



TRABAJO FIN DE GRADO

CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL DEPORTE

OBESIDAD Y ENTRENAMIENTO DE ALTA INTENSIDAD: PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Inés Picó Sirvent

María Inés Picó Sirvent

DIRECTORES

Manuel Moya Ramón

Facultad de Ciencias Sociosanitarias

Elche, junio de 2016

INDICE

1. CONTEXTUALIZACIÓN.	3
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.	4
3. MATERIAL Y MÉTODOS.	6
3.1. PARTICIPANTES.	6
3.2. DISEÑO DEL ESTUDIO.	7
3.3. PROTOCOLO DE VALORACIÓN.	8
3.3.1. <i>MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS.</i>	8
3.3.2. <i>PARAMETROS CARDIOMETABÓLICOS Y METABOLISMO BASAL EN REPOSO.</i>	8
3.3.3. <i>VALORACIÓN DEL FITNESS AERÓBICO.</i>	8
3.3.4. <i>PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO.</i>	9
3.3.5. <i>INTERVENCIÓN DIETÉTICA.</i>	10
3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	10
4. CONCLUSIONES.	11
5. REFERENCIAS.	12
6. ANEXOS.	16

1. CONTEXTUALIZACIÓN.

La prevalencia de obesidad ha incrementado en todo el mundo casi en la misma medida tanto en niños como en adultos, y este aumento se asocia con un incremento de la morbilidad y la mortalidad, reconocido como una de las principales causas de muerte en los EE.UU. (Allison, Fontaine, Manson, Stevens & Vanltallie, 1999). En la Unión Europea, aproximadamente un mínimo de 279.000 muertes anuales son atribuibles al exceso de peso, alrededor de dos tercios derivadas de la obesidad y un tercio del sobrepeso (Banegas, López-García, Gutiérrez-Fisac, Guallar-Castillón & Rodríguez-Artalejo, 2003), datos que evidencian la gravedad en cuanto a la carga de muertes relacionadas con la obesidad en el continente. Además, el incremento epidémico en la tasa de obesidad y las enfermedades relacionadas con la obesidad que ha tenido lugar en el último medio siglo a nivel mundial, también se ha visto relacionado con un aumento en la variedad de intervenciones terapéuticas para hacer frente a esta epidemia (Clark, 2015). Todo ello hace que esta información sea importante para cualquier estrategia de salud pública destinada a reducir la carga de mortalidad atribuible a esta causa potencialmente evitable.

La Organización Mundial de la Salud define la obesidad como una acumulación anormal o excesiva de grasa que puede ser perjudicial para la salud, y asume su determinación cuando el individuo presenta un Índice de Masa Corporal (IMC) igual o superior a 30 (kg/m²) (OMS, 2015). El estado de obesidad viene determinado por varias manifestaciones patológicas que desencadenan finalmente en mayor formación de tejido adiposo o graso. Por un lado, la obesidad visceral está vinculada a la resistencia a la insulina, precursor del estado de diabetes mellitus tipo II, y los factores genéticos y ambientales, como la dieta desequilibrada o la inactividad física, se sabe que están implicados en su fisiopatología. Además, el músculo esquelético es el tejido responsable de almacenar glucosa en glucógeno muscular, y del consiguiente balance energético resultante de la diferencia entre el gasto calórico de la dieta y el relacionado con los niveles de actividad física o ejercicio. Se ha investigado que un balance energético positivo (ingesta calórica elevada y gasto energético relacionado con el nivel de actividad física reducido) afecta a individuos obesos y pacientes con diabetes mellitus tipo II provocando el deterioro de la capacidad de oxidación de lípidos derivado de mayor resistencia a la insulina (Sartor et al. 2010), particularmente en individuos con obesidad tipo III [índice de masa corporal (IMC): > 40] (Lanzi et al. 2015). Así pues, se trata de una patología asociada a un incremento en el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares, hipertensión, enfermedad arterial coronaria, insuficiencia cardíaca, accidente cerebro-vascular y muerte (Oga & Eseyin, 2016), además de presentar relación con el riesgo de desarrollar diabetes mellitus tipo II y ciertos tipos de cáncer relacionados con un estado de hiperglucemia, tales como cáncer de endometrio, gástrico y colorrectal (García-Jiménez et al. 2016).

Por todo lo anterior, existe necesidad de intervenir con el objetivo de reducir tanto la prevalencia de la obesidad como el riesgo derivado de padecer enfermedades y mejorar así la calidad de vida de los individuos. Lo más notable entre las intervenciones realizadas sobre esta población son los numerosos protocolos que se intentan llevar a cabo con el fin de cambiar la composición corporal, frecuentemente a través de reducir la masa total, o comúnmente conocido como pérdida de peso. En esta línea, como resultado se ha obtenido un mayor número absoluto de adultos que se ven involucrados en comportamientos relacionados con la realización de ejercicio general y actividad física, además del seguimiento de una dieta hipocalórica (Sartor et al. 2010), todo ello con el fin de reducir la masa corporal, la obesidad y las distintas enfermedades derivadas.

La actividad física se recomienda como componente de control de peso para la prevención del aumento de peso, para la pérdida de peso y para la prevención de la recuperación de peso después de la pérdida de peso (Donnelly et al. 2009). El HIIT es un tipo de entrenamiento útil para aumentar adicionalmente la capacidad aeróbica y la masa

muscular, sin embargo existe una tendencia que expone la idea de que el HIIT precisa su combinación con una dieta baja en carbohidratos para mejorar la oxidación de grasas y la sensibilidad a la insulina (Westman et al. 2007). Otras aportaciones que se han asociado al HIIT son el aumento de la capacidad oxidativa (Morton et al. 2009) y de la sensibilidad a la insulina (Babraj et al. 2009), además de mejorar la respuesta antiinflamatoria por descenso de los receptores de reconocimiento TLR2 y TLR4, asociados a un grupo de riesgos cardiometabólicos que incluyen la resistencia a la insulina, la diabetes mellitus tipo II y la aterosclerosis (Robinson et al. 2015).

A pesar de todo lo expuesto, existe escasez de conocimiento sobre los efectos independientes del HIIT sobre la composición corporal en relación con los efectos conocidos del entrenamiento aeróbico continuo y tradicional, al igual que ocurre con el tipo e intensidad del ejercicio físico para producir impacto antiinflamatorio (Leggate et al. 2011). Los beneficios sobre la condición física obtenidos por esta metodología son similares a los del entrenamiento aeróbico continuo (Little, Jung, Wright, Wright & Manders, 2014; Robinson et al. 2015; Lanzi et al. 2015; Fisher et al. 2015), destacando del HIIT su eficiencia temporal al permitir obtener mejoras en poco tiempo tales como aumento del fitness cardiorrespiratorio y la capacidad de trabajo, incremento de la biogénesis mitocondrial muscular y niveles de GLUT-4, y la mejora de la sensibilidad a la insulina (Keating et al. 2014). A pesar de ello, existe controversia sobre los efectos del HIIT aplicado a una población de estas características en concreto, puesto que se alega por un lado que no confiere los mismos beneficios sobre los niveles de grasa corporal que el entrenamiento continuo (Keating et al. 2014) y, por otro lado, que aumenta la oxidación de grasas cuando se trabaja tanto a intensidades de máxima oxidación de grasas, conocido como Fatmax o bajas intensidades, como a altas intensidades (Lanzi et al. 2015). En resumen, estas afirmaciones enfrentan dos ideas: que el HIIT es menos eficiente que el entrenamiento continuo de intensidad moderada (MICT) y que es igualmente útil para mejorar el porcentaje de grasa corporal que el entrenamiento a intensidades bajas o Fatmax.

Tras revisar la bibliografía actual se observa que la tendencia de investigación que está en auge es cómo afecta el entrenamiento intermitente de alta intensidad o HIIT, en comparación con el entrenamiento aeróbico y continuo tradicional, sobre la mejora de la condición física de los individuos con sobrepeso, obesidad y/o diabetes mellitus tipo II.

El objetivo de este trabajo es realizar una revisión sistemática de la literatura científica actual y plantear una propuesta de intervención cuyo objetivo sea identificar y describir correctamente los efectos que el entrenamiento intermitente de alta intensidad o HIIT tiene sobre la población con obesidad para obtener evidencias que permitan posteriores intervenciones.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

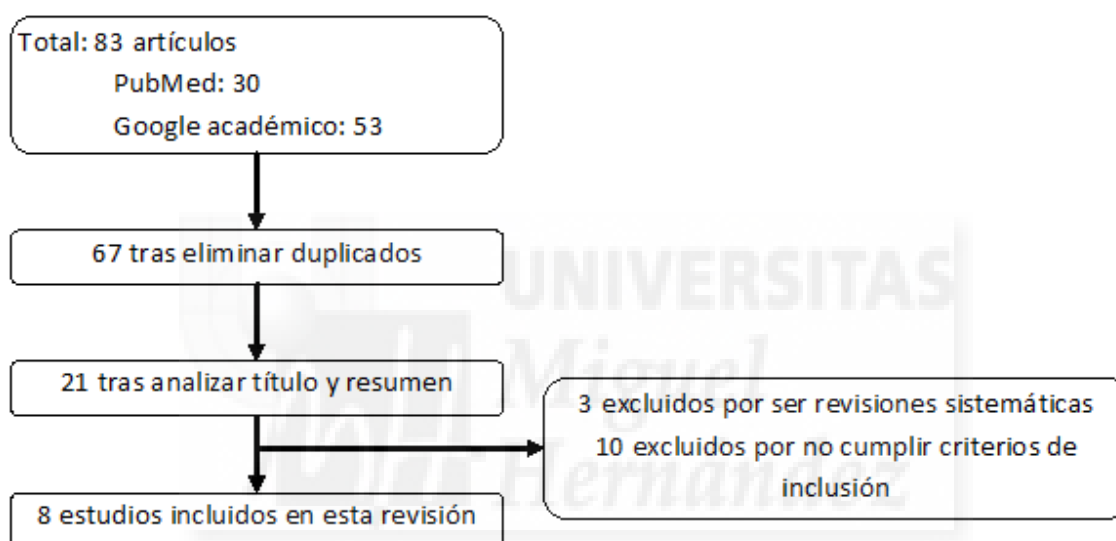
Para el planteamiento de la propuesta de intervención que se presenta en el siguiente apartado de este documento, se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura actual siguiendo las directrices de la guía PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systemic Reviews and Meta-analyses*) (Urrútia & Bonfill, 2010). Para ello, se realizó la búsqueda de publicaciones en las bases de datos electrónicas PubMed (desde 2010 hasta el presente) y Google académico. Las combinaciones de términos utilizadas en ambas bases de datos fueron [High intensity interval training AND obesity] y [HIIT vs (Moderate Intensity Training OR Continuous Training) AND obesity]. La última búsqueda electrónica se realizó el 27 de febrero de 2016. Además, las referencias citadas en los artículos encontrados también fueron revisadas para localizar más estudios válidos para la materia a revisar.

A continuación, de entre toda la lista de títulos y resúmenes encontrada durante el procedimiento de búsqueda bibliográfica, se realizó un análisis minucioso para seleccionar artículos que cumplieran los siguientes criterios de inclusión: a) Publicación actual, no inferior

al año 2010, b) individuos con sobrepeso u obesidad ($IMC \geq 25.5 \text{ Kg/m}^2$), c) duración mínima del periodo de intervención de 2 semanas, y d) aplicación del HIIT como protocolo experimental comparado con el entrenamiento continuo o de intensidad moderada.

Así pues, los diferentes pasos de la búsqueda electrónica se resumen en la figura 1. Se encontró un total de 83 artículos con los parámetros de búsqueda anteriormente indicados y, tras eliminar artículos que aparecían por duplicado, quedaron 67. Se leyeron el título y el resumen de forma detallada para eliminar todos aquellos relacionados con la aplicación del HIIT en modalidades deportivas hasta, finalmente, excluir de los 21 restantes 3 revisiones sistemáticas y 10 estudios por no cumplir criterios de inclusión relacionados con la fecha de publicación del artículo, el protocolo y la duración total de la intervención. De los 8 estudios que se tuvieron en cuenta para la realización de la revisión, 3 mantuvieron la dieta normal de los participantes, 3 realizaron intervención nutricional y 2 no especificaron información al respecto.

Figura 1. Diagrama de flujo de la estrategia de búsqueda de artículos.



Finalmente, los datos extraídos de la revisión fueron: características de la muestra (tamaño, IMC, sexo, edad, nivel de entrenamiento) (Tabla 1), protocolo de entrenamiento (volumen, intensidad, frecuencia de entrenamiento, duración de la intervención, tipo de entrenamiento), intervención nutricional (Tabla 2) y principales resultados (Tabla 3).

Tabla 1. Características de los participantes de los estudios incluidos en la revisión.

ARTÍCULO	MUESTRA (n)	IMC	SEXO	EDAD	NIVEL DE ENTRENAMIENTO
Whyte et al. 2010	10	31±3.7	H	18-40	Sedentarios
Racil et al. 2013	34	30.8±1.6	M	15.9±0.3	∅
Gillen et al. 2013	16	29±6	M	27±8	Sedentarios
Boyd et al. 2013	19	31.4±2.6	H	18-35	Sedentarios
Keating et al. 2014	38	25-29.9	Mixto	18-55	Sedentarios
Robinson et al. 2015	39	>24	Mixto	52±10	Sedentarios
Lanzy et al. 2015	19	≥35	H	∅	∅
Fisher et al. 2015	28	29.5±3.3	H	17-22	Sedentarios

H : hombre ; M : mujer ; ∅ : no especificado.

La información obtenida de los resultados, extraídos de los estudios considerados para el proceso de revisión, denota que todavía existe cierto desconocimiento sobre si la práctica de entrenamiento de alta intensidad en personas con sobrepeso u obesidad presenta ventajas con respecto a otros tipos de entrenamiento de corte continuo o de intensidad baja/moderada. Si bien la mayoría coinciden en que el HIIT mejora la condición física aeróbica en la misma medida que el MICT (Whyte, Gill & Cathcart, 2010; Boyd et al. 2013; Guillen, Percival, Ludzki, Tarnopolsky & Gibala, 2013; Racil et al. 2013; Robinson et al. 2015; Lanzi et al. 2015), algunos mostrando además cambios positivos en el contenido y actividad de enzimas glucolíticas y oxidativas como el aumento del contenido de GLUT4 en músculo (Whyte et al. 2010) o de la actividad de la β -hidroxiacil-CoA deshidrogenasa (White et al. 2010; Guillen et al. 2013), cabe cuestionarse si estas mejoras también se producen del mismo modo en población más joven, pues casi todos los estudios revisados han sido realizados con muestras de población adulta (Whyte et al. 2010; Boyd et al. 2013; Guillen et al. 2013; Robinson et al. 2015; Lanzi et al. 2015; Fisher et al. 2015) y ninguno ha comparado los efectos de un mismo protocolo de entrenamiento en función de variables como el sexo y la edad. Lo mismo ocurre con los resultados obtenidos acerca de la sensibilidad a la insulina, la concentración lipídica en sangre e incluso los efectos antiinflamatorios que se postula están asociados a este tipo de entrenamiento (Whyte et al. 2010; Boyd et al. 2013; Racil et al. 2013; Robinson et al. 2015; Lanzi et al. 2015; Fisher et al. 2015) pero que todavía no se conoce en qué medida el HIIT presenta mayores beneficios en comparación con el MICT sobre estas variables. Además, en todos los estudios revisados la duración total de la intervención no ha sido superior a 12 semanas, lo que plantea la cuestión de si los beneficios obtenidos con el HIIT a corto plazo podrían convertirse en adaptaciones crónicas al entrenamiento tras un amplio periodo de exposición a este tipo de trabajo.

Por ello, se expone una propuesta de intervención cuya hipótesis plantea si el entrenamiento de alta intensidad (HIIT), comparado con el MICT, mejora en la misma medida tanto en adolescentes como en adultos de ambos sexos la capacidad muscular oxidativa, la función aeróbica, la sensibilidad a la insulina y la concentración lipídica en sangre en individuos con sobrepeso u obesidad sometidos a un programa de entrenamiento controlado de 9 meses de duración.

3. MATERIAL Y MÉTODOS.

3.1. PARTICIPANTES.

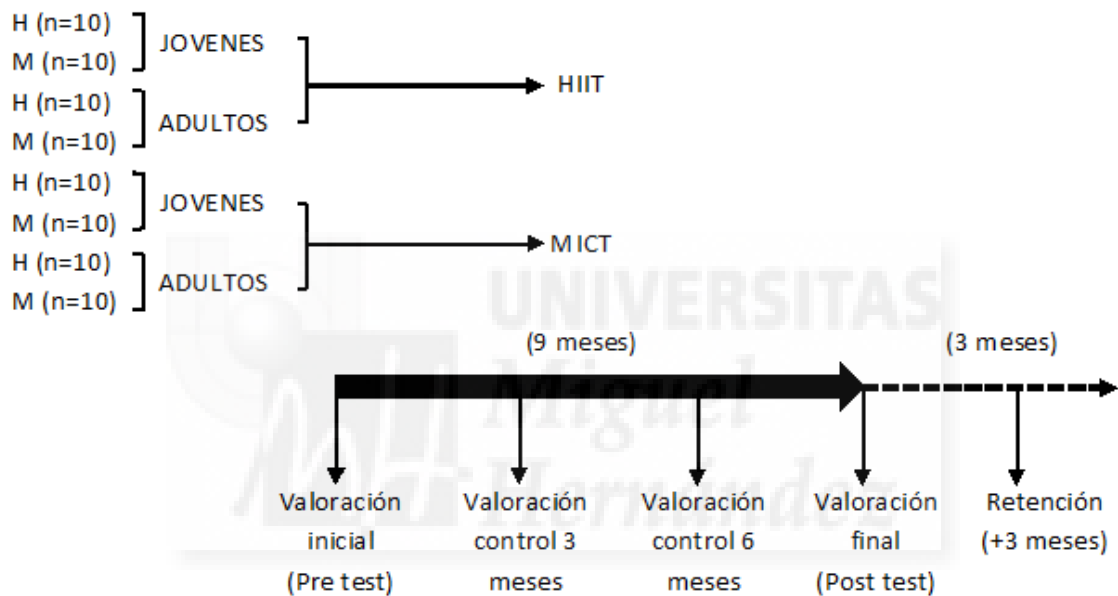
Se seleccionará una muestra de aproximadamente 80 participantes voluntarios de ambos sexos, con sobrepeso u obesidad y sedentarios. Todos los participantes deberán cumplir los criterios de inclusión que se detallan a continuación: a) tener 16-18 años para el grupo adolescente y entre 35-45 años para el grupo adulto, b) declarar no participar o haber participado en ningún programa estructurado de ejercicio físico (≤ 1 hora semanal de ejercicio estructurado supone cumplir la condición de sujetos inactivos), y c) tener un IMC ≥ 25.5 Kg/m² que determine sobrepeso u obesidad. Participantes con cardiopatías, movilidad reducida, enfermedad crónica, desorden endocrino, diabetes mellitus o alteración de la glucosa en ayunas (> 6.1 mmol*L⁻¹) que puedan dificultar el desarrollo óptimo de la intervención o alterar los resultados serán excluidos, así como sujetos fumadores o consumidores de drogas. La muestra se reclutará a través de los tablones de anuncios de los institutos y la universidad, boletines electrónicos y bases de datos de ensayos clínicos previos.

El estudio ha sido aprobado por el Organismo Evaluador de Proyectos de la Universidad Miguel Hernández de Elche. A todos los participantes adultos se les proporcionará consentimiento informado previamente al inicio de la intervención, así como a los padres o tutores legales en el caso de los participantes menores de edad.

3.2. DISEÑO DEL ESTUDIO.

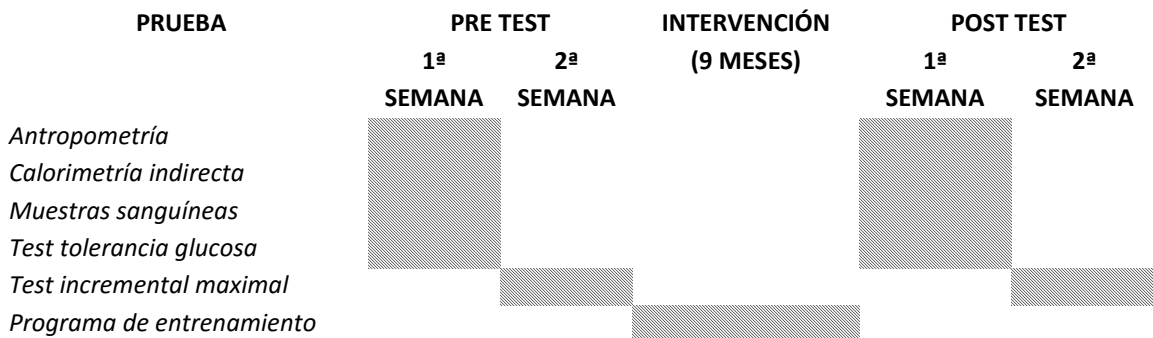
La presente propuesta de estudio longitudinal se llevará a cabo con una duración total de 9 meses consecutivos, con 8 grupos de intervención diferentes asignados aleatoriamente bajo criterios de edad (jóvenes y adultos), género (hombres y mujeres) y tipo de entrenamiento (HIIT o MICT). Los participantes se someterán a valoraciones iniciales de medidas antropométricas, VO₂pico, tasa de oxidación de grasas (FORs) e hidratos de carbono (CHO) en reposo, perfil lipídico en sangre, resistencia a la insulina y control de la glucemia. Posteriormente, serán aleatoriamente asignados al grupo HIIT o MICT para someterse a un programa de intervención de 9 meses de duración y valorados de nuevo tras su finalización. También se realizarán valoraciones de control o seguimiento cada 3 meses, y una última valoración a los 3 meses de finalizar la intervención para observar la retención de los resultados obtenidos en el post test. Así pues, todos los participantes serán sometidos a cinco valoraciones totales, y 9 meses de intervención con entrenamiento HIIT o MICT (Figura 2).

Figura 2. Diseño del protocolo de intervención.



Los participantes elegibles asistirán a cinco valoraciones básicas. La realización de las pruebas de valoración se repartirá en las dos semanas previas al inicio del programa de entrenamiento. La primera semana estará destinada a realizar análisis clínicos rutinarios que incluirán la toma de medidas antropométricas, la realización de una calorimetría indirecta, la toma de muestras sanguíneas para determinar el perfil lipídico sanguíneo y la aplicación de un test oral de tolerancia a la glucosa para valorar la presencia o ausencia de resistencia a la insulina o diabetes mellitus siguiendo las recomendaciones de la Federación Internacional de Diabetes. En cuanto a la segunda semana, se realizara el test incremental maximal en cicloergómetro para registrar valores de VO₂pico, FCpico y pico de potencia (Wpico) (Figura 3).

Figura 3. Cronograma del protocolo de valoración.



3.3. PROTOCOLO DE VALORACIÓN.

3.3.1. MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS.

Todas las medidas antropométricas serán tomadas de acuerdo con las Normas Internacionales de Evaluación Antropométrica (Marfell-Jones, Stewart & Ridder, 2012). La masa corporal (BM) se valorará lo más próxima de 0.1 kg con una báscula digital de bioimpedancia BC-420MA (TANITA UK LTD., Middlesex, Reino Unido), y la altura corporal lo más cercana a 0.1 cm sin zapatos, con los pies juntos y la espalda del sujeto paralela al estadiómetro. También se medirán la circunferencia de la cadera y la circunferencia de la cintura en centímetros con una cinta métrica no deformable, esta última entre el borde inferior de las costillas y el superior de la cresta ilíaca, al final de una espiración profunda. El porcentaje de grasa corporal (% BF) de cada participante se evaluará mediante análisis de bioimpedancia eléctrica (BIA) utilizando la misma báscula anterior.

3.3.2. PARÁMETROS CARDIOMETABÓLICOS Y METABOLISMO BASAL EN REPOSO.

La segunda visita al laboratorio se realizará tras aproximadamente 12 h de ayunas para tomar las medidas antropométricas y realizar una calorimetría indirecta para valorar el metabolismo basal en reposo y la oxidación de grasas e hidratos de carbono. Los sujetos permanecerán tumbados en posición decúbito supino durante 10 minutos antes de iniciar la medición del intercambio gaseoso pulmonar durante un periodo de 25 minutos usando un analizador de gases con módulo de electrocardiograma Master Screen CPX (Jaeger, Friedberg, Alemania). A la segunda visita también se acudirá en ayunas y se tomarán muestras sanguíneas para determinar los niveles de glucosa y el perfil lipídico en sangre (triglicéridos, ácidos grasos no estratificados, HDL y colesterol total). Mediante venipuntura, se extraerán 8 mL de sangre venosa de la vena antecubital y se almacenarán en dos tubos de separación de suero a temperatura de congelación para ser analizados tempranamente mediante métodos enzimáticos por un laboratorio acreditado, ciego en el objetivo del estudio. Posteriormente los participantes se someterán al test de tolerancia a la glucosa, en el que consumirán una bebida que contendrá 75 g de glucosa anhidra en 300 mL de agua y, en intervalos de 30 minutos, se irán tomando muestras sanguíneas durante 120 minutos totales. El tratamiento de las muestras sanguíneas recogidas será idéntico al anterior.

3.3.3. VALORACIÓN DEL FITNESS AERÓBICO.

La condición física cardiorrespiratoria y la capacidad de trabajo se valorarán con una prueba gradual incremental en cicloergómetro Technogym Bike Med (Technogym USA Corp., Seattle, EE.UU.) bajo la supervisión del cardiólogo del estudio. Cada participante pedaleará durante 4 minutos de calentamiento a 50 y 65 vatios para mujeres y hombres, respectivamente, intensidad que irá incrementándose 15 vatios cada 120 segundos hasta el agotamiento voluntario (modificado de Keating et al. 2014 y Robinson et al. 2015). El test se considerará finalizado cuando el participante presente incapacidad de mantener una cadencia >50 rpm o cese el ejercicio. Ningún participante podrá hablar durante la fase incremental de la prueba, pero se les animará verbalmente a seguir para alcanzar valores máximos en las variables de interés.

El consumo de oxígeno se medirá de manera continua mediante espirometría. Durante la prueba, se les colocará a los participantes una mascarilla de goma conectada a un analizador de gases (mismo modelo anterior) para medir el volumen respiratorio y el flujo. Este sensor presenta analizadores de CO₂ y O₂ que permiten medir la producción de CO₂ y el consumo de O₂ cada 20 milisegundos, para lo que deberá ser calibrado antes del inicio de la prueba. La calibración se realizará con una mezcla de gases analizados con precisión y el aire ambiente para abarcar el intervalo de concentración VCO₂/VO₂ o cociente respiratorio (RER) que se espera observar durante el ejercicio en cada fase. Se considerarán las variables VO₂pico y FCpico como los valores más altos registrados en la media de un periodo de 30 segundos

continuos durante el protocolo para cada variable, y el valor de W_{pico} como el más alto registrado durante todo el protocolo de valoración.

3.3.4. PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO.

El programa de entrenamiento comprende un periodo de 9 meses. Las sesiones para HIIT y MICT están diseñadas para calcular la carga en base a porcentajes sobre el VO_{2pico} obtenido en la prueba de esfuerzo aeróbica. El grupo HIIT en concreto iniciará la intervención con dos bloques de 6 intervalos de 30 segundos al 85-90% VO_{2pico} (correspondiente al ~85-90% FC_{pico}), intercalados con periodos de recuperación de 30 segundos al ~45% VO_{2pico} . El número de intervalos incrementará progresivamente hasta el sexto mes, a partir del momento en que se volverán a realizar dos bloques de 6 intervalos pero de 1 min a la misma intensidad anterior, manteniéndose este protocolo hasta el final del programa. El protocolo incluye 3 minutos de calentamiento y vuelta a la calma al 45% VO_{2pico} . Este protocolo HIIT ha sido modificado tras revisar la bibliografía actual y observar que estudios previos, con protocolos similares, indican mejoras en parámetros cardiometabólicos de los individuos con diabetes mellitus o riesgo de sufrir la enfermedad (Little et al. 2011; Little et al. 2014; Robinson et al. 2015), además de presentar mejoras en la sensibilidad a la insulina sobre adolescentes (Racil et al. 2013).

Los participantes aleatoriamente asignados al grupo MICT comenzarán el programa con 20 minutos de ejercicio continuo al 45% VO_{2pico} (correspondiente al ~60-65% FC_{pico}). Esta carga irá incrementándose gradualmente en el mismo porcentaje de incremento que la carga total estimada para una duración de 60 minutos los últimos meses de intervención (modificado de Robinson et al. 2015) (Tabla 4). A los participantes se les permitirá elegir donde completar las sesiones prescritas (cicloergómetro o ergómetro de brazos), siempre y cuando se cumplan las intensidades de entrenamiento.

Tabla 4. Datos del protocolo de ejercicio y del compromiso de tiempo semanal.

VARIABLE		GRUPO HIIT	GRUPO MICT
Protocolo	1 ^{er} Mes	2x(6x30s/30s); 1 min Recuperación	20 min
	2 ^o Mes	2x(8x30s/30s); 1 min Recuperación	30 min
	3 ^{er} -4 ^o Mes	2x(10x30s/30s); 1 min Recuperación	40 min
	5 ^o -6 ^o Mes	2x(12x30s/30s); 1 min Recuperación	50 min
	7 ^o -9 ^o Mes	2x(6x60s/60s); 1 min Recuperación	60 min
Frecuencia		3 Sesiones por Semana	5 Sesiones por Semana
Carga de trabajo (vatios)		Intervalo: 85% VO_{2pico} (correspondiente en W)	45% VO_{2pico} + ↑ Estimado (correspondiente en W)
		Recuperación: 35±10% VO_{2pico} (correspondiente en W)	
FC (ppm)		Intervalo: 85-90% FC_{pico}	60 – 65% FC_{pico}
		Recuperación: 65±5% FC_{pico}	
Tiempo de entrenamiento semanal	1 ^{er} Mes	36 min	100 min
	2 ^o Mes	48 min	150 min
	3 ^{er} -4 ^o Mes	60 min	200 min
	5 ^o -6 ^o Mes	72 min	250 min
	7 ^o -9 ^o Mes	72 min	300 min

HIIT: entrenamiento interválico de alta intensidad; MICT: entrenamiento continuo de intensidad moderada; s: segundos; min: minutos; VO_{2pico} : consumo de oxígeno pico; W: vatios; FC: frecuencia cardíaca; ppm: pulsaciones por minuto; ↑: incremento.

Todos los entrenamientos de los grupos de intervención serán supervisados por un graduado en ciencias de la actividad física y el deporte con formación especializada en este segmento poblacional. Se monitorizará continuamente la FC durante los entrenamientos para asegurar que se alcanza la frecuencia cardíaca prescrita. También se monitorizará la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE) utilizando la escala de Borg (6-20) para garantizar la fiabilidad en el control del entrenamiento, y se cegará a los participantes en lo referente a la asignación del grupo de ejercicio y el objetivo del estudio para evitar cambios en sus hábitos de vida.

3.3.5. INTERVENCIÓN DIETÉTICA.

Durante los 9 meses de intervención, se les pedirá a los participantes que mantengan su dieta habitual y hábitos de vida inactivos para aislar el efecto de la intervención con ejercicio físico sobre los resultados obtenidos. Para llevar un control exhaustivo del cumplimiento de este criterio, se les pedirá a los participantes que completen un diario de dietas en el que registren el peso de la comida y bebida ingeridas de dos días entre semana y uno en fin de semana, absteniéndose de la ingesta de alcohol durante todo el periodo de intervención (modificado de Gillen et al. 2013 y Racil et al. 2013) para calcular el consumo energético y la composición de la dieta habitual de los sujetos. Además, se les pedirá abstenerse de la toma de medicamentos la semana previa a la toma de muestras sanguíneas (Racil et al. 2013), tras la aprobación de su médico, y el registro de la comida y bebidas ingeridas durante los 2 días previos a cada una de las valoraciones realizadas para así garantizar que los valores obtenidos en cada prueba se obtienen en las mismas condiciones.

Los registros dietéticos semanales se entregarán la primera sesión de la semana posterior a la del registro para evitar recurrir a ellos durante la realización del registro de la semana siguiente. Para asegurar la validez y fiabilidad de los datos registrados, por un lado un nutricionista cualificado, ciego en la asignación de grupos, analizará los diarios dietéticos (Keating et al. 2014), y por otro los participantes acudirán a dos sesiones de aprendizaje la semana previa del inicio de la intervención en la que un nutricionista cualificado les enseñará cómo cuantificar la comida y bebida ingerida para homogeneizar el protocolo de registro en toda la muestra. En cualquier momento de la intervención, los participantes podrán solicitar consulta con el nutricionista en caso de dudas en la cuantificación de la dieta diaria.

Una vez finalizado el periodo de intervención de 9 meses, no se les solicitará seguir registrando estos diarios durante los tres meses posteriores, sino únicamente el registro de la ingesta dietética de los 2 días previos al test de retención para descartar disparidad de resultados como consecuencia de cambios en las condiciones de valoración.

3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Los datos serán analizados utilizando el paquete estadístico SPSS 22.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Los datos estadísticos descriptivos se presentarán como medias \pm la desviación estándar. Para determinar la distribución normal de las variables analizadas se realizará una prueba de Kolmogorov-Smirnov. Además, para comprobar que los diferentes grupos, constituidos aleatoriamente, no sean diferentes en las variables analizadas de inicio se realizarán t de Student para muestras independientes por grupo de edad y tipo de programa. Para comprobar los efectos de los diferentes tipos de entrenamiento sobre las variables de rendimiento se realizará una ANOVA de medidas repetidas, utilizando como factor intrasujeto las evaluaciones (cinco evaluaciones) y como factores entre sujetos la edad, el género y tipo de entrenamiento. Cuando se obtenga una diferencia significativa para cualquier factor se realizará un análisis post-hoc de Bonferroni. Los tamaños del efectos serán calculados para las diferentes variables mediante el criterio de Cohen ("*d*" diferencias de medias estandarizadas), interpretándose como efectos pequeños valores entre 0.2-0.5, moderados entre 0.5-0.8 y grandes >0.8 .

4. CONCLUSIONES.

La revisión sistemática realizada ha permitido sintetizar los efectos derivados del HIIT sobre la capacidad aeróbica y la masa muscular. El HIIT agota las reservas de glucógeno y genera una demanda metabólica que estimula adaptaciones sobre la capacidad oxidativa que favorezcan su resíntesis muscular. Dentro de estas adaptaciones encontramos el aumento del contenido y actividad de enzimas tanto oxidativas como glucolíticas que incrementan la eficiencia de los procesos metabólicos. Todo ello favorece el incremento de la sensibilidad a la insulina, lo que implica que el organismo va a ser capaz de utilizar la glucosa sanguínea para sintetizarla y almacenarla en forma de glucógeno muscular tanto en el hígado como en el músculo, permitiendo así que sirva como sustrato energético. Además, el HIIT también ha registrado descensos en el colesterol total y el LDL, positivos en la reducción del riesgo de padecer aterosclerosis o enfermedad coronaria, cuyo final fatal es el infarto de miocardio.

El propósito de este trabajo es comparar los efectos de nueve meses de entrenamiento HIIT vs MICT en participantes adolescentes y adultos sedentarios con sobrepeso u obesidad, de ambos sexos, sobre la mejora de la condición física cardiorrespiratoria y la función cardiovascular. A nivel de resultados, esperamos hallar que ambos tipos de entrenamiento están asociados con mejoras sobre la salud cardiometabólica, coincidiendo con investigaciones previas similares (Keating et al. 2014; Little et al. 2014; Robinson et al. 2015; Lanzi et al. 2015; Fisher et al. 2015). La hipótesis planteada pretende demostrar que el entrenamiento de alta intensidad resulta igualmente eficaz en la mejora de la capacidad muscular oxidativa, la función aeróbica, la sensibilidad a la insulina y la concentración lipídica en sangre en individuos con estas características, independientemente de factores como el sexo o la edad y sin ningún tipo de intervención dietética que implique la modificación de la ingesta calórica para conseguir un balance energético negativo que favorezca la pérdida de masa grasa por restricción calórica.

Con la intervención planteada pretendemos aislar el efecto que el ejercicio físico tiene sobre las variables de interés para aportar mayor evidencia a favor de la aplicación del HIIT en personas con obesidad de cualquier edad y sexo. Uno de los motivos más extendidos en nuestra sociedad para la no inclusión de la práctica de ejercicio físico en el estilo de vida es la falta de tiempo (Azofeifa, 2006), y el HIIT creemos que puede ser una estrategia de intervención óptima para favorecer la adquisición de hábitos de vida más saludables y mejorar así la calidad de vida de la población. El HIIT demanda menos tiempo de práctica y presenta los mismos beneficios que el MICT, lo que puede hacerlo más atractivo tanto para adolescentes que estén en la etapa de estudio y no dispongan de mucho tiempo libre, como para adultos con una vida laboral ajetreada. Además, en el caso de los adolescentes consideramos que es doblemente importante porque su práctica puede ser un aporte considerable en la prevención de padecer sobrepeso y obesidad en la edad adulta.

Por ello, futuras líneas de estudio podrían plantear estudios longitudinales de larga duración en los que se tuvieran en cuenta un par de décadas, e incluso tres, y se valorara los mismos individuos a sus dieciséis años y tras este periodo de tiempo para observar si las adaptaciones del HIIT finalmente se tornan crónicas. Ello también permitiría verificar que este tipo de entrenamiento es igual de válido que el MICT para prevenir el sobrepeso y la obesidad en la edad adulta.

5. REFERENCIAS.

- Allison, D. B., Fontaine, K. R., Manson, J. E., Stevens, J., & VanItallie, T. B. (1999). Annual deaths attributable to obesity in the United States. *Jama*, *282*(16), 1530-1538.
- Azofeifa, E. G. (2006). Motivos de participación y satisfacción en la actividad física, el ejercicio físico y el deporte. *MHSALUD: Revista en Ciencias del Movimiento Humano y Salud*, *3*(1).
- Babraj, J. A., Vollaard, N. B., Keast, C., Guppy, F. M., Cottrell, G., & Timmons, J. A. (2009). Extremely short duration high intensity interval training substantially improves insulin action in young healthy males. *BMC Endocrine Disorders*, *9*(1), 3.
- Banegas, J. R., Lopez-Garcia, E., Gutierrez-Fisac, J. L., Guallar-Castillon, P., & Rodriguez-Artalejo, F. (2003). A simple estimate of mortality attributable to excess weight in the European Union. *European Journal of Clinical Nutrition*, *57*(2), 201-208.
- Boyd, J. C., Simpson, C. A., Jung, M. E., & Gurd, B. J. (2013). Reducing the intensity and volume of interval training diminishes cardiovascular adaptation but not mitochondrial biogenesis in overweight/obese men. *PLoS One*, *8*(7), e68091.
- Clark, J. E. (2015). Diet, exercise or diet with exercise: comparing the effectiveness of treatment options for weight-loss and changes in fitness for adults (18–65 years old) who are overfat, or obese; systematic review and meta-analysis. *Journal of Diabetes & Metabolic Disorders*, *14*(1), 31.
- Donnelly, J. E., Blair, S. N., Jakicic, J. M., Manore, M. M., Rankin, J. W., & Smith, B. K. (2009). Appropriate Physical Activity Intervention Strategies for Weight Loss and Prevention of Weight Regain for Adults (vol 41, pg 459, 2009). *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *41*(7), 1532-1532.
- Fisher, G., Brown, A. W., Brown, M. M. B., Alcorn, A., Noles, C., Winwood, L., Resuehr, H., George, B., Jeansonne, M. M., & 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.

- García-Jiménez, C., Gutiérrez-Salmerón, M., Chocarro-Calvo, A., García-Martínez, J. M., Castaño, A., & De la Vieja, A. (2016). From obesity to diabetes and cancer: epidemiological links and role of therapies. *British Journal of Cancer*.
- Gillen, J. B., Percival, M. E., Ludzki, A., Tarnopolsky, M. A., & Gibala, M. (2013). Interval training in the fed or fasted state improves body composition and muscle oxidative capacity in overweight women. *Obesity, 21*(11), 2249-2255.
- 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*.
- Lanzi, S., Codecasa, F., Cornacchia, M., Maestrini, S., Capodaglio, P., Brunani, A., Salvadori, A., & Malatesta, D. (2015). Short-term HIIT and Fatmax training increase aerobic and metabolic fitness in men with class II and III obesity. *Obesity, 23*(10), 1987-1994.
- Leggate, M., Carter, W. G., Evans, M. J., Vennard, R. A., Sribala-Sundaram, S., & Nimmo, M. A. (2012). Determination of inflammatory and prominent proteomic changes in plasma and adipose tissue after high-intensity intermittent training in overweight and obese males. *Journal of Applied Physiology, 112*(8), 1353-1360.
- Little, J. P., Gillen, J. B., Percival, M. E., Safdar, A., Tarnopolsky, M. A., Punthakee, Z., ... & Gibala, M. J. (2011). Low-volume high-intensity interval training reduces hyperglycemia and increases muscle mitochondrial capacity in patients with type 2 diabetes. *Journal of Applied Physiology, 111*(6), 1554-1560.
- Little, J. P., Jung, M. E., Wright, A. E., Wright, W., & Manders, R. J. (2014). Effects of high-intensity interval exercise versus continuous moderate-intensity exercise on postprandial glycemic control assessed by continuous glucose monitoring in obese adults. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 39*(7), 835-841.

- Marfell-Jones, M. J., Stewart, A. D., & de Ridder, J. H. (2012). *International standards for anthropometric assessment*. Wellington, New Zealand: International Society for the Advancement of Kinanthropometry.
- Morton, J. P., Croft, L., Bartlett, J. D., MaLaren, D. P., Reilly, T., Evans, L., McArdle, A., & Drust, B. (2009). Reduced carbohydrate availability does not modulate training-induced heat shock protein adaptations but does upregulate oxidative enzyme activity in human skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, *106*(5), 1513-1521.
- Oga, E. A., & Eseyin, O. R. (2016). The Obesity Paradox and Heart Failure: A Systematic Review of a Decade of Evidence. *Journal of Obesity*, *2016*.
- Organización Mundial de la Salud (2015). *Obesidad y Sobrepeso*. Recuperado de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/es/>
- Racil, G., Ounis, O. B., Hammouda, O., Kallel, A., Zouhal, H., Chamari, K., & Amri, M. (2013). Effects of high vs. moderate exercise intensity during interval training on lipids and adiponectin levels in obese young females. *European journal of applied physiology*, *113*(10), 2531-2540.
- Robinson, E., Durrer, C., Simtchouk, S., Jung, M. E., Bourne, J. E., Voth, E., & Little, J. P. (2015). Short-term high-intensity interval and moderate-intensity continuous training reduce leukocyte TLR4 in inactive adults at elevated risk of type 2 diabetes. *Journal of Applied Physiology*, *119*(5), 508-516.
- Sartor, F., de Morree, H. M., Matschke, V., Marcora, S. M., Milousis, A., Thom, J. M., & Kubis, H. P. (2010). High-intensity exercise and carbohydrate-reduced energy-restricted diet in obese individuals. *European journal of applied physiology*, *110*(5), 893-903.
- Urrútia, G., & Bonfill, X. (2013). La Declaración PRISMA: un paso adelante en la mejora de las publicaciones de la Revista Española de Salud Pública. *Revista Española de Salud Pública*, *87*(2), 99-102.

- Westman, E. C., Feinman, R. D., Mavropoulos, J. C., Vernon, M. C., Volek, J. S., Wortman, J. A., Yancy, W. A., & Phinney, S. D. (2007). Low-carbohydrate nutrition and metabolism. *The American journal of clinical nutrition*, *86*(2), 276-284.
- 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.



6. ANEXOS.

Tabla 2. Características de los protocolos aplicados a los grupos experimentales en las que se basan los estudios revisados.

ARTÍCULO	PROTOCOLO DE ENTRENAMIENTO					INTERVENCIÓN NUTRICIONAL
	VOLUMEN	INTENSIDAD	FRECUENCIA	DURACIÓN	TIPO	
Whyte et al. 2010	1ª-2ª Sesión (4x30"/4'30") 3ª-4ª Sesión 5x(30"/4'30") 5ª-6ª Sesión 6x(30"/4'30")	Sprints=0,065 Kg*Kg FFM Recuperación =30W	3 días/semana	2 semanas	SIT	Dieta normal mantenida.
Racil et al. 2013	1-4 Semanas: 2x[6x(30"x30")] 5-12 Semanas: 2x[8x(30"x30")]	GHIIT=100-105-110% MAS GMIIT=70-75-80% MAS (Recuperación 50% MAS)	3 días/semana	12 semanas	HIIT vs MIIT	-Dieta normal mantenida. -Registro y peso de comida y bebida 4 días/semana.
Gillen et al. 2013	18 sesiones 10x(60"/60') Tiempo total sesión=25'	~ 90% FC _{máx}	3 días/semana	6 semanas	HIIT	-Desayuno de 439 Kcal días de etc. -Registro ingesta dietética.
Boyd et al. 2013	1ª Semana 8x(60"x60") 2ª Semana 9x(60"/60") 3ª Semana 10x(60"/60")	GHI=100% PA _{pico} GLO=70% PA _{pico}	3 días/semana	3 semanas	HIIT vs LIIT	∅

FFM: masa libre de grasa; W: vatios; SIT: entrenamiento de sprints interválticos; G: grupo; HIIT: entrenamiento interváltico de alta intensidad; MIIT: entrenamiento interváltico de intensidad moderada; MAS: velocidad aeróbica máxima; etc: entrenamiento; PA: potencia aeróbica; LIIT: entrenamiento interváltico de baja intensidad; ∅: no especificada.

Tabla 2. Características de los protocolos aplicados a los grupos experimentales en las que se basan los estudios revisados.

ARTÍCULOS	PROTOCOLO DE ENTRENAMIENTO					INTERVENCIÓN NUTRICIONAL
	VOLUMEN	INTENSIDAD	FRECUENCIA	DURACIÓN	TIPO	
Keating et al. 2014	GHIIT=20-24' totales Semanas 1-4: (4x30-45"/120-180") Semanas 5-12: (6x60"/120") GCONT=30-45' totales Semanas 1-4: (30' al 50% VO ₂ pico) Semanas 5-12: (45' al 65% VO ₂ pico)	GHITT=120% VO ₂ pico GCONT=50-65%VO ₂ pico	3 días/semana	12 semanas	HIIT, MICT, placebo	Dieta normal mantenida.
Robinson et al. 2015	GHIIT=4x1'/1' → 10x1'/1' GCONT=20'→ 50'	GHIIT=~85-90%FC _{pico} GMICT=65% FC _{pico}	5 días/semana	2 semanas	HIIT vs MICT	Dieta normal mantenida.
Lanzy et al. 2015	8 sesiones GHIIT=30' 10x(60"/60") GFatmax=40 o 50'	~90%FCmax	∅	5 semanas (solo 2 eto)	HIIT vs MICT	Programa educativo dietético.
Fisher et al. 2015	GHIIT(20')=(4'+30'')x4' GMICT=45-60'	GHIIT=15+85%PA _{NM} GMICT=55-65%VO ₂ pico	GHIIT: 3 días/semana GMICT: 5 días/semana	6 semanas	HIIT vs MICT	∅

G: grupo; HIIT: Entrenamiento interválico de alta intensidad; CONT: continuo; MICT: entrenamiento continuo de intensidad moderada; VO₂pico: consumo de oxígeno pico; FC: frecuencia cardíaca; Fatmax: entrenamiento a intensidad de máxima oxidación de grasas; ∅: no especificada; eto: entrenamiento; PANM: potencia anaeróbica máxima; VO₂: consumo de oxígeno.

Tabla 3. Principales resultados de las variables evaluadas en los estudios que entrenaron con HIIT incluidos en esta revisión.

ARTÍCULO	GRUPO	RESULTADOS
Whyte et al. 2010	GSIT	↑* VO ₂ máx absoluto y relativo, potencia media, sensibilidad a la insulina y oxidación de grasas en reposo; ↓* PA sistólica, circunferencia cintura y cadera, insulina en ayunas, RER y oxidación de HC en reposo ↑ Oxidación de grasas en reposo por ↑* del contenido de GLUT4 en músculo esquelético y ↑* de actividad de β-hidroxiacil-CoA deshidrogenasa
Racil et al. 2013	GHIIT GMIIT GC	↑** VAM, VO ₂ pico, HDL y adiponectina, y ↓** %masa grasa, LDL, insulina, resistencia a la insulina, triglicéridos y colesterol total ↑* HDL y adiponectina, y ↓* LDL, resistencia a la insulina e insulina VO ₂ pico, HDL, adiponectina, LDL, resistencia a la insulina e insulina ≠
Gillen et al. 2013	GHIIT+FASTED GHIIT+FED	↓ Grasa abdominal y general; ↑ actividad citrato sintetasa y β-hidroxiacil-CoA deshidrogenasa ≅
Boyd et al. 2013	GHIIT GLIIT	↑* VO ₂ pico, PA _{pico} , FC _{pico} y consumo Kcal; resistencia a la insulina y niveles de adiponectina ≠ ↑ VO ₂ pico, PA _{pico} , FC _{pico} y consumo Kcal
Keating et al. 2014	GHIIT GMICT GC	% Grasa en tronco y % grasa androide ↓ % Grasa en tronco ↓ y % grasa androide ↓* % Grasa en tronco y % grasa androide ≠
Robinson et al. 2015	GHIIT GMICT	↑* VO ₂ pico y ↓ fructosamina en plasma, TLR4 en linfocitos y monocitos y TLR2 ↑* VO ₂ pico, ↓ fructosamina en plasma, TLR4 en linfocitos y monocitos y TLR2, y ↓* glucosa en plasma y TLR4 en neutrófilos
Lanzy et al. 2015	GHIIT GFatmax	↑* Fitness aeróbico y FORs ↑* Fitness aeróbico y FORs, y ↓* oxidación carbohidratos, RER, AG no estratificados e insulina
Fisher et al. 2015	GHIIT GMICT	↑ VO ₂ pico, ↑ adherencia y sensibilidad a la insulina, ↓ LDL, colesterol total y triglicéridos en sangre, ↓ %grasa corporal ↑* VO ₂ pico, ↑ sensibilidad a la insulina, ↓ LDL, colesterol total y triglicéridos en sangre, ↓ %grasa corporal

G: grupo; SIT: entrenamiento de sprints interválicos; ↑*: incremento significativo; VO₂: consumo de oxígeno; ↓*: descenso significativo; PA: presión arterial; RER: cociente respiratorio; HC: hidratos de carbono; GLUT4: transportador 4 de glucosa; HIIT: entrenamiento interválico de alta intensidad; MIIT: entrenamiento interválico de intensidad moderada; GC: grupo control; VAM: velocidad aeróbica máxima; HDL: lipoproteínas de alta densidad; LDL: lipoproteínas de baja densidad; ≠: sin cambios; FASTED: ayunas; FED: alimentado; ≅ no diferencias intergrupo; LIIT: entrenamiento interválico de baja intensidad; Kcal: kilocalorías; MICT: entrenamiento continuo de intensidad moderada; TLR4: receptor 4 tipo Toll; TLR2: receptor 2 tipo Toll; FORs: Fatmax: intensidad de máxima oxidación de grasas; tasa de oxidación de grasas; AG: ácidos grasos.



UNIVERSITAS

Miguel

Hernández