obtenidos posibilitaban una práctica segura. Para mayor control de la prueba, previa a esta, se realizó un electrocardiograma en reposo con las 12 derivaciones, además durante toda la prueba el electrocardiograma estuvo conectado para observar la actividad eléctrica del corazón.

Desarrollo.

La prueba de ejercicio incremental (GXT) se realiza para monitorizar una serie de parámetros fisiológicos que nos permitirán conocer el consumo máximo de oxígeno, umbral ventilatorio (VT) y el umbral de intercambio de gases (GET), donde $RER \geq 1$. Los sujetos realizaron un calentamiento de cuatro minutos a 20 Watios (W), para después continuar con estadios de 3 minutos cada uno con incrementos de 20W respecto al anterior. Al alcanzar $RER \geq 1$ (oxidación de hidratos de carbono), los estadios tenían una duración de 1 minuto cada uno, con incrementos de 20 W respecto al anterior. Así hasta llegar al agotamiento, y así realizar una vuelta a la calma de 5 minutos a 20 W. La cadencia en el cicloergómetro debía ser siempre de 60 rpm. Dicha prueba se realizó en un cicloergómetro (Monark Ergonomic 839E, Vansbro, Sweden).

Prueba FatMax.

Para evaluar, antes (pre-test) y después (post-test) de las dos semanas de intervención de HIIT la oxidación de grasas, a qué intensidad, durante cuánto tiempo se sostiene esta oxidación de grasas, y cuál es el comportamiento de este sustrato energético en la prueba, los sujetos realizaron un test de 60 minutos en el cicloergómetro en su intensidad de máxima oxidación de grasas. La cadencia en el cicloergómetro debía ser siempre de 60 rpm, como en todas las pruebas del estudio. La

prueba se realizaba en cicloergómetro (Monark Ergomedic 839E, Vansbro, Sweden), y el RER se analizaba a través del analizador de gases (MasterScreen CPX, CareFusion, 97204 Hoechberg, Germany). Al igual que en la prueba gradual de ejercicio, para mayor control de la prueba, previa a esta, se colocaban 10 electrodos en el voluntario, conectados al monitor de ECG, para observar la actividad eléctrica del corazón. Del mismo modo, antes de la prueba, se medía y pesaba al sujeto en la báscula de bioimpedancia Tanita modelo BC-420MA (TANITA® Corp., Tokio, Japan) de 4 electrodos para introducir los valores en el Software del MasterScreen CPX,(CareFusion, 97204 Hoechberg, Germany). También se llevó a cabo una medición previa a la prueba de la tensión arterial, para controlar que estuviera dentro de unos parámetros normales.

Prueba de HIIT.

Consistía en 5 minutos de calentamiento, empezando a un 40% VO_{2max} y acabando a un 60% VO_{2max} . Una vez finalizado el calentamiento, se realizan dos series de 10 minutos cada una, con un descanso de un minuto entre las series. Las series consistían en bloques de 30 segundos a alta intensidad (110% del VO_{2max}) y 30 segundos a baja intensidad (40% del VO_{2max}). Entre las dos series, se realiza 1 minuto de recuperación activa al 40% del VO_{2max} . La cadencia en el cicloergómetro (Monark Ergomedic 839E, Vansbro, Sweden), debía ser siempre de 60 rpm, al igual que en todas las pruebas del estudio. Al finalizar, una fase de vuelta a la calma al 40% del VO_{2max} , hasta que los sujetos desciendan las pulsaciones hasta el 50% de la FC de entrenamiento en función de Karvonen y Vuorimaa (1988). Esta prueba se utilizaba a modo de entrenamiento, como intervención, pero también se llevaba a cabo el control del RQ y de la actividad eléctrica del corazón como en las anteriores pruebas con el analizador de gases MasterScreen CPX,(CareFusion, 97204 Hoechberg, Germany). La práctica de esta prueba tuvo lugar durante la semana 2 y 3, a función de 3 días por semana, separadas por 48 horas, y los mismos días y misma hora.

Metodología para el cálculo de sustratos energéticos utilizados.

Oxidación de carbohidratos:

- Ecuación propuesta para intensidad de ejercicio moderada-alta (50-75% VO_{2max}): $4,210 \cdot VCO_2 - 2,962 \cdot VO_2 - 2,37 \cdot n$. (Jeukendrup y Wallis, 2005).
- Ecuación propuesta para intensidad de ejercicio baja (40-50% VO_{2max}): $4,344 \cdot VCO_2 - 3,061 \cdot VO_2 - 2,37 \cdot n$. (Jeukendrup y Wallis, 2005).
- $4,55 \cdot VCO_2 - 3,21 \cdot VO_2 - 2,87 \cdot n$ (suponiendo aporte proteico) (Ferrannini, 1988).
- $4,585 \cdot VCO_2 - 3,226 \cdot VO_2$. (Péronnet y Massicotte, 1991).
- $4,55 \cdot VCO_2 - 3,21 \cdot VO_2 - 2,87 \cdot n$. (Frayn, 1983).

Oxidación de grasas:

- Ecuación propuesta (para todas las intensidades de ejercicio). $1,695 \cdot \text{VO}_2 - 1,701 \cdot \text{VCO}_2 - 1,77 \cdot n$. (Jeukendrup y Wallis, 2005).
- $1,67 \cdot \text{VO}_2 - 1,67 \cdot \text{VCO}_2 - 1,92 \cdot n$ (suponiendo aporte proteico). (Ferrannini, 1988).
- $1,695 \cdot \text{VO}_2 - 1,701 \cdot \text{VCO}_2$. (Péronnet y Massicotte, 1991).
- $1,67 \cdot \text{VO}_2 - 1,67 \cdot \text{VCO}_2 - 1,92 \cdot n$. (Frayn, 1983).

Metodología para el cálculo de calorías consumidas en prueba de metabolismo basal en reposo.

$((3,941 \cdot \text{VO}_2) + (1,106 \cdot \text{VCO}_2)) \cdot 1440$. (Weir, 1949).

Metodología para el cálculo del porcentaje de grasas e hidratos de carbono consumidos en la prueba de metabolismo basal en reposo.

Usando la tabla de relación de RER con tasa de oxidación de grasas e hidratos de carbono de Plowman y Smith (2007).

Estadística

Los datos obtenidos fueron analizados a través del software SPSS (versión 23). Tras el análisis de los datos conseguidos, se obtuvieron las medias y desviación para cada valor.

En la prueba de antropometría las variables medidas fueron el peso corporal (kg) y la masa grasa (%). El sistema estadístico utilizado, fue la prueba t. de Student para muestras relacionadas. Se fijó que había diferencias significativas si $p < 0,05$. Se comparó los valores pre-post entrenamiento.

En la prueba incremental las variables medidas fueron: consumo máximo de oxígeno ($\text{VO}_{2\text{max}}$), potencia aeróbica máxima (PAM); potencia aeróbica máxima relativa (W/kg); consumo de oxígeno en el umbral ventilatorio 2 ($\text{VO}_2 \text{VT}_2$); watos (W) alcanzados en el umbral ventilatorio 2; porcentaje de consumo de oxígeno alcanzado en el umbral ventilatorio 2 ($\% \text{VO}_{2\text{max}}$); hidratos de carbono consumidos en la intensidad del umbral ventilatorio 2 (HDC VT_2); y los mismos valores para el umbral ventilatorio 1, añadiendo el nivel de grasas consumido en la intensidad del umbral ventilatorio 1 (grasas VT_1). El sistema estadístico utilizado, fue la prueba t. de Student para muestras relacionadas. Se fijó que había diferencias significativas si $p < 0,05$. Se comparó los valores pre-post entrenamiento.

En la prueba de FatMax, las variables medidas fueron: valores para los hidratos consumidos durante la prueba (g/min); las grasas consumidas durante la prueba (g/min) y el porcentaje del $\text{VO}_{2\text{max}}$ respecto al máximo que suponía su intensidad de FatMax ($\% \text{VO}_{2\text{max}}$). El sistema estadístico utilizado, fue la prueba t de Student para muestras relacionadas. Se fijó que había diferencias significativas si $p < 0,05$. Se comparó los valores pre-post entrenamiento.

En la prueba de metabolismo basal en reposo las variables medidas fueron: la media de los hidratos de carbono (g/min) oxidados durante la prueba; la media de las grasas (g/min) oxidadas durante la prueba; la media de las calorías que consume la persona en reposo (kcal/24 h); y el cociente respiratorio (RER) medio de la prueba. El sistema estadístico utilizado, fue la prueba t de Student para muestras relacionadas. Se fijó que había diferencias significativas si $p < 0,05$. Se comparó los valores pre-post entrenamiento y los de cada una de las pruebas de la intervención entre sí.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Achten, J., & Jeukendrup, A. E. (2003). Maximal fat oxidation during exercise in trained men. *International Journal of Sports Medicine*, 24(08), 603-608.
2. Achten, J., Gleeson, M., & Jeukendrup, A. E. (2002). Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(1), 92-97.
3. Achten, J., Venables, M. C., & Jeukendrup, A. E. (2003). Fat oxidation rates are higher during running compared with cycling over a wide range of intensities. *Metabolism*, 52(6), 747-752.
4. American College of Sports Medicine. (1978). Position statement on the recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining fitness in healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 10(3).
5. American College of Sports Medicine. (1998). The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30: 975-991.
6. American College of Sports Medicine., Thompson, W. R., Gordon, N. F., & Pescatello, L. S. (2010). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
7. American College of Sports Medicine. (2011). ACMS issues new recommendations on quantity and quality of exercise. Obtenido de <http://www.acsm.org/about-acsm/media-room/news-releases/2011/08/01/acsm-issues-new-recommendations-on-quantity-and-quality-of-exercise>.
8. Aranceta-Bartrina, J., Pérez-Rodrigo, C., Alberdi-Aresti, G., Ramos-Carrera, N., & Lázaro-Masedo, S. (2016). Prevalencia de obesidad general y obesidad abdominal en la población adulta española (25-64 años) 2014-2015: estudio ENPE. *Revista Española de Cardiología*, 69(6), 579-587.
9. Bacon, A. P., Carter, R. E., Ogle, E. A., & Joyner, M. J. (2013). VO 2 max trainability and high intensity interval training in humans: a meta-analysis. *PloS One*, 8(9), e73182.
10. Ballor, D. L., & Keeseey, R. E. (1991). A meta-analysis of the factors affecting exercise-induced changes in body mass, fat mass and fat-free mass in males and females. *International Journal of Obesity*. 15:717-726, 1991.
11. Bayego, E. S., Vila, G. S., & Martínez, I. S. (2012). Prescripción de ejercicio físico: indicaciones, posología y efectos adversos. *Medicina clínica*, 138(1), 18-24.
12. Becerro, M., & Esteban, B. (2001). Sobrepeso y Obesidad, Problemas y Soluciones. *Archivos de Medicina del Deporte*, 18(82), 151-163.
13. Benito Peinado, P.J. (2013). High Intensity Interval Training (HIIT) y su aplicación a la pérdida de peso. *Gym Factory Magazine Entrenadores*, 53.

14. Bloomgarden, Z. T. (2000). Obesity and diabetes. *Diabetes Care*, 23(10), 1584-1590.
15. Børsheim, E., & Bahr, R. (2003). Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. *Sports Medicine*, 33(14), 1037-1060.
16. Boudou, P., Sobngwi, E., Mauvais-Jarvis, F., Vexiau, P., & 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.
17. Boutcher, S. H. (2010). High-intensity intermittent exercise and fat loss. *Journal of Obesity*, 2011.
18. Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. *Sports Medicine*, 43(5), 313-338.
19. Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. Part II: anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. *Sports Medicine* (Auckland, NZ), 43(10), 927.
20. Burgomaster, K. A., Cermak, N. M., Phillips, S. M., Benton, C. R., Bonen, A., & Gibala, M. J. (2007). Divergent response of metabolite transport proteins in human skeletal muscle after sprint interval training and detraining. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 292(5), R1970-R1976.
21. Burgomaster, K. A., Heigenhauser, G. J., & 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.
22. Calle, E. E., & Thun, M. J. (2004). Obesity and cancer. *Oncogene*, 23(38), 6365-6378.
23. Chicharro, J.L (2014). Interval Training. Recuperado el 3 de marzo de <http://jlchicharro.blogspot.com.es/>
24. Chipkin, S. R., Klugh, S. A., & Chasan-Taber, L. (2001). Exercise and diabetes. *Cardiology Clinics*, 19(3), 489-505.
25. Coneix, C. A. F. E., Blanquerna-Empresa, J. C., Blanquerna, J. E., NTC, N. T. C., d'Esports, M., Caballé, I. J., ... & Capilla, J. HIIT vs MIT en el tratamiento de la obesidad.
26. Costigan, S. A., Eather, N., Plotnikoff, R. C., Taaffe, D. R., & Lubans, D. R. (2015). High-intensity interval training for improving health-related fitness in adolescents: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, bjsports-2014.
27. Despres, J., Pouliot, M. C., Moorjani, S. I. T. A. L., Nadeau, A., Tremblay, A., Lupien, P. J., ... & Bouchard, C. (1991). Loss of abdominal fat and metabolic response to exercise training in obese women. *American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism*, 261(2), E159-E167.

28. Ferrannini, E. (1988). The theoretical bases of indirect calorimetry: a review. *Metabolism*, 37(3), 287-301.
29. Fisher, G., Brown, A. W., Brown, M. M. B., Alcorn, A., Noles, C., Winwood, L., ... & Allison, D. B. (2015). High intensity interval-vs moderate intensity-training for improving cardiometabolic health in overweight or obese males: a randomized controlled trial. *PloS One*, 10(10), e0138853.
30. Fletcher, G. F., Balady, G. J., Amsterdam, E. A., Chaitman, B., Eckel, R., Fleg, J., ... & Simons-Morton, D. A. (2001). Exercise standards for testing and training. *Circulation*, 104(14), 1694-1740.
31. Francois, M. E., & Little, J. P. (2015). Effectiveness and safety of high-intensity interval training in patients with type 2 diabetes. *Diabetes Spectrum*, 28(1), 39-44.
32. Frayn, K. N. (1983). Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *Journal of Applied Physiology*, 55(2), 628-634.
33. Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., ... & Swain, D. P. (2011). American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(7), 1334-1359.
34. Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., ... & Swain, D. P. (2011). Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(7), 1334-1359.
35. García-Hermoso, A., Cerrillo-Urbina, A. J., Herrera-Valenzuela, T., Cristi-Montero, C., Saavedra, J. M., & Martínez-Vizcaíno, V. (2016). Is high-intensity interval training more effective on improving cardiometabolic risk and aerobic capacity than other forms of exercise in overweight and obese youth? A meta-analysis. *Obesity Reviews*.
36. Gibala, M. J., & McGee, S. L. (2008). Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain?. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 36(2), 58-63.
37. Gibala, M. J., Little, J. P., Van Essen, M., Wilkin, G. P., Burgomaster, K. A., Safdar, A., ... & Tarnopolsky, M. A. (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *The Journal of Physiology*, 575(3), 901-911.
38. Gillen, J. B., & Gibala, M. J. (2013). Is high-intensity interval training a time-efficient exercise strategy to improve health and fitness?. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(3), 409-412.

39. Hazell, T. J., Olver, T. D., Hamilton, C. D., & Lemon, P. W. (2012). Two minutes of sprint-interval exercise elicits 24-hr oxygen consumption similar to that of 30 min of continuous endurance exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 22(4), 276-283.
40. Hu, G., Qiao, Q., Silventoinen, K., Eriksson, J. G., Jousilahti, P., Lindström, J., ... & Tuomilehto, J. (2003). Occupational, commuting, and leisure-time physical activity in relation to risk for type 2 diabetes in middle-aged Finnish men and women. *Diabetologia*, 46(3), 322-329.
41. Jelleyman, C., Yates, T., O'Donovan, G., Gray, L. J., King, J. A., Khunti, K., & Davies, M. J. (2015). The effects of high-intensity interval training on glucose regulation and insulin resistance: a meta-analysis. *Obesity Reviews*, 16(11), 942-961.
42. Jeukendrup, A. E., & Wallis, G. A. (2005). Measurement of substrate oxidation during exercise by means of gas exchange measurements. *International Journal of Sports Medicine*, 26(S 1), S28-S37.
43. Karvonen, J., & Vuorimaa, T. (1988). Heart rate and exercise intensity during sports activities. *Sports Medicine*, 5(5), 303-311.
44. Keating, S. E., Johnson, N. A., Mielke, G. I., & Coombes, J. S. (2017). A systematic review and meta-analysis of interval training versus moderate-intensity continuous training on body adiposity. *Obesity Reviews*.
45. Keating, S. E., Machan, E. A., O'Connor, H. T., Gerofi, J. A., Sainsbury, A., Caterson, I. D., & Johnson, N. A. (2014). Continuous exercise but not high intensity interval training improves fat distribution in overweight adults. *Journal of Obesity*, 2014.
46. Kessler, H. S., Sisson, S. B., & Short, K. R. (2012). The potential for high-intensity interval training to reduce cardiometabolic disease risk. *Sports Medicine*, 42(6), 489-509.
47. Kravitz, L. (2014). Metabolic effects of HIIT. *IDEA Fitness Journal*, 11(5), 16-18.
48. Laforgia, J., Withers, R. T., & Gore, C. J. (2006). Effects of exercise intensity and duration on the excess post-exercise oxygen consumption. *Journal of Sports Sciences*, 24(12), 1247-1264.
49. LaMonte MJ, Barlow CE, Jurca R, Kampert JB, Church TS, Blair SN. Cardiorespiratory fitness is inversely associated with the incidence of metabolic syndrome: a prospective study of men and women. *Circulation*. 2005;112:505–12
50. Larsen, S., Danielsen, J. H., Søndergård, S. D., Sjøgaard, D., Vigelsø, A., Dybbøe, R., ... & Helge, J. W. (2015). The effect of high-intensity training on mitochondrial fat oxidation in skeletal muscle and subcutaneous adipose tissue. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 25(1), e59-e69.

51. Lavie, C. J., Milani, R. V., & Ventura, H. O. (2009). Obesity and cardiovascular disease. *Journal of the American College of Cardiology*, 53(21), 1925-1932.
52. Lee IM, Rexrode KM, Cook NR, Manson JE, Buring JE. Physical activity and coronary heart disease in women: is "no pain, no gain" passe? *JAMA*. 2001;285(11):1447-54.
53. Leong, K. S., & Wilding, J. P. (1999). Obesity and diabetes. *Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism*, 13(2), 221-237.
54. Liou, K., Ho, S., Fildes, J., & Ooi, S. Y. (2016). High intensity interval versus moderate intensity continuous training in patients with coronary artery disease: a meta-analysis of physiological and clinical parameters. *Heart, Lung and Circulation*, 25(2), 166-174.
55. Little, J. P., Safdar, A., Wilkin, G. P., Tarnopolsky, M. A., & Gibala, M. J. (2010). A practical model of low-volume high-intensity interval training induces mitochondrial biogenesis in human skeletal muscle: potential mechanisms. *The Journal of Physiology*, 588(6), 1011-1022.
56. Lopategui Corsino, E. (2013). Prescripción de ejercicio-delineamientos más recientes: American College of Sports Medicine (ACSM)-2014. *Saludmed.com: Ciencias del Movimiento Humano y de la Salud*.
57. Luque, G. T., García-Martos, M., Gutiérrez, C. V., & Vallejo, N. G. (2010). Papel del ejercicio físico en la prevención y tratamiento de la obesidad en adultos. *Retos Nuevas Tendencias En Educ Física Deporte Recreación*, 18, 47-51.
58. Madoni, S. N., Godoy, C. L. C., Machado, R. S. P., & Costa, P. B. Effects of Moderate Versus High Intensity Interval Training on Exercise and Post-Exercise Caloric Expenditure.
59. Manson, J. E., Greenland, P., LaCroix, A. Z., Stefanick, M. L., Mouton, C. P., Oberman, A., ... & Siscovick, D. S. (2002). Walking compared with vigorous exercise for the prevention of cardiovascular events in women. *New England Journal of Medicine*, 347(10), 716-725.
60. Marchante, D, D.(2015). Power Explosive. Entrenamiento Eficiente. Explota tus límites. Luhu Alcoi S.L
61. Mark, A. L., Correia, M., Morgan, D. A., Shaffer, R. A., & Haynes, W. G. (1999). Obesity-induced hypertension. *Hypertension*, 33(1), 537-541.
62. Martínez, E. (2010). El ejercicio la mejor alternativa para el obeso. *Educación Física y Deporte*, 6(2-3), 31-36.
63. Moholdt, T. T., Amundsen, B. H., Rustad, L. A., Wahba, A., Løvø, K. T., Gullikstad, L. R., ... & Slørdahl, S. A. (2009). Aerobic interval training versus continuous moderate exercise after coronary artery bypass surgery: a randomized study of cardiovascular effects and quality of life. *American Heart Journal*, 158(6), 1031-1037.
64. Moreno, G. M. (2012). Definición y clasificación de la obesidad. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 23(2), 124-128.

65. Myers, J. (2003). Exercise and cardiovascular health. *Circulation*, 107(1), e2-e5.
66. Nybo, L., Sundstrup, E., Jakobsen, M. D., Mohr, M., Hornstrup, T., Simonsen, L., ... & Krstrup, P. (2010). High-intensity training versus traditional exercise interventions for promoting health. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(10), 1951-8.
67. Obesidad, O. M. S. sobrepeso. Nota descriptiva N 311; Junio de 2016.
68. O'Donovan, G., Owen, A., Bird, S. R., Kearney, E. M., Nevill, A. M., Jones, D. W., & Woolf-May, K. (2005). Changes in cardiorespiratory fitness and coronary heart disease risk factors following 24 wk of moderate-or high-intensity exercise of equal energy cost. *Journal of Applied Physiology*, 98(5), 1619-1625.
69. Paterson, D. H., & Warburton, D. E. (2010). Physical activity and functional limitations in older adults: a systematic review related to Canada's Physical Activity Guidelines. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 7(1), 38.
70. Peronnet, F., & Massicotte, D. (1991). Table of nonprotein respiratory quotient: an update. *Canadian Journal of Sport Sciences*, 16(1), 23-29.
71. Perry, C. G., Heigenhauser, G. J., Bonen, A., & Spriet, L. L. (2008). High-intensity aerobic interval training increases fat and carbohydrate metabolic capacities in human skeletal muscle. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 33(6), 1112-1123.
72. Plowman, S. A., & Smith, D. L. (2013). Exercise physiology for health fitness and performance. Lippincott Williams & Wilkins.
73. Plowman, S., & Smith, D. (2007). *Exercise Physiology for Health, Fitness, and Performance*. Lippincott Williams & Wilkins.
74. Rahmouni, K., Correia, M. L., Haynes, W. G., & Mark, A. L. (2005). Obesity-associated hypertension. *Hypertension*, 45(1), 9-14.
75. Ramos, J. S., Dalleck, L. C., Tjonna, A. E., Beetham, K. S., & Coombes, J. S. (2015). The impact of high-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training on vascular function: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 45(5), 679-692.
76. Rodríguez-Rodríguez, E., López-Plaza, B., López-Sobaler, A., & Ortega, R. (2011). Prevalencia de sobrepeso y obesidad en adultos españoles. *Nutrición Hospitalaria*, 26(2), 355-363.
77. Romijn, J. A., Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Rosenblatt, J., & Wolfe, R. R. (2000). Substrate metabolism during different exercise intensities in endurance-trained women. *Journal of Applied Physiology*, 88(5), 1707-1714.
78. Sánchez-Cruz, J. J., Jiménez-Moleón, J. J., Fernández-Quesada, F., & Sánchez, M. J. (2013). Prevalencia de obesidad infantil y juvenil en España en 2012. *Revista Española de Cardiología*, 66(5), 371-376.
79. Sesso HD, Paffenbarger RS Jr, Lee IM. Physical activity and coronary heart disease in men: the Harvard Alumni Health Study. *Circulation*. 2000;102(9):975-80.

80. Shaban, N., Kenno, K. A., & Milne, K. J. (2014). The effects of a 2 week modified high intensity interval training program on the homeostatic model of insulin resistance (HOMA-IR) in adults with type 2 diabetes. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 54(2), 203-209.
81. Slentz, C. A., Duscha, B. D., Johnson, J. L., Ketchum, K., Aiken, L. B., Samsa, G. P., ... & Kraus, W. E. (2004). Effects of the amount of exercise on body weight, body composition, and measures of central obesity: STRRIDE—a randomized controlled study. *Archives of internal medicine*, 164(1), 31-39.
82. Swain, D. P., & Franklin, B. A. (2006). Comparison of cardioprotective benefits of vigorous versus moderate intensity aerobic exercise. *The American Journal of Cardiology*, 97(1), 141-147.
83. Talanian, J. L., Galloway, S. D., Heigenhauser, G. J., Bonen, A., & 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.
84. Thomas, T. R., Warner, S. O., Dellsperger, K. C., Hinton, P. S., Whaley-Connell, A. T., Rector, R. S., ... & Huyette, D. R. (2010). Exercise and the metabolic syndrome with weight regain. *Journal of Applied Physiology*, 109(1), 3-10.
85. Tjønnå, A. E., Lee, S. J., Rognmo, Ø., Stølen, T. O., Bye, A., Haram, P. M., ... & Kemi, O. J. (2008). Aerobic interval training versus continuous moderate exercise as a treatment for the metabolic syndrome. *Circulation*, 118(4), 346-354.
86. Trapp, E. G., Chisholm, D. J., Freund, J., & 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.
87. Tremblay, A., Simoneau, J. A., & Bouchard, C. (1994). Impact of exercise intensity on body fatness and skeletal muscle metabolism. *Metabolism*, 43(7), 814-818.
88. Valenzuela, A. V., López, M. G., González, J. G., Juan, F. R., & Montes, M. E. G. (2007). ¿ Por qué no se realiza actividad físico-deportiva en el tiempo libre?: motivos y correlatos sociodemográficos. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, (12), 13-17.
89. Warburton, D. E., Nicol, C. W., & Bredin, S. S. (2006). Health benefits of physical activity: the evidence. *Canadian Medical Association Journal*, 174(6), 801-809.
90. Weir, J. D. V. (1949). New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *The Journal of physiology*, 109(1-2), 1.
91. Weston, K. S., Wisløff, U., & Coombes, J. S. (2014). High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: a

- systematic review and meta-analysis. *British journal of sports medicine*, 48(16), 1227-1234.
92. Whyte, L. J., Gill, J. M., & Cathcart, A. J. (2010). Effect of 2 weeks of sprint interval training on health-related outcomes in sedentary overweight/obese men. *Metabolism*, 59(10), 1421-1428.
 93. World Health Organization. (2010). Recomendaciones mundiales sobre actividad física para la salud.
 94. World Health Organization. (2012). Obesidad y sobrepeso. Nota descriptiva N 311. Marzo de 2011.

