

TESIS DOCTORAL



UNIVERSIDAD
DE ALMERÍA

DOCTORADO EN EDUCACIÓN (RD09/11)
ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

**Efectos del entrenamiento en circuito basado en el
método interválico de alta intensidad (HIIT) en los
parámetros cardiovasculares y funcionales de
mujeres mayores**

Autor:

D. Ismael Ballesta García

Directores:

Dra. Dña. María Carrasco Poyatos
Dr. D. Ignacio Martínez González-Moro

Almería, mayo de 2020

TESIS DOCTORAL



**UNIVERSIDAD
DE ALMERÍA**

DOCTORADO EN EDUCACIÓN (RD09/11)
ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

**Efectos del entrenamiento en circuito basado en el método
interválico de alta intensidad (HIIT) en los parámetros
cardiovasculares y funcionales de mujeres mayores**

**Effects of circuit training based on the high-intensity interval
training method (HIIT) on cardiovascular and functional
parameters of elderly women**

Autor:

D. Ismael Ballesta García

Directores:

Dra. Dña. María Carrasco Poyatos
Dr. D. Ignacio Martínez González-Moro

Almería, mayo de 2020

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas de las que he recibido ayuda y apoyo a lo largo del proceso de elaboración de esta tesis doctoral:

En primer lugar, quiero dar gracias a la Dra. María Carrasco Poyatos, directora de la presente tesis, por darme la oportunidad de dar mis primeros pasos en el mundo de la investigación. Desde que comencé como alumno interno allá por 2013, hasta el día de hoy, ha estado brindándome consejos y orientaciones para progresar y avanzar en mi formación. Tu apoyo y la confianza depositada en mí han sido esenciales para culminar este proyecto.

Al Doctor Ignacio Martínez González-Moro, codirector de la presente, por su esfuerzo, su voluntad, la confianza depositada en mí y por darme la oportunidad de formar parte del Grupo de Investigación que lidera. A los doctores Jacobo Á. Rubio Arias y Domingo J. Ramos Campo, cuya colaboración ha sido imprescindible en la publicación de los trabajos que conforman la presente. Sin vuestra ayuda no hubiera sido imposible.

No olvidar a todas aquellas personas que participaron de forma altruista en la toma de datos, en la realización del programa de ejercicio, en el traslado de participantes al laboratorio, en las valoraciones de las pruebas de esfuerzo, a las mujeres que participaron en el estudio y a las personas que ayudaron en el reclutamiento de estas. Especial mención a mis abuelas, Cari y Fina, que movieron “cielo y tierra” para que este proyecto saliera adelante.

A mis padres, Antonio y Caridad, que han dado todo lo que estaba en su mano por facilitar mi formación. Sois el pilar de mi educación, tanto formal como no formal. Siempre

habéis confiado en mí, reconduciéndome cuando parecía que estaba todo perdido. Tampoco puedo olvidar a mi hermano, Raúl, imprescindible para mí.

Finalmente, a ti, Irene. Eres el pilar de mi día a día, la persona que me hace seguir adelante. Mi compañera de viaje, el amor de mi vida, la que me apoya y ayuda en cada decisión que tomo.



Dra. Dña. MARÍA CARRASCO POYATOS,

con DNI . Doctora en Ciencias del Deporte y Profesora Contratado Doctor de la Universidad de Almería

y Dr. D. IGNACIO MARTÍNEZ GONZÁLEZ-MORO,

con DNI . Doctor en Medicina y Cirugía por la Universidad de Murcia, Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte y Profesor Titular de la Universidad de Murcia

Como directora y codirector de la tesis doctoral titulada:

Efectos del entrenamiento en circuito basado en el método interválico de alta intensidad (HIIT) en los parámetros cardiovasculares y funcionales de mujeres mayores

Realizada por el estudiante de doctorado D. Ismael Ballesta García

CERTIFICAN que la presente tesis doctoral, mediante la modalidad de compendio de publicaciones, reúne las condiciones en cuanto a rigor científico, originalidad y elaboración para su lectura y defensa, pudiendo optar a la obtención del Título de Doctor por la Universidad de Almería.

Y, para que surta los efectos oportunos, firmamos el presente en Almería, a 23 de abril de 2020.

Fdo.: María Carrasco Poyatos

Fdo.: Ignacio Martínez González-Moro

Índice

ÍNDICE

ÍNDICE DE ABREVIATURAS	15
RESUMEN.....	19
ABSTRACT	27
INTRODUCCIÓN.....	33
1. ESTADO DEL ARTE Y JUSTIFICACIÓN	35
2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	43
3. DISEÑO GENERAL DE LA TESIS DOCTORAL.....	44
REFERENCIAS.....	45
PUBLICACIÓN 1: “HIGH-INTENSITY INTERVAL TRAINING DOSAGE FOR HEART FAILURE AND CORONARY ARTERY DISEASE CARDIAC REHABILITATION. A SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS”.....	51
PUBLICACIÓN 2: “HIGH-INTENSITY INTERVAL CIRCUIT TRAINING VERSUS MODERATE-INTENSITY CONTINUOUS TRAINING ON FUNCTIONAL ABILITY AND BODY MASS INDEX IN MIDDLE-AGED AND OLDER WOMEN: A RANDOMIZED CONTROLLED TRIAL ”.....	89
PUBLICACIÓN 3: “HIGH-INTENSITY INTERVAL CIRCUIT TRAINING VERSUS MODERATE-INTENSITY CONTINUOUS TRAINING ON CARDIORESPIRATORY FITNESS IN MIDDLE-AGED AND OLDER WOMEN: A RANDOMIZED CONTROLLED TRIAL”.....	127
CONCLUSIONES.....	157

APÉNDICE 1: *FACTOR DE IMPACTO Y ÁREA TEMÁTICA DE LAS
PUBLICACIONES*..... 161

APÉNDICE 2: *ACEPTACIÓN POR ESCRITO DE LOS COAUTORES PARA QUE EL
DOCTORANDO PRESENTE ESTA TESIS DOCTORAL*..... 167

APÉNDICE 3: *PUBLICACIONES ORIGINALES QUE COMPONEN LA PRESENTE TESIS
DOCTORAL*..... 173

Índice de abreviaturas

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

6MWT – Six-Minute Walking Test (test de caminata de los seis minutos).

ACSM – Colegio Americano de Medicina Deportiva.

ACT – Arm curl test (test de flexión de brazos).

EAC – Enfermedad de las arterias coronarias.

EEP – Escala de esfuerzo percibido.

FC – Frecuencia cardíaca.

FC_{ex} – Frecuencia cardíaca durante el ejercicio.

FC_{rec} – Frecuencia cardíaca de recuperación.

GC – Grupo control.

HIICT – Entrenamiento en circuito basado en el entrenamiento interválico de alta intensidad.

HIIT – Entrenamiento interválico de alta intensidad.

IC – Insuficiencia cardíaca.

IMC – Índice de masa corporal.

INE – Instituto Nacional de Estadística.

MICT – Entrenamiento en circuito de moderada intensidad.

MIT – Entrenamiento de moderada intensidad.

OLS – One-leg Stand Test (test de equilibrio monopodal).

OMS – Organización Mundial de la Salud.

PA – Presión arterial.

PAD – Presión arterial diastólica.

PAD_{ex} – Presión arterial diastólica durante el ejercicio.

PAD_{ex} – Presión arterial diastólica de recuperación.

PAS – Presión arterial sistólica.

PAS_{ex} – Presión arterial sistólica durante el ejercicio.

PAS_{rec} – Presión arterial sistólica de recuperación.

STS-30 – 30 second Sit-to-Stand Test (test de sentarse y levantarse durante 30 segundos).

TUG – Timed Up and Go test.

VO_{2máx} – Consumo máximo de oxígeno.

VO_{2máx}-ES – Consumo máximo de oxígeno estimado.

Resumen

El incremento de la población mayor de 65 años en España es una realidad. Por ende, las enfermedades asociadas al envejecimiento, como las relacionadas con el sistema cardiovascular, la sarcopenia o la fragilidad, aumentan en la misma línea. Las administraciones públicas, en un intento tanto por prevenir como por tratar estas enfermedades, están subvencionando programas de ejercicio físico destinados a mejorar la condición física de estas personas. La condición física está íntimamente relacionada con la disminución del riesgo de enfermedades cardiovasculares, el aumento de la calidad de vida y una mayor autonomía para el desenvolvimiento de las actividades de la vida cotidiana.

En el caso de los programas de rehabilitación cardíaca, el entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) está teniendo un papel cada vez más importante. Los estudios no solo sugieren que aumenta el consumo máximo de oxígeno ($VO_{2máx}$) más que otros tipos de entrenamiento (como el continuo de moderada intensidad – MIT), sino que, además, tiene un efecto cardioprotector, como mejoras en la presión arterial (PA), en la frecuencia cardíaca (FC) o en la función endotelial. Sin embargo, las magnitudes de la carga de entrenamiento empleadas en estos programas son muy heterogéneas. Esta heterogeneidad podría explicar las controversias en la literatura en cuanto a resultados.

En el caso de los programas de prevención, las sesiones de entrenamiento son grupales, por lo que el método de entrenamiento más común es el entrenamiento en circuito. Estos programas suelen realizarse en centros de día o de mayores y están orientados a conseguir mejoras en factores funcionales (como la fuerza, la resistencia aeróbica, la agilidad o el equilibrio) y en factores relacionados con la salud cardiovascular) como el aumento del $VO_{2máx}$ o la normalización de las cifras de parámetros relacionados con la FC o la PA). Sin embargo, aunque están demostrados los efectos beneficiosos de los programas tipo HIIT en

otras poblaciones, este método de entrenamiento ha sido escasamente aplicado en personas mayores.

Considerando lo anterior, los objetivos principales de esta tesis doctoral son (1) identificar la mejor dosis de HIIT para optimizar el consumo máximo de oxígeno de pacientes con enfermedad de las arterias coronarias o con insuficiencia cardíaca en programas de rehabilitación cardíaca; (2) analizar las adaptaciones producidas en la capacidad funcional y en el índice de masa corporal de un programa de entrenamiento en circuito basado en el entrenamiento interválico de alta intensidad en mujeres sanas de mediana edad y mayores, y (3) analizar las adaptaciones producidas en la capacidad cardiorrespiratoria, en los valores de presión arterial y en parámetros de la frecuencia cardíaca de un programa de entrenamiento en circuito basado en el entrenamiento interválico de alta intensidad en mujeres sanas de mediana edad y mayores.

Para abordar el primer objetivo se realizó una revisión sistemática con metanálisis donde se analizó la aplicación de las variables de magnitud de la carga (volumen, intensidad, duración, frecuencia y densidad) de los distintos programas tipo HIIT que hay en la literatura. Asimismo, también se sometieron a análisis otras variables como el sexo, la edad, el índice de masa corporal (IMC) y la calidad metodológica de los estudios.

Para llevar a cabo el estudio, en primer lugar, se realizó una búsqueda en seis bases de datos (MEDLINE, Web of Science, LILACS, CINAHL, Academic Search Complete y SportDiscus), incluyéndose un total de 19 artículos que empleaban el HIIT y medían el $VO_{2\text{máx}}$ de pacientes con EAC e IC. Posteriormente, debido a la heterogeneidad de los protocolos, los valores medios de las variables de magnitud de la carga se distribuyeron en dos grupos diferentes, mediante un modelo de efectos aleatorios. Por último, se llevó a cabo un metanálisis de efectos aleatorios para determinar en qué enfermedad se obtenía un mayor

beneficio con el HIIT y si había diferencias en los protocolos de HIIT empleados para cada patología. Los resultados obtenidos en este estudio revelaron que el HIIT es un tipo de entrenamiento eficaz para aumentar de forma significativa el $VO_{2m\acute{a}x}$ en ambas patologías, siendo más efectivo en pacientes con IC. Además, los resultados abogan por recuperaciones activas (entre un 40-60% del $VO_{2m\acute{a}x}$) en estos pacientes. Del mismo modo, la frecuencia mínima de entrenamiento recomendada es de dos días a la semana en pacientes con EAC y de tres días a la semana en pacientes con IC.

En la segunda y tercera publicación se abordaron el segundo y tercer objetivo de esta tesis. En estas se pretendió trasladar las conclusiones obtenidas en el primer estudio, a un programa de ejercicio físico en circuito basado en esta metodología (HIICT), pero en mujeres sanas de mediana edad y mayores. En este caso, se determinó qué adaptaciones producía el HIICT sobre la capacidad funcional, el IMC, la capacidad cardiorrespiratoria, en cifras de presión arterial (PA) y en diferentes parámetros de FC. Además, los resultados se compararon con los de un programa de similares características a moderada intensidad (MICT), así como ambos con un grupo control (GC).

Este ensayo clínico aleatorizado incluyó un total de 54 mujeres, que fueron distribuidas en tres grupos con el mismo tamaño muestral (HIICT, MICT y GC; $n = 18$). La secuencia de aleatorización fue creada usando Excel 2016, con una ratio de asignación 1: 1. Los pacientes de los grupos HIICT y MICT entrenaron dos días a la semana (1 h por sesión) durante 18 semanas. Los ejercicios realizados en HIICT y MICT, se centraron en movimientos de las piernas combinados con ejercicios de los brazos con o sin carga externa. La diferencia entre programas fue la velocidad de ejecución. Se trabajó en puntuaciones de 14-18 puntos en la escala de esfuerzo percibido de Borg (EEP) en el grupo HIICT, y de 9-14 puntos en la EEP en el grupo MICT. Por otro lado, se motivó a las mujeres del GC a continuar con su rutina habitual.

Para comparar las variables de estudio antes de la intervención, se calculó el análisis de la varianza (ANOVA) para medidas repetidas. Para comparar las variables tras la intervención se usó el análisis de la covarianza (ANCOVA). Se incluyeron como covariables las características basales y la edad. Los resultados se dividieron en dos publicaciones: una que incluyó las variables funcionales y otra con las variables relacionadas con el *fitness* cardiorrespiratorio.

Los resultados de las variables funcionales se mostraron en la segunda publicación que compone la presente tesis doctoral. Se obtuvo que tanto el HIICT como el MICT son métodos efectivos para mejorar la fuerza, la resistencia aeróbica, la agilidad y el equilibrio dinámico de mujeres sanas de mediana edad y mayores. Sin embargo, solo el grupo HIICT fue capaz de generar adaptaciones en la fuerza de los brazos y de modificar el IMC.

Por otro lado, la tercera publicación de esta tesis expone los resultados de las variables relacionadas con el *fitness* cardiorrespiratorio. Estos resultados muestran que tanto el HIICT como el MICT son métodos de entrenamiento efectivos para aumentar el $VO_{2máx}$ estimado y para normalizar la respuesta de las cifras de presión arterial diastólica tras una prueba de esfuerzo. Sin embargo, solo el HIICT normalizó la respuesta de las cifras de presión arterial sistólica tras dicha prueba.

Por último, de la presente tesis se extraen las siguientes conclusiones generales: (1) que la revisión sistemática con metanálisis aporta evidencias de que el HIIT es un método efectivo para aumentar el $VO_{2máx}$ de pacientes con EAC o IC, siendo este incremento superior en los últimos. Además, para optimizar estos beneficios, se deben aplicar recuperaciones activas (40-60% del $VO_{2máx}$) y entrenar con una frecuencia mínima de dos sesiones semanales en pacientes con EAC y de tres sesiones semanales en pacientes con IC; (2) que tanto el HIICT como el MICT mejoran la capacidad funcional (fuerza, resistencia aeróbica, agilidad y

equilibrio dinámico) de mujeres sanas de mediana edad y mayores, siendo efectivo solo el HIICT para mejorar la fuerza de los brazos y para modificar el IMC; (3) que tanto el HIICT como el MICT aumentan el $VO_{2máx}$ y normalizan las cifras de presión arterial diastólica durante el ejercicio, siendo efectivo solo el HIICT para normalizar las cifras de presión arterial sistólica durante el ejercicio.

Palabras clave: entrenamiento interválico de alta intensidad, entrenamiento en circuito, insuficiencia cardíaca, enfermedad de las arterias coronarias, insuficiencia cardíaca, mujeres mayores, mujeres de mediana edad.

Abstract

The percentage of the world's population over the age of 65 has increased considerably in recent years. Ageing is related to disorders such as cardiovascular diseases, sarcopenia and frailty. In order to prevent and treat these disorders, governments and healthcare systems are implementing physical exercise programmes. Physical exercise is closely related to reducing the risk of cardiovascular disease, increasing quality of life and improving autonomy in the development of daily living activities.

High-intensity interval training (HIIT) plays a major role in cardiac rehabilitation. Studies not only suggest that it increases VO_{2max} more than other types of training (such as moderate-intensity continuous training - MIT), but also has a cardio-protective effect, such as improving the blood pressure, heart rate and endothelial function. Nonetheless, many differences exist in the exercise protocols proposed in the literature. This heterogeneity could explain the controversy regarding the results.

With regard to prevention programmes, circuit training is one of the most common types of training because the sessions are usually organised in groups. Circuit training consists of performing a series of exercises covering all the muscle groups; this allows strength, cardiorespiratory fitness, flexibility, agility and balance to be influenced simultaneously. In addition, it helps to increase VO_{2max} and regulate parameters related to the heart rate and blood pressure. Even though the beneficial effects of HIIT have been demonstrated in other populations, this training method has been poorly applied to healthy middle-aged and older people.

Considering the above, the main objectives of this doctoral thesis are (1) to identify the best dose of HIIT to optimise VO_{2max} improvement in cardiac rehabilitation programmes for patients who suffer from heart failure and coronary artery disease, (2) to analyse the adaptations produced in functional ability and body mass index of a circuit training program based on HIIT in healthy middle-aged and older women, and (3) to analyse the adaptations produced in cardiorespiratory

fitness, blood pressure values and heart rate parameters of a circuit training program based on HIIT in healthy middle-aged and older women.

To address the first objective, a systematic review with meta-analysis was performed to analyse the influence of training variables (volume, intensity, duration, frequency and density) for the different versions of HIIT found in the literature – this was to determine the best dose of HIIT for optimising increased VO_{2max} for patients in cardiac rehabilitation programmes with heart failure or coronary artery disease. Other variables such as sex, age, body mass index and the methodological quality of the studies were also analysed.

To carry out the study, we first searched six databases (MEDLINE, Web of Science, LILACS, CINAHL, Academic Search Complete and SportDiscus), finding a total of 19 articles that reported on HIIT and measured the VO_{2max} of patients in cardiac rehabilitation programmes with heart failure and coronary artery disease. Subsequently, due to the heterogeneity of the protocols, the mean values of the workload variables were grouped into two different groups, using a random-effects model. Finally, a random effects meta-analysis was performed to determine which disease most benefitted from HIIT and if there were differences between HIIT protocols for each workload condition. From the meta-analysis, the effects of HIIT were found to be beneficial in increasing VO_{2max} for both pathologies, although they were more effective in heart failure patients. Furthermore, the results advocated active recoveries, of between 40-60% VO_{2max} , in patients with heart failure. Regarding training frequency, a minimum of two days a week are necessary to improve VO_{2max} in patients with coronary artery disease and three days a week for patients with heart failure.

In the second and third publications, the aim was to extrapolate the conclusions concerning the HIIT training variables obtained in the first study to a circuit-training regime based on this methodology (HIICT), but specifically for healthy older and middle-aged women. In this case, the

objective was to determine which adaptations HIIT induced in terms of functional capacity, body mass index, cardiorespiratory fitness, blood pressure values and heart rate parameters. In addition, the results were compared with other with similar characteristics but a moderate-intensity (MICT), as well as both with a control group (CG).

This experimental randomized clinical trial included a total of 54 women distributed into three groups of equal sample size (HIICT, MICT and the CG: $n = 18$). The patients in the HIICT and MICT groups trained two days a week (1 hour per session) for 18 weeks. The exercises performed in both the HIICT and MICT groups focused on leg movements combined with arm exercises, with or without external load. The difference between the two programmes was the execution velocity. The aim was to achieve scores of between 14 and 18 points (on the Börg scale) in the HIICT group, and between 9 and 14 points in the MICT group. In contrast, women assigned to the CG were encouraged to maintain their normal physical activity.

In order to compare the study variables prior to the intervention, an analysis of variance (ANOVA) was calculated for the repeated measures. Likewise, to compare the variables following the intervention, an analysis of covariance (ANCOVA) was used. The baseline values and age were included as covariates. The results were divided into two publications: the first related to the functional variables and the second related to the cardiorespiratory fitness variables.

Regarding the results of the second publication, it was found that both the HIICT and the MICT were effective methods for improving the strength, aerobic capacity, agility and dynamic balance of healthy older and middle-aged women. However, only the HIICT generated better adaptations in upper limb strength. Moreover, only the HIIT modify the body mass index.

In contrast, the third publication stated that both the HIICT and the the MICT were effective at increasing VO_{2max} and normalize diastolic blood pressure values after a treadmill exercise test

for healthy middle-aged and older women. However, only the HIICT normalizes systolic blood pressure values following this test.

As general conclusions, this doctoral thesis provides evidence that confirms the importance of HIIT as an effective method for improving VO_{2max} in patients with heart failure and coronary artery disease, having better benefits in patients with heart failure. It also confirms the need to apply active recovery (40-60% VO_{2max}) in heart failure patients and to train at a minimum frequency of two sessions per week for patients with coronary artery disease, and three sessions per week for patients with heart failure. On the other hand, both the HIICT and the MICT improve functional capacity (strength, cardiorespiratory capacity, agility and dynamic balance), increase VO_{2max} and normalize diastolic blood pressure values of middle-aged and older women. However, the differentiating effect of HIIT was seen in the upper body strength, body mass index and systolic blood pressure. These data justify the use of HIICT for maintaining health and quality of life in this population.

Key words: high-intensity interval training, circuit training, heart failure, coronary artery disease, older women, middle-aged women.

Introducción

1. Estado del arte y justificación

El aumento de la población mayor de 65 años en España es una realidad. Los últimos datos del Instituto Nacional de Estadística (INE) indican que el crecimiento medio aproximado es del 3.5%, siendo los más elevados en personas mayores de 85 años (INE, 2019). Esto conlleva que el 19% de la población sean personas mayores de 65 años, con una esperanza de vida de 80.46 años en hombres y 86.85 años en mujeres. Se estima que en 2064 esta población se corresponderá con un 38.7% del total de la población (Dégano et al., 2013).

Según datos actuales, el 44.9% del total de altas hospitalarias en España se deben a personas mayores de 65 años (INE, 2019). Esta situación genera costes económicos importantes destinados hacia los sistemas de salud para tratar enfermedades crónicas y situaciones de dependencia propias del envejecimiento. De hecho, España destinó, a comienzos del siglo XXI, un total de 1030 millones de euros en el tratamiento de la enfermedad coronaria aguda, una de que más afecta a esta población (Dégano et al., 2013).

Como informa el INE (2019), el 26% de las muertes se deben a enfermedades del sistema circulatorio, afectando al 38% de los hombres y al 36% de las mujeres. Las más frecuentes son las enfermedades isquémicas del corazón, que suponen el 7.39% de todas las causas de enfermedad (8.5% en hombres y 6% en mujeres); y en quinto lugar se encuentra la insuficiencia cardiaca (IC), con una incidencia del 4.8% de todas las causas de enfermedad (3.56% en hombres y 5.11% en mujeres). Pero esta situación no es propia de nuestro país, las enfermedades que afectan al sistema cardiovascular son la primera causa de mortalidad mundial, con 17.8 millones de muertes estimadas en 2017 (Roth et al., 2018).

Las enfermedades cardiovasculares derivan de trastornos que afectan tanto al sistema circulatorio como al corazón. Tienen en común la aterosclerosis como patología de base, una enfermedad inflamatoria producida por acúmulo de grasa, fibra y células en las paredes de las

arterias. Estos acúmulos, denominados placas de ateroma, originan el estrechamiento (incluso la obstrucción total) y la rigidez arterial (Márquez et al., 2013). La producción de las placas de ateroma emana de factores de riesgo no modificables, como la edad, el género o la herencia genética, y modificables, como la hipertensión, hábitos tóxicos, alimentación no saludable, diabetes o el sedentarismo. Muchas veces se presentan asintomáticas, hecho que las hace especialmente peligrosas. Es de destacar que las enfermedades cardiovasculares, cuando van unidas al envejecimiento, derivan en situaciones de debilidad, dependencia e incapacidad funcional (de Berrazueta, 2019).

Antaño, las personas mayores tenían contraindicado el ejercicio físico. De hecho, cuando estaban enfermas se priorizaba el encamamiento y la restricción de actividad física (Márquez et al., 2013), lo que podía conllevar atrofas musculares, embolismos pulmonares, trombosis, disminución de la tolerancia al ejercicio e incremento desorbitado de los síntomas de su enfermedad (Papathanasiou et al., 2008). En la actualidad, investigadores como Haskell (2019) promueven el ejercicio aeróbico como un método eficaz tanto en la prevención como en el tratamiento de diferentes enfermedades asociadas al envejecimiento.

El entrenamiento aeróbico implica movilizar grandes masas musculares a una intensidad, volumen y frecuencia suficientes para que se produzcan adaptaciones fisiológicas. Según Pescatello et al. (2014) y de acuerdo con el Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM) la intensidad moderada se corresponde con el 40-60% de la frecuencia cardiaca (FC) de reserva o del consumo de oxígeno de reserva, o con 3-6 equivalentes metabólicos (MET; 1 MET = 3.5 ml/kg/min). Pescatello et al. (2014) exponen que a esta intensidad se pueden conseguir adaptaciones en la capacidad de obtención y transporte de oxígeno, así como en la capacidad de los músculos para utilizar dicho oxígeno. Tan importante es la realización de ejercicio aeróbico para preservar la salud de los mayores, que el ACSM recomienda al menos

la realización semanal de 150 minutos de ejercicio aeróbico a moderada intensidad o 75 minutos a alta intensidad, o la combinación de ambas (Piercy et al., 2018).

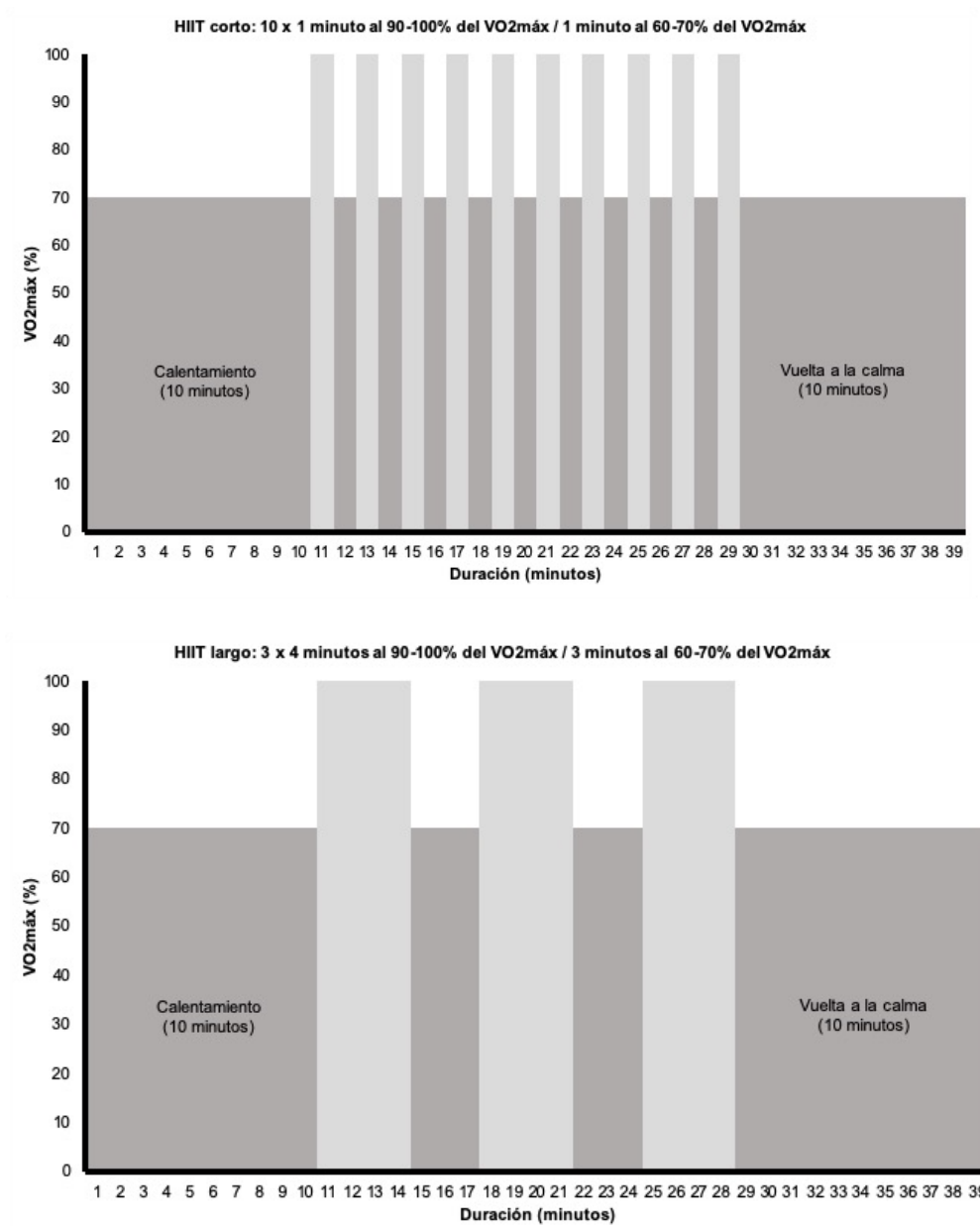
En personas con patologías cardíacas, el ejercicio aeróbico conduce a un aumento del volumen sistólico, al incremento del volumen de las cavidades cardíacas, a un mayor grosor de las paredes del corazón, a la disminución de la FC en reposo y submáxima, a la mejora de la perfusión cardíaca y a la angiogénesis (Cordero et al., 2014). Estas adaptaciones dan lugar a una mejora de la función muscular y de la capacidad para utilizar el oxígeno (Freyssin et al., 2012; Kim et al., 2015; Normandin et al., 2013; Wisløff et al., 2007). Por tanto, el consumo máximo de oxígeno ($VO_{2m\acute{a}x}$) es uno de los factores determinantes más importantes para la mejora de las actividades de resistencia (Chicharro y Vaquero, 2008). Sin embargo, aunque la literatura coincide en que el ejercicio aeróbico incide de forma positiva en los factores de riesgo cardiovasculares, la calidad de vida y el $VO_{2m\acute{a}x}$ en pacientes en programas de rehabilitación cardíaca (Conraads et al., 2015), Wisløff et al. (2007) señalan que las recomendaciones han sido mal aplicadas, probablemente debido a la falta de estudios.

Existen varios protocolos que se han aplicado en la rehabilitación cardíaca, como el entrenamiento aeróbico continuo, que consiste en realizar durante un largo período de tiempo una actividad aeróbica de intensidad moderada (MIT) y no variable (60-80% de $VO_{2m\acute{a}x}$). Sin embargo, actualmente se están llevando a cabo protocolos de mayor intensidad, como el entrenamiento a intervalos de alta intensidad (HIIT), que consiste en períodos intermitentes y cortos de trabajo de alta intensidad (85-100% del $VO_{2m\acute{a}x}$) combinados con períodos de descanso relativo. A pesar de la diversidad en los protocolos de HIIT, los más comunes combinan intervalos de trabajo cortos de 30-60 segundos o intervalos de trabajo largos de 3-4 minutos con períodos de recuperación tanto activa como pasiva (0-4 minutos). En la Figura

1 se muestran dos formas de distribución de los periodos de trabajo y descanso: un HIIT corto (imagen superior), y un HIIT largo (imagen inferior).

Figura 1

Ejemplos de protocolo HIIT corto (arriba) y largo (abajo).



El HIIT está mostrando similares o mejores resultados que el MIT tanto en parámetros fisiológicos del ejercicio (Dun et al., 2019) como en la calidad de vida de los pacientes (Conraads et al., 2015). Además, parece ser una opción segura si se realiza un diagnóstico inicial correcto y se tienen en cuenta una serie de condiciones según las comorbilidades, edad, gravedad o complejidad de la enfermedad cardíaca (Wewege et al., 2018). Diversos estudios argumentan que el HIIT tiene efectos cardioprotectores ya que reduce el tono simpático, disminuyendo así la posibilidad de disfunción aguda ventricular (Guiraud et al., 2010; Guiraud et al., 2013). Además, parece ser una herramienta para aumentar la variabilidad de la FC en reposo, indicando un menor riesgo cardiovascular y mortalidad (Abreu et al., 2019). Por estos motivos, el HIIT está recomendándose como alternativa al MIT.

Precisamente, la disminución del $VO_{2m\acute{a}x}$ es una de las consecuencias más claras del envejecimiento, ya que existe una pérdida de un 10% cada 10 años a partir de los 30 años en personas sedentarias (Hawkins y Wiswell, 2003). A partir de los 60 años esta disminución se debe a cambios estructurales asociados a la edad, como la disminución del gasto cardíaco. Además, el deterioro de la capacidad aeróbica tiene sustancial importancia en relación con la independencia funcional, la calidad de vida y, como se ha mencionado con anterioridad, con la salud en personas con problemas cardiovasculares.

Del mismo modo, también hay que considerar los efectos de ambos tipos de entrenamiento (HIIT y MIT) sobre variables endoteliales. Cabe mencionar que ambos programas son efectivos para reducir significativamente la presión arterial sistólica (PAS), sin diferencias entre ambos tipos de entrenamiento (Conraads et al., 2015; Currie et al., 2013; Iellamo et al., 2013). Sin embargo, el HIIT sí que parece reducir tanto la FC de reposo (Currie et al., 2013; Iellamo et al., 2013; Keteyian et al., 2014; Wisløff et al., 2007) como la frecuencia cardíaca durante el ejercicio (FC_{ex}) (Huang et al., 2014; Wisløff et al., 2007), debido

seguramente a una mayor eficiencia de trabajo por una disminución del uso de oxígeno por parte de los tejidos.

Por otro lado, para mantener los efectos fisiológicos que produce un entrenamiento controlado y monitorizado en tapiz rodante o cicloergómetro, se recomienda el entrenamiento multicomponente, entendido como la combinación de dos o más de los siguientes ejercicios: resistencia muscular/fuerza, caminata/resistencia, equilibrio y/o flexibilidad (Tesch, 1992).

Este método de entrenamiento realizado en circuito consiste en realizar series de ejercicios que trabajen todos los grupos musculares (Tesch, 1992). Es un método versátil que puede adaptarse a cualquier tipo de población, sea sedentaria o activa, del ámbito del alto rendimiento o de la salud. Solo se debe adaptar la magnitud de la carga a los objetivos que se persiguen.

El entrenamiento en circuito presenta una organización vertical: se realiza una serie de cada ejercicio, con sus descansos entre ejercicios, y una vez realizado, se vuelve a empezar. Permite mayor recuperación de las zonas a trabajar y disminuye la fatiga muscular localizada. Se usan cargas más bajas, lo que posibilita realizar un mayor número de repeticiones e incrementar la velocidad de ejecución. Permite un doble trabajo: sobre la fuerza y sobre el sistema cardiorrespiratorio (Kaikkonen et al., 2000). En estudios realizados con personas mayores, este tipo de entrenamientos ha mostrado ser un método efectivo para aumentar el $VO_{2máx}$, la fuerza y la capacidad funcional (Giné-Garriga et al., 2013; Romero-Arenas et al., 2013; Rosety et al., 2015).

Una revisión sistemática con metanálisis (Marín-Cascales et al., 2018) ha demostrado efectos positivos del entrenamiento multicomponente sobre el *fitness* cardiorrespiratorio, la composición corporal, parámetros metabólicos, estado funcional, capacidad cognitiva y calidad de vida en personas mayores. Otros estudios evidencian que el entrenamiento

multicomponente en circuito ha mostrado ser un método efectivo para aumentar la fuerza (Adamson et al., 2014), el *fitness* cardiorrespiratorio (Adamson et al., 2014; de Lorenzo et al., 2018), la agilidad (Adamson et al., 2014; Coetsee y Terblanche, 2017) y la composición corporal (Álvarez et al., 2016). Además de que estas personas perciben un mejor estado de salud tras la realización de un programa basado en el entrenamiento en circuito (Venturelli et al., 2015; Whitehurst et al., 2005).

Sin embargo, a pesar de que se sabe de la efectividad del HIIT en programas de rehabilitación cardíaca para la mejora de parámetros cardiovasculares, y del entrenamiento en circuito para la mejora de parámetros funcionales, aun no existen evidencias que demuestren la efectividad que puede tener la combinación de ambos en la salud y la capacidad funcional de mujeres sanas mayores.

En este sentido, para llevar a cabo el presente trabajo de investigación se propone realizar un programa de entrenamiento en circuito basado en la metodología HIIT (HIICT) y otro de similares características a moderada intensidad (MICT), en mujeres sanas de mediana edad y mayores, contemplándose dos grandes diferencias con lo establecido en la literatura: la primera es la combinación del trabajo aeróbico y de fuerza derivada del trabajo en circuito a alta intensidad. La literatura únicamente contempla estudios donde se trabaja por separado la fuerza y la resistencia en circuito. Por otro lado, la incorporación de la metodología basada en HIIT en personas mayores sanas, ya que este protocolo ha sido estudiado en programas de rehabilitación cardíaca, principalmente.

Estos datos hacen pensar que el HIICT puede constituir un elemento clave para preservar la salud y la independencia de las personas mayores. De ahí la importancia de continuar ampliando el conocimiento sobre los efectos de este método en personas mayores sanas, valorando también otros factores determinantes de la capacidad funcional como son la

fuerza, el equilibrio, la agilidad o la composición corporal. Esto podrá contribuir a redirigir los programas de ejercicio orientados a esta población, planteando métodos más efectivos y utilizándolos como una herramienta útil en la prevención de enfermedades. Por último, no olvidar que el HIIT ha resultado un factor relevante en la mejora de la calidad de vida en otras poblaciones. Esta puede ser uno de los factores más importantes a tratar cuando se trabaja con personas mayores, ya que la vejez puede derivar en una disminución de la autonomía y otros factores determinantes de la calidad de vida.

2. Hipótesis y objetivos

Considerando lo anterior, en la presente tesis doctoral se plantea la hipótesis de que el entrenamiento interválico de alta intensidad, aplicado o no en circuito, mejora la capacidad funcional, la capacidad cardiorrespiratoria y la calidad de vida de las personas mayores con o sin patologías cardíacas.

En este sentido, de esta hipótesis se desprenden los siguientes objetivos de investigación:

- (1) Identificar la mejor dosis de HIIT para optimizar el consumo máximo de oxígeno de pacientes con enfermedad de las arterias coronarias o con insuficiencia cardíaca en programas de rehabilitación cardíaca.
- (2) Analizar las adaptaciones producidas en la capacidad funcional y en el índice de masa corporal de un programa de entrenamiento en circuito basado en el entrenamiento interválico de alta intensidad en mujeres sanas de mediana edad y mayores.
- (3) Analizar las adaptaciones producidas en la capacidad cardiorrespiratoria, en los valores de presión arterial y en parámetros de la frecuencia cardíaca de un programa de entrenamiento en circuito basado en el entrenamiento interválico de alta intensidad en mujeres sanas de mediana edad y mayores.

3. Diseño general de la tesis doctoral

Para desarrollar los objetivos de la tesis doctoral se realizaron tres trabajos:

El primer trabajo es en una revisión sistemática con metanálisis titulada: “*High-intensity Interval Training Dosage for Heart Failure and Coronary Artery Disease Cardiac Rehabilitation. A Systematic Review and Meta-analysis*”. Este trabajo analizó las variables de magnitud de la carga de los diferentes protocolos HIIT sobre el aumento del $VO_{2\text{máx}}$ de pacientes con enfermedad de las arterias coronarias o insuficiencia cardíaca.

Una vez conocido cómo influían estas variables sobre el aumento del $VO_{2\text{máx}}$ y, por tanto, sobre su calidad de vida, se diseñó un ensayo clínico aleatorizado que incluyó a mujeres sanas de mediana edad y mayores. En este sentido, se tuvieron en cuenta las conclusiones sobre la magnitud de la carga para aplicarlas a esta población. Sin embargo, este estudio aplicó el HIIT en circuito. Además, se comparó los efectos del HIIT con uno de similares características pero a moderada intensidad, y entre ambos con un grupo control. De este estudio se derivan la segunda y tercera publicación de la tesis doctoral.

En la segunda publicación, titulada “*High-intensity Interval Circuit Training Versus Moderate-Intensity Continuous Training on Functional Ability and Body Mass Index in Middle-Aged and Older Women: A Randomized Controlled Trial*”, se analizaron los efectos producidos sobre variables funcionales y el índice de masa corporal.

Por último, en la tercera publicación, titulada “*High-intensity Interval Circuit Training Versus Moderate-Intensity Continuous Training on Cardiorespiratory Fitness in Middle-Aged and Older Women: A Randomized Controlled Trial*”, se analizaron los efectos producidos sobre el $VO_{2\text{máx}}$ estimado, las cifras de los valores de la presión arterial y los parámetros de frecuencia cardíaca.

Referencias

- Abreu, R. M., Rehder-Santos, P., Simões, R. P., y Catai, A. M. (2019). Can high-intensity interval training change cardiac autonomic control? A systematic review. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 23(4), 279–289. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2018.09.010>
- Adamson, S., Lorimer, R., Cobley, J. N., Lloyd, R., y Babraj, J. (2014). High intensity training improves health and physical function in middle aged adults. *Biology*, 3, 333-344. <https://doi.org/10.3390/biology3020333>
- Álvarez, C., Ramirez-Campillo, R., Martinez-Salazar, C., Mancilla, R., Flores-Opazo, M., Cano-Montoya, J., y Ciolac, E. G. (2016). Low-Volume High-Intensity Interval Training as a Therapy for Type 2 Diabetes. *International Journal of Sports Medicine*, 37(9), 723-729. <https://doi.org/10.1055/s-0042-104935>
- Chicharro, J. L., y Vaquero, A. F. (2008). *Fisiología del ejercicio*. Médica Panamericana.
- Coetsee, C., y Terblanche, E. (2017). The effect of three different exercise training modalities on cognitive and physical function in a healthy older population. *European Review of Aging and Physical Activity*, 14, 13. <https://doi.org/10.1186/s11556-017-0183-5>
- Conraads, V. M., Pattyn, N., De Maeyer, C., Beckers, P. J., Coeckelberghs, E., Cornelissen, V. A., Denollet, J., Frederix, G., Goetschalckx, K., Hoymans, V. Y., Possemiers, N., Schepers, D., Shivalkar, B., Voigt, J.-U., Van Craenenbroeck, E. M., y Vanhees, L. (2015). Aerobic interval training and continuous training equally improve aerobic exercise capacity in patients with coronary artery disease: the SAINTEX-CAD study. *International Journal of Cardiology*, 179, 203-210. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2014.10.155>
- Cordero, A., Masiá, M. D., y Galve, E. (2014). Ejercicio físico y salud. *Revista Española de Cardiología*, 67(9), 748-753. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2014.04.007>

- Currie, K. D., Dubberley, J. B., McKelvie, R. S., y MacDonald, M. J. (2013). Low-volume, high-intensity interval training in patients with CAD. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45(8), 1436-1442. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31828bbbd4>
- de Berrazueta, J. R. (2018). Envejecimiento y enfermedades cardiovasculares. *Anales RAMN*, 135(3), 266-280. <https://doi.org/10.32440/ar.2018.135.03.rev09>
- de Lorenzo, A., Van Bavel, D., de Moraes, R., y Tibiriça E. V. (2018). High-intensity interval training or continuous training, combined or not with fasting, in obese or overweight women with cardiometabolic risk factors: study protocol for a randomised clinical trial. *BMJ Open*, 8(4), e019304. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-019304>
- Dégano, I. R., Elosua, R. y Marrugat, J. (2013). Epidemiología del síndrome coronario agudo en España: estimación del número de casos y la tendencia de 2005 a 2049. *Revista Española de Cardiología*, 66(6), 472-81. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2013.01.019>
- Dun, Y., Thomas, R. J., Medina-Inojosa, J. R., Squieres, R., Huang, H., Smith, J. R., Liu, S., y Olson, T. P. (2019). High-Intensity Interval Training in Cardiac Rehabilitation. *Clinics in Geriatric Medicine*, 35, 469-487. <https://doi.org/10.1016/j.cger.2019.07.011>
- Freyssin, C., Verkindt, C., Prieur, F., Benaich, P., Maunier, S., y Blanc, P. (2012). Cardiac rehabilitation in chronic heart failure: effect of an 8-week, high-intensity interval training versus continuous training. *Archives of Physocal Medicine and Rehabilitation*, 93(8), 1359-1364. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.03.007>
- Giné-Garriga, M., Guerra, M., y Unnithan, V. B. (2013). The effect of functional circuit training on self-reported fear of falling and health status in a group of physically frail older individuals: a randomized controlled trial. *Aging Clinical and Experimental Research*, 25(3), 329–336. <https://doi.org/10.1007/s40520-013-0048-3>
- Guiraud, T., Juneau, M., Nigam, A., Gayda, M., Meyer, P., Mekary, S., Paillard, F., y Bosquet,

- L. (2010). Optimization of high intensity interval exercise in coronary heart disease. *European Journal of Applied Physiology*, 108(4), 733-40. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1287-z>
- Guiraud, T., Labrunee, M., Gaucher-Cazalis, K., Despas, F., Meyer, P., Bosquet, L., Gales, C., Vaccaro, A., Bousquet, M., Galinier, M., Sénard, J.-M., y Pathak, A. (2013). High-intensity interval exercise improves vagal tone and decreases arrhythmias in chronic heart failure. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45(10), 1861-1867. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182967559>
- Haskell, W. (2019). Guidelines for Physical Activity and Health in the United States. Evolution over 50 Years. *ACSM's Health & Fitness Journal*, 23(5), 5-8. <https://doi.org/10.1249/FIT.0000000000000506>
- Hawkins, S., y Wiswell, R. (2003). Rate and Mechanism of Maximal Oxygen Consumption Decline with Aging. *Sport Medicine*, 33(12), 877-888. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333120-00002>
- Huang, S.-C., Wong, M.-K., Lin, P.-J., Tsai, F.-C., Fu, T., Wen, M. S., Kuo, C.-T., y Wang, J.-S. (2014). Modified high-intensity interval training increases peak cardiac power output in patients with heart failure. *European Journal of Applied Physiology*, 114(9), 1853-1862. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2913-y>
- Iellamo, F., Manzi, V., Caminiti, G., Vitale, C., Castagna, C., Massaro, M., Franchini, A., Rsano, G., y Volterrani, M. (2013). Matched dose interval and continuous exercise training induce similar cardiorespiratory and metabolic adaptations in patients with heart failure. *International Journal of Cardiology*, 167(6), 2561-5. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2012.06.057>
- Instituto Nacional de Estadística. (2019). Defunciones según la causa de muerte.

<https://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=7947#!tabs-tabla>

Isaksen, K., Munk, P. S., Valborgland, T., y Larsen, A. I. (2015). Aerobic interval training in patients with heart failure and an implantable cardioverter defibrillator: a controlled study evaluating feasibility and effect. *European Journal of Preventive Cardiology*, 22(3), 296-303. <https://doi.org/10.1177/2047487313519345>

Kaikkonen, H., Yrjämä, M., Siljander, E., Byman, P., y Laukkanen, R. (2000). The effect of heart rate controlled low resistance circuit weight training and endurance training on maximal aerobic power in sedentary adults. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 10(4), 211-215. <https://10.1034/j.1600-0838.2000.010004211.x>

Keteyian, S. J., Hibner, B. A., Bronsteen, K., Kerrigan, D., Aldred, H. A., Reasons, L. M., Saval, M. A., Brawner, C. A., Schairer, J. R., Thompson, T. M. S., Hill, J., McCulloch, D., y Ehrman, J. K. (2014). Greater improvement in cardiorespiratory fitness using higher-intensity interval training in the standard cardiac rehabilitation setting. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, 34(2), 98-105. <https://doi.org/10.1097/HCR.0000000000000049>

Kim, C., Choi, H. E., y Lim, M. H. (2015). Effect of High Interval Training in Acute Myocardial Infarction Patients with Drug-Eluting Stent. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 94(10), 879-886. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000000290>

Marín-Cascales, E., Alcaraz, P. E., Ramos-Campo, D. J., y Rubio-Arias, J. A. (2018). Effects of multicomponent training on lean and bone mass in postmenopausal and older women: A systematic review. *Menopause*, 25(3), 346-356. <https://doi.org/10.1097/GME.0000000000000975>

Márquez, J., Suárez, G., y Márquez, J. (2013). Beneficios del ejercicio en la insuficiencia cardíaca. *Revista Chilena de Cardiología*, 32(1), 58-65. <https://doi.org/10.4067/S0718->

85602013000100009

- Normandin, E., Nigam, A., Meyer, P., Juneau, M., Guiraud, T., Bosquet, L., Mansour, A., y Gayda, M. (2013). Acute responses to intermittent and continuous exercise in heart failure patients. *Canadian Journal of Cardiology*, 29(4), 466-71. <https://doi.org/10.1016/j.cjca.2012.07.001>
- Papathanasiou, G., Tsamis, N., Georgiadou, P. y Adamopoulos, S. (2008). Beneficial effects of physical training and methodology of exercise prescription in patients with heart failure. *Hellenic Journal of Cardiology*, 49(4), 267-77.
- Pescatello, L. S., Arena, R., Riebe, D., y Thompson, P. D. *ACSM's Guidelines for Exercise Prescription. Ninth Edition*. Lipponcott Williams & Wilkins.
- Piercy, K. L., Troiano, R. P., Ballard, R. M., Carlson, S. A., Fulton, J. E., Galuska, D. A., George, S., y Olson, R. D. (2018). The Physical Activity Guidelines for Americans. *JAMA*, 320(19), 2020-2028. <https://doi.org/10.1001/jama.2018.14854>
- Romero-Arenas, S., Blazeovich, A. J., Martínez-Pascual, M., Pérez-Gómez, J., Luque, A. J., López-Román, F. J. y Alcaraz, P. E. (2013). Effects of high-resistance circuit training in an elderly population. *Experimental Gerontology*, 48(3), 334-340. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2013.01.007>
- Rosety, M. A., Pery, M. T., Rodríguez-Pareja, M. A., Diaz, A., Rosety, J., Garcia, N., Brenes-Martin, F., Rosety-Rodríguez, M., Toro, R., Ordoñez, F. J., y Rosety, I. (2015). A short-term circuit resistance programme reduced epicardial fat in obese aged women. *Nutricion Hospitalaria*, 32(5), 2193–2197. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.5.9696>
- Roth, G. A., Abate, D., Abate, K. H., Abay, S. M., Abbafati, C., Abbasi, N., Abastabar, H., Abd-Allah, F., Abdela, J., Abdelalim, A., Abdollahpour, I., Abdulkader, R. S., Abebe, H. T., Abebe, M., Abebe, Z., Abejie, A. N., Abera, S. F., Abil, O. Z., Abraha, H. N., Abrham, A.

- R., et al. (2018). Global, regional, and national age-sex-specific mortality for 282 causes of death in 195 countries and territories, 1980–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet*, 392(10159), 1736–1788. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32203-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32203-7)
- Tesch, P. A. (1992). *Training for bodybuilding*. Strength and power in sport. Blackwell Scientific Publications, 370-81.
- Venturelli, M., Cè, E., Limonta, E., Schena, F., Caimi, B., Carugo, S., Veicsteinas, A., y Esposito, F. (2015). Effects of endurance, circuit, and relaxing training on cardiovascular risk factors in hypertensive elderly patients. *Age*, 37(5), 101. <https://doi.org/10.1007/s11357-015-9835-4>
- Wewege, M. A., Ahn, D., Yu, J., Liou, K., y Keech, A. (2018). High-intensity interval training for patients with cardiovascular disease-is it safe? A systematic review. *Journal of the American Heart Association*, 7(21), 1–19. <https://doi.org/10.1161/JAHA.118.009305>
- Whitehurst, M. A., Johnson, B. L., Parker, C. M., Brown, L. E. y Ford, A. M. (2005). The benefits of a functional exercise circuit for older adults. *Journal of strength & conditioning research*, 19(3), 647-51. <https://doi.org/10.1519/R-14964.1>
- Wisløff, U., Støylen, A., Loennechen, J. P., Bruvold, M., Rognum, Ø., Haram, P. M., Tjønnå, A. R., Helderud, J., Slørdahl, S. A., Lee, S. J., Videm, V., Bye, A., Smith, G. L., Najjar, S. M., Ellingsen, Ø., y Skjaerpe, T. (2007). Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. *Circulation*, 115(24), 3086-3094. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.675041>

Publicación 1:

“High-intensity Interval Training Dosage for Heart Failure and Coronary Artery Disease Cardiac Rehabilitation. A Systematic Review and Meta-analysis”.

RESUMEN

Introducción y objetivos: Se ha propuesto el ejercicio interválico de alta intensidad (HIIT) en programas de rehabilitación cardíaca para mejorar el $VO_{2máx}$. Sin embargo, no se conoce cuál es el mejor protocolo HIIT. El objetivo es encontrar la mejor dosis de HIIT para optimizar el $VO_{2máx}$ de pacientes con enfermedad de las arterias coronarias (EAC) e insuficiencia cardíaca (IC).

Método: Se llevó a cabo una búsqueda en 6 bases de datos (MEDLINE, Web of Science, LILACS, CINAHL, Academic Search Complete y SportDiscus). Se incluyeron los estudios que usaban el protocolo HIIT y midieron el $VO_{2máx}$ de pacientes con EAC e IC. Se utilizó la escala PEDro y las herramientas de la Colaboración Cochrane.

Resultados: El análisis mostró mejoras significativas en el $VO_{2máx}$ tras el HIIT en ambas enfermedades ($p = 0.000001$), con mayor incremento en los pacientes con IC ($p = 0.03$). Sin embargo, en estos no hubo mejora si la intensidad de recuperación era $\leq 40\%$ del $VO_{2máx}$ ($p = 0.19$) o la frecuencia de entrenamiento era ≤ 2 días/semana ($p = 0.07$). Hubo diferencias significativas según la duración entre los pacientes con EAC, que mostraron resultados superiores cuando era < 12 semanas ($p = 0.05$). Los pacientes con IC no mostraron mejoras significativas en el $VO_{2máx}$ cuando la duración era < 12 semanas ($p = 0.1$).

Conclusiones: El HIIT es un método efectivo para mejorar el $VO_{2máx}$ de los pacientes con IC o EAC, con mayor diferencia significativa en los pacientes con IC. Los intervalos de recuperación de los pacientes con IC deben ser activos y estar en un 40-60% del $VO_{2máx}$. La frecuencia de entrenamiento debería ser ≥ 2 días/semana en la EAC y ≥ 3 días/semana en la IC.

Palabras clave: Entrenamiento interválico de alta intensidad; Ejercicio interválico; $VO_{2máx}$; Insuficiencia cardíaca; Enfermedad de las arterias coronarias.

INTRODUCCIÓN

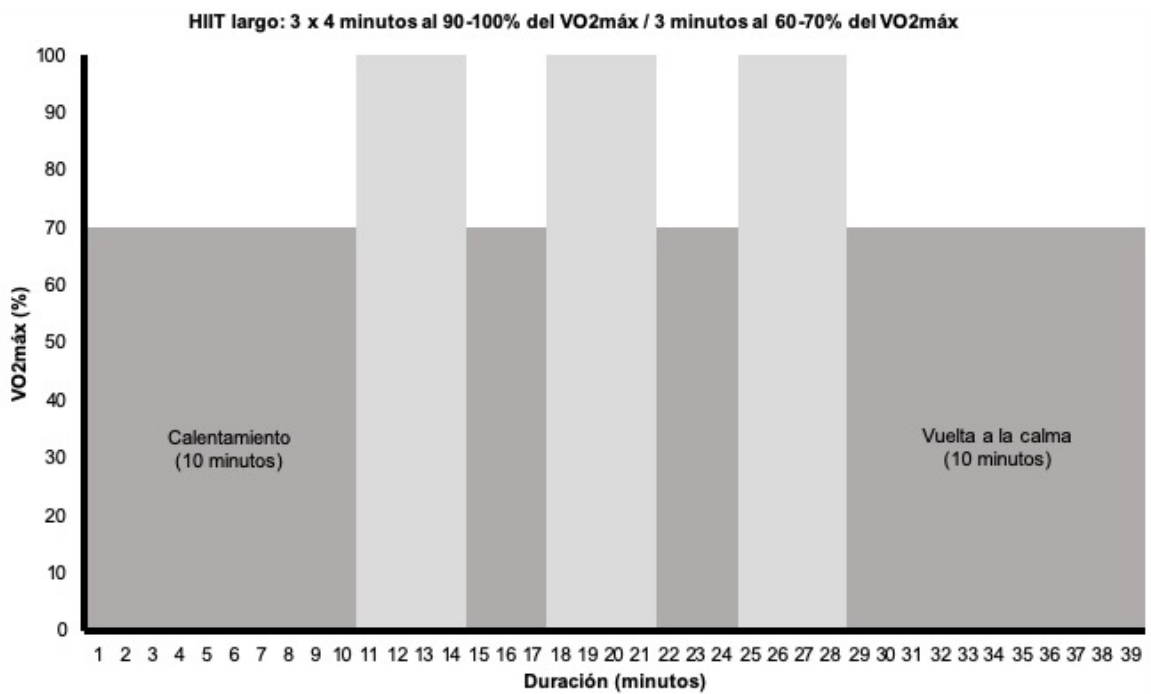
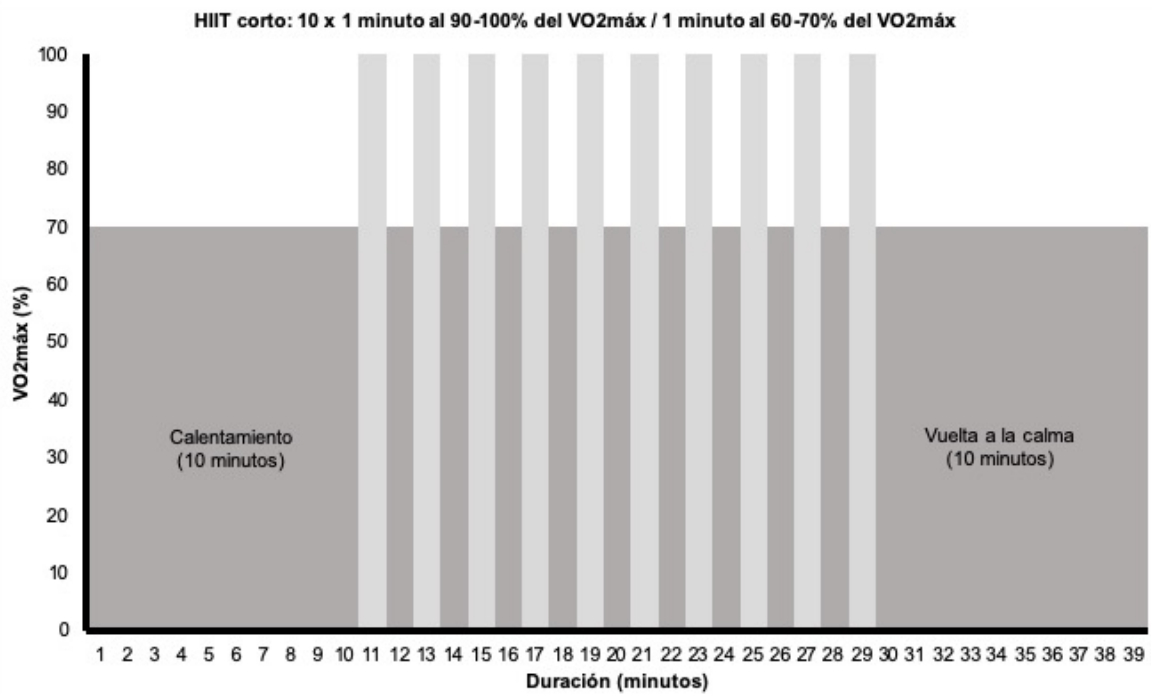
La enfermedad arterial coronaria (EAC) es una de las causas de muerte más frecuentes en todo el mundo, y afecta a 17.5 millones de personas cada año (OMS, 2016). La cardiopatía isquémica y la insuficiencia cardiaca (IC) crónica son enfermedades mortales y causan 8.76 millones de muertes en todo el mundo (OMS, 2017) y un mayor gasto al sistema (Ferreira-González, 2014). Esta EAC reduce la tolerancia al ejercicio o el consumo máximo de oxígeno ($VO_{2m\acute{a}x}$), lo cual acaba desembocando en una disfunción cardiaca, respiratoria y endotelial (Sayago-Silva et al., 2013). Además, la IC es el estadio final de todas las enfermedades cardiovasculares, puesto que afecta tanto a la función cardiaca como a la circulación cardiovascular (Wisløff et al., 2007). Por este motivo, se definen como un síndrome de incapacidad que causa morbilidad y cuyos síntomas están ligados a la fatiga, la disnea y la intolerancia al ejercicio (Sayago-Silva et al., 2013).

Actualmente, está ampliamente demostrado que uno de los efectos beneficiosos del ejercicio aeróbico es el aumento del $VO_{2m\acute{a}x}$ (Chrysohou et al., 2015; Currie et al., 2013; Freyssin et al., 2012; Roditis et al., 2007), que es uno de los más importantes indicadores de supervivencia de las personas con EAC (Amundsen et al., 2008; Cardozo et al., 2015; Guiraud et al., 2010; Madssen et al., 2014; Wisløff et al., 2017) o IC (Wisløff et al., 2017). Se ha estudiado el entrenamiento de ejercicio aeróbico continuo para los programas de rehabilitación cardiaca. Consiste en realizar ejercicio durante un tiempo largo mediante una actividad aeróbica de intensidad moderada y no variable (un 60-80% del $VO_{2m\acute{a}x}$) (Amundsen et al., 2008; Cardozo et al., 2015; Currie et al., 2013; Moholdt et al., 2014; Wisløff et al., 2007). Sin embargo, los actuales protocolos de ejercicio interválico de alta intensidad (HIIT) están generando mejores resultados en el $VO_{2m\acute{a}x}$ en menos tiempo (Currie et al., 2013; Fu et al., 2013; Kim et al., 2015; Madssen et al., 2014; Moholdt et al., 2014; Wisløff et al., 2007). Estos protocolos

consisten en cortos periodos de ejercicio de alta intensidad (85-100% del $VO_{2m\acute{a}x}$) y periodos de descanso relativo (Guiraud et al., 2010; Kim et al., 2015). Una sesi3n habitual de HIIT consiste en un precalentamiento de 10 min a un 50-70% del $VO_{2m\acute{a}x}$ seguido de una serie de cuatro rondas de 3-4 minutos - HIIT con intervalos de trabajo largos - (Amundsen et al., 2008; Cardozo et al., 2015; Conraads et al., 2015; Fu et al., 2013; Guiraud et al., 2010; Huang et al., 2014; Iellamo et al., 2012; Iellamo et al., 2014; Isaksen et al., 2014; Keteyian et al., 2014; Kim et al., 2015; Madssen et al., 2014; Moholdt et al., 2009; Wisl3ff et al., 2007) o de una serie de 10 rondas de 30-60 segundos - HIIT con intervalos de trabajo cortos - (Benda et al., 2015; Chrysohoou et al., 2015; Currie et al., 2013; Freyssin et al., 2012; Roditis et al., 2007) a un 85-95% del $VO_{2m\acute{a}x}$ separados por pausas activas a un 50-70% del $VO_{2m\acute{a}x}$. Como se muestra en la Figura 1, el protocolo termina con una vuelta a la calma a un 50-70% del $VO_{2m\acute{a}x}$ (Wisl3ff et al., 2007). Sin embargo, aunque se sabe que el HIIT produce su m\acute{a}ximo efecto en el $VO_{2m\acute{a}x}$ de los pacientes con EAC o IC (Fu et al., 2013; Kim et al., 2015; Madssen et al., 2014; Moholdt et al., 2012; Wisl3ff et al., 2007), ha habido muchas diferencias en los protocolos de ejercicio propuestos en este \u00e1mbito, que afectan a la frecuencia 2-5 d\u00edas/semana) (Benda et al., 2015; Cardozo et al., 2015; Freyssin et al., 2012; Moholdt et al., 2012), la duraci3n (30-60 minuto/sesi3n) (Benda et al., 2015; Dupont et al., 2004; Kim et al., 2015), la intensidad de la recuperaci3n (de 0 al 70% del $VO_{2m\acute{a}x}$) (Chrysohoou et al., 2015; Currie et al., 2013; Isaksen et al., 2015; Moholdt et al., 2012), el n\u00famero de sesiones (> 100 sesiones) (Madssen et al., 2014), la duraci3n del periodo de aplicaci3n (4-50 semanas) (Conraads et al., 2015; Freyssin et al., 2012; Fu et al., 2013; Madssen et al., 2014) e incluso las caracter\u00edsticas de los pacientes (Cardozo et al., 2015; Isaksen et al., 2015; Moholdt et al., 2012). Identificar la influencia de estas variables en el $VO_{2m\acute{a}x}$ podr\u00eda ser \u00fatil para optimizar los programas de rehabilitaci3n cardiaca para los pacientes con IC o EAC.

Figura 1

Representación esquemática de los HIIT cortos y los HIIT largos.



Además, otros estudios se han centrado en la identificación de qué tipo de intervención de HIIT es más eficaz para mejorar la capacidad funcional de los pacientes con IC o EAC, ya que el proceso de rehabilitación y las discapacidades producidas por ambas enfermedades difieren (Cardozo et al., 2015; Dimopoulos et al., 2006). Sin embargo, hoy no se sabe cuál es el mejor protocolo de HIIT para una u otra enfermedad ni cuál es la mejor cantidad de este tipo de ejercicio para mejorar el programa de rehabilitación cardiaca en cada enfermedad.

En consecuencia, el objetivo de este estudio es llevar a cabo un metanálisis para *a)* identificar la mejor dosis de HIIT para optimizar el entrenamiento de HIIT de los pacientes con IC o EAC, y *b)* determinar de qué manera el protocolo de HIIT afecta a los pacientes con IC o EAC por lo que respecta a su $VO_{2máx}$.

MÉTODOS

Diseño del estudio

La revisión sistemática y metanálisis se llevaron a cabo según el método PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (Urrutia y Bonfill, 2010). Realizaron la búsqueda dos de los autores (I. Ballesta García y J. Á. Rubio Arias), y todos los autores llegaron a un acuerdo respecto a los métodos, la inclusión de los artículos y el análisis estadístico. Los artículos se organizaron de manera que se eliminaran las publicaciones duplicadas. Se obtuvo el texto completo y se realizó la evaluación basada en los criterios de selección propuestos. Las variables relacionadas con el método de entrenamiento, como la frecuencia, la duración total de la sesión, la duración del ejercicio y los intervalos de recuperación, el número total de sesiones, el porcentaje de intensidad de cada intervalo, así como la edad, el índice de masa corporal, el sexo y el número de pacientes de cada estudio, se extrajeron de los artículos y se introdujeron en una hoja de cálculo Excel.

Estrategia de búsqueda

Las búsquedas en bases de datos electrónicas se realizaron en MEDLINE, *Web of Science*, LILACS, CINAHL, Academic Search Complete y SportDiscus. Los términos de búsqueda elegidos fueron los siguientes: (“Heart disease” OR “Heart Failure” OR “Coronary Artery Disease” OR CAD) AND (“High-intensity” OR “High intensity” OR HIT OR “Interval training”). Los resultados de la búsqueda y la selección final de los estudios se muestran en la Figura 2.

Criterios de inclusión

Los autores determinaron los criterios de inclusión. Se incluyeron los ensayos controlados y aleatorizados, publicados en inglés o en español entre enero de 2004 y marzo de 2017, en que se hubiera utilizado un protocolo de HIIT para pacientes con EAC o IC y se midiera el $VO_{2\text{máx}}$. Se excluyeron los estudios basados en programas de HIIT acuáticos, los que combinaran el HIIT con un entrenamiento de resistencia, los de HIIT domiciliario, los que consideraran los resultados de $VO_{2\text{máx}}$ en la EAC y en la IC de manera independiente, los que incluyeran a pacientes con trasplantes, injertos o valvulopatías y los que estudiaran suplementos alimenticios o ayudas nutricionales o farmacológicas.

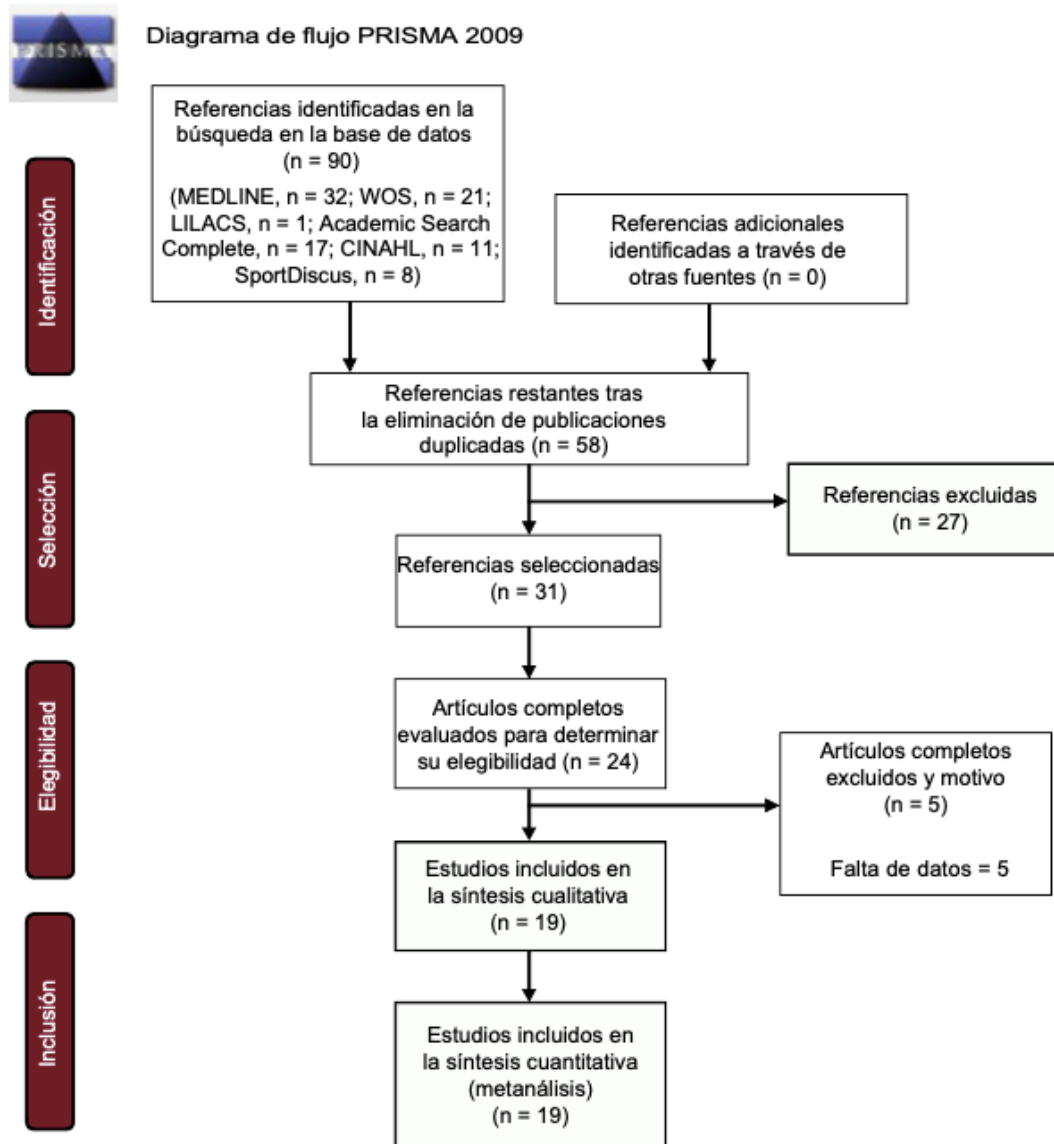
Análisis estadístico

El metanálisis y el análisis estadístico se llevaron a cabo con el programa informático Review Manager (Versión 5.2) (Cochrane Collaboration, 2011) y el programa Comprehensive Meta-analysis (Versión 2) (Biostat; Englewood, New Jersey, Estados Unidos). Se llevó a cabo un metanálisis de efectos aleatorios para determinar en qué enfermedad se obtenía un mayor beneficio con el HIIT y si había diferencias entre los protocolos de HIIT utilizados para cada trastorno. Se tuvieron en cuenta la densidad de trabajo (cociente de ejercicio/reposo), la

duración del intervalo de trabajo y su intensidad y las variables de frecuencia del protocolo para determinar los cambios de cada variable.

Figura 2

Diagrama de flujo de la revisión sistemática y el metanálisis.



Dada la heterogeneidad del protocolo (Tabla 1), se utilizaron las diferencias medias, dividiendo los valores medios entre dos grupos diferentes. Las diferencias de las medias se

agruparon mediante un modelo de efectos aleatorios. La heterogeneidad entre los estudios se analizó con el estadístico I^2 . Las variables dicotómicas y continuas de los estudios se compararon con los posibles factores moderadores del $VO_{2m\acute{a}x}$ extraídos. Se utilizaron las medianas de las variables continuas para agrupar los estudios. A continuación, se expresaron las diferencias de HIIT entre los valores previos y los posteriores y se analizaron según los cambios de las posibles variables moderadoras. Se evaluó el sesgo de publicación en las diferentes situaciones analizadas (previa frente a posterior) mediante el examen de la asimetría en un gráfico de embudo aplicando la prueba de Egger, y se consideró estadísticamente significativo un valor de $p \leq 0.05$. Se evaluó la calidad metodológica de los estudios mediante la escala PEDro. El riesgo de sesgo se evaluó con las herramientas de la Cochrane Collaboration modificadas. El sesgo se evaluó mediante la valoración (grande, pequeño o incierto) de cada uno de los elementos de cinco dominios: selección, realización, abandonos, notificación y cualquier otro sesgo (criterios de inclusión de pacientes en los estudios y el país en el que se realizó el estudio).

RESULTADOS

Según nuestros criterios de inclusión, se incluyeron en este metanálisis 19 estudios, diez de ellos en la IC y nueve en la EAC. La prueba de Egger mostró una evidencia estadística de simetría en el gráfico de embudo (Figura 3), lo cual indica un sesgo de publicación significativo.

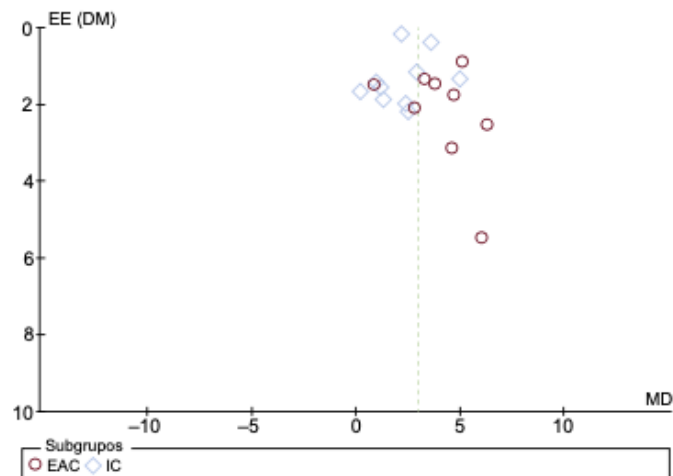
La evaluación del riesgo de sesgo se muestra en la Figura 4. Fue grande en casi todos los estudios a causa de la falta de enmascaramiento de los participantes y del personal del estudio. Sin embargo, esto no podía omitirse debido a la peculiaridad de la intervención (ejercicio frente sin ejercicio) y se debe considerar en perspectiva.

Tabla 1*Características generales de los estudios incluidos en el metanálisis*

Estudios	Ubicación del estudio, país	Enfermedad	n_HIIT	Varones, %	Edad (años)	IMC
Benda et al. (2015)	Nimega, Países Bajos	IC	10	100	63.0±8	28.1±7.5
Cardozo et al. (2015)	Río de Janeiro, Brasil	EAC	23	63	56.0±12	27.5±5.9
Chrysohoou et al. (2015)	Río de Janeiro, Brasil	IC	33	88	63.0±9	28.8±4.2
Conraads et al. (2015)	Atenas, Grecia	EAC	100	85	57.0±8	28±4.4
Currie et al. (2013)	Hamilton, Canadá	EAC	11	91	67.2±6	27.9±4.9
Dimopoulos et al. (2006)	Atenas, Grecia	IC	10	90	59.2±12	26.5±4.1
Freyssin et al. (2013)	Isla Reunión, Francia	IC	13	50	54.0±9	24.8±4
Fu et al. (2013)	Keelung, Taiwán	IC	14	61	67.5±1	-
Huang et al. (2014)	Taoyuan, Taiwán	IC	33	78	60.0±3	-
Isaksen et al. (2015)	Stavanger, Noruega	IC	24	88	65.0±9	27.8±4
Kim et al. (2015)	Seúl, Corea	EAC	14	86	57.0±11	24.2±2.9
Koufaki et al. (2014)	Staffordshire, Reino Unido	IC	16	87	59.8±7	28.9±4.7
Madssen et al. (2014)	Trondheim, Noruega	EAC	24	75	64.4(47-78)	28±3.9
Moholdt et al. (2009)	Trondheim, Noruega	EAC	28	86	60.2±6	26±6.2
Moholdt et al. (2012)	Trondheim, Noruega	EAC	11	83	57.7±9	26.6±3
Roditis et al. (2007)	Atenas, Grecia	IC	11	90	63.0±2	25.9±2.8
Rognmo et al. (2004)	Trondheim, Noruega	EAC	8	75	62.9±11	26.7±4.1
Smart et al. (2013)	Atenas, Grecia	IC	10	100	59.1±11	28.9±6.1
Warburton et al. (2005)	Vancouver, Canadá	EAC	7	100	55.0±7	-

Figura 3

Gráfico de embudo de la comparación EAC frente a IC: diferencia media.



Notas. EAC: enfermedad de las arterias coronarias; EE: error estándar; IC: insuficiencia *cardiaca*.

Las principales características de los estudios y de las intervenciones de entrenamiento se describen en las Tablas 1 y 2, respectivamente.

Figura 4

Evaluación del riesgo de sesgo en los ensayos controlados y aleatorizados incluidos.

Estudio	Generación de secuencia aleatoria (sesgo de selección)	Ocultación de la asignación (sesgo de selección)	Enmascaramiento de los participantes y el personal (sesgo de procedimiento)	Enmascaramiento de la evaluación del resultado (sesgo de detección)	Datos de resultados incompletos (sesgo de exclusión)	Notificación selectiva (sesgo de notificación)	Otros sesgos
Benda et al. ²⁴	+	?	+	?	+	+	?
Cardozo et al. ¹¹	+	?	+	?	+	+	?
Chrysohoou et al. ⁶	+	?	+	?	+	+	?
Corraads et al. ¹⁸	+	?	+	?	+	+	?
Currie et al. ⁹	+	?	+	?	+	+	?
Dimopoulos et al. ²⁷	+	?	+	?	+	+	?
Freyssin et al. ⁹	+	?	+	?	+	+	?
Fu et al. ¹⁶	+	?	+	?	+	+	?
Huang et al. ¹⁹	+	?	+	?	+	+	?
Isaksen et al. ¹⁷	+	?	+	?	+	+	?
Kim et al. ¹⁵	+	?	+	?	+	+	?
Koufraki et al. ³⁰	+	?	+	?	+	+	?
Madsen et al. ¹³	+	?	+	?	+	+	?
Moholdt et al. ³¹	+	?	+	?	+	+	?
Moholdt et al. ²¹	+	?	+	?	+	+	?
Roditis et al. ⁷	+	?	+	?	+	+	?
Rognmo et al. ²⁵	+	?	+	?	+	+	?
Smart et al. ³³	+	?	+	?	+	+	?
Warburton et al. ³⁴	+	?	+	?	+	+	?

Los efectos del EIAI que se analizaron en el metanálisis en ambas enfermedades fueron favorables ($p < 0.000001$) para el $VO_{2m\acute{a}x}$: 3.98 (IC95%, 2.94-5.02) ml/kg/min en los pacientes con EAC y 2.55 (IC95%, 1.73-3.36) ml/kg/min en los pacientes con IC (Figura 5). Sin embargo, hubo diferencias significativas del $VO_{2m\acute{a}x}$ entre las dos enfermedades, favorables a los pacientes con IC ($p = 0.03$) (Figura 5).

Con las variables moderadoras, los resultados mostraron mejoras estadísticas del $VO_{2m\acute{a}x}$ en cada subgrupo analizado para ambas enfermedades ($p < 0.05$) (Tablas 3 y 4). No hubo diferencias estadísticamente significativas entre los subgrupos según las características de la población en la EAC ni en la IC (Tablas 3 y 4).

Por lo que respecta a las características del ejercicio, hubo mejoras estadísticamente significativas del $VO_{2m\acute{a}x}$ en cada uno de los subgrupos de pacientes con EAC analizados ($p < 0.05$) (Tabla 5). Sin embargo, en los pacientes con IC no se observaron mejoras del $VO_{2m\acute{a}x}$ cuando la intensidad de la recuperación era $\leq 40\%$ del $VO_{2m\acute{a}x}$ ($p = 0.19$), cuando el tipo de recuperación era pasivo ($p = 0.09$) y en los protocolos de 2 días/semana o menos ($p = 0.07$) (Currie et al., 2013; Moholdt et al., 2014) (Tabla 6).

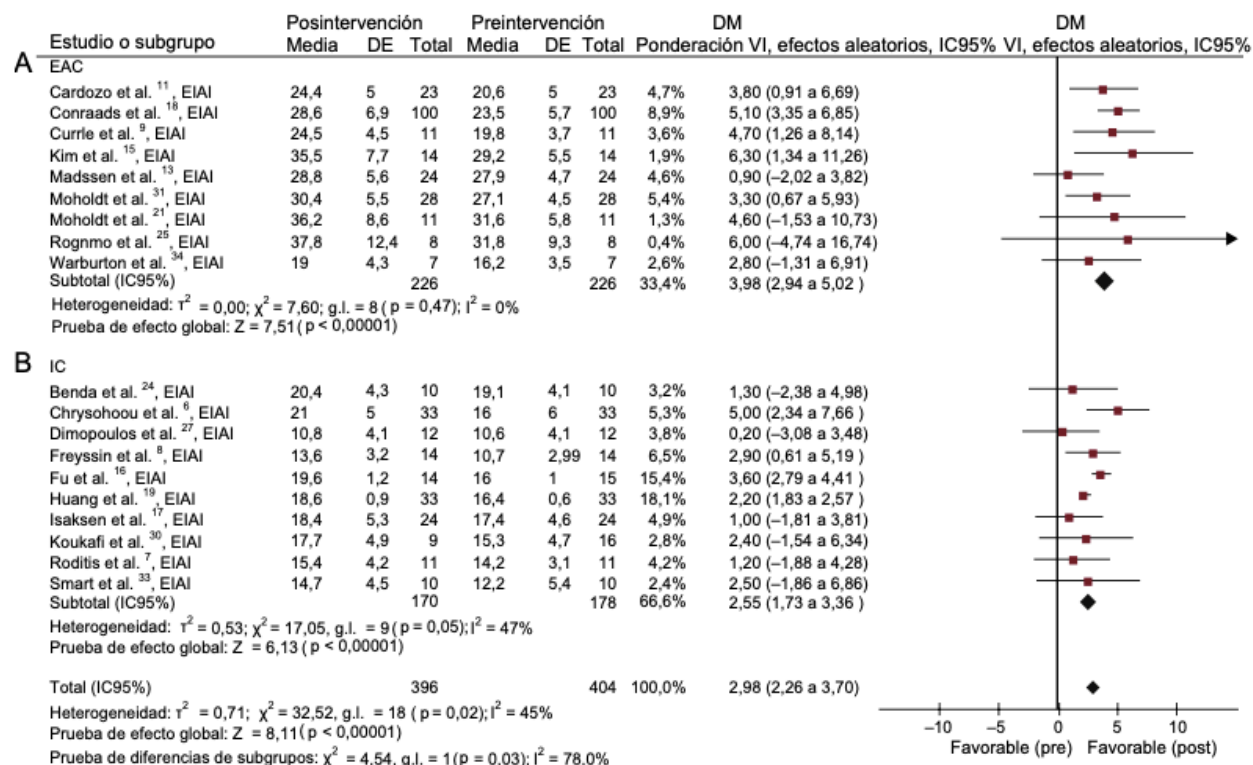
En lo relativo a la duración del protocolo, hubo diferencias significativas en los pacientes con EAC, que mostraron una mejora del $VO_{2m\acute{a}x}$ superior cuando el programa se realizaba durante un periodo < 12 semanas ($p = 0.05$) (Tabla 6). En cambio, no hubo diferencias significativas en los pacientes con IC al comparar un programa > 12 semanas con otro ≤ 12 semanas ($p = 0.96$). Sin embargo, un programa de una duración > 12 semanas no produjo mejoras significativas del $VO_{2m\acute{a}x}$ de los pacientes con IC ($p = 0.1$; $I^2 = 0$) (Tabla 5).

De igual modo, no hubo diferencias significativas entre los protocolos de HIIT con intervalos de ejercicio cortos y los protocolos con intervalos de ejercicio largos en ninguna de las dos enfermedades ($p = 0.87$), si bien ambas mostraron mejoras significativas del $VO_{2m\acute{a}x}$ (p

< 0.000001). En cambio, hubo diferencias significativas del VO_{2máx} entre las 2 enfermedades, favorables a los pacientes con IC ($p = 0.03$) (Figura 5).

Figura 5

A: DM entre el VO_{2máx} (ml/kg/min) anterior y posterior a la intervención de HIIT en los pacientes con EAC. B: DM entre el VO_{2máx} (ml/kg/min) anterior y posterior a la intervención de HIIT en los pacientes con IC.



Notas. Los cuadros indican la DM de cada ensayo. El rombo indica la DM combinada de todos los ensayos. La ponderación determina en qué medida contribuye uno de los estudios a la estimación general (Strait y Lakatta, 2012). El total es el número de participantes de los grupos HIIT. DT: desviación típica; DM: diferencia media; EAC: enfermedad de las arterias coronarias; EIAI: grupos de ejercicio interválico de alta intensidad; EIAI: entrenamiento interválico de alta intensidad; IC: insuficiencia cardíaca; IC95%: intervalo de confianza del 95%; VI: varianza inversa.

DISCUSIÓN

Este metanálisis determina de qué manera diferentes protocolos de HIIT modifican el $VO_{2\text{máx}}$ de los pacientes con IC o EAC y describe las dosis más eficaces de HIIT para optimizar el entrenamiento. El principal resultado del estudio es que el HIIT resulta más eficaz en la mejora del $VO_{2\text{máx}}$ de los pacientes con IC que en la de los pacientes con EAC. Sin embargo, el máximo beneficio en cuanto al $VO_{2\text{máx}}$ es el obtenido entre las semanas 6 y 12 en ambas enfermedades. Además, los pacientes con IC no obtuvieron mejoras significativas del $VO_{2\text{máx}}$ cuando el protocolo de EIAI era > 12 semanas. Es posible que este resultado se deba al hecho de que solo dos estudios (Koufaki et al., 2014; Smart et al., 2013) siguieron un protocolo > 12 semanas, mientras que ocho estudios (Benda et al., 2015; Chrysohoou et al., 2015; Dimopoulos et al., 2006; Freyssin et al., 2013; Fu et al., 2013; Huang et al., 2014; Isaksen et al., 2015; Roditis et al., 2007) siguieron protocolos ≤ 12 semanas. De hecho, no se observaron diferencias significativas entre los dos subgrupos ($p = 0.96$). De igual modo, los pacientes con EAC alcanzaron una mejora superior del $VO_{2\text{máx}}$ cuando la duración del protocolo era < 12 semanas, y con diferencias significativas entre los dos subgrupos ($p = 0.05$).

Por lo que respecta a la edad, no hubo diferencias significativas entre los subgrupos (≥ 57 y < 57 años, pacientes con EAC [de 56-65 años] y ≥ 62 y < 62 años [54-68 años], pacientes con IC). Este resultado indicaba que la edad no influye en las mejoras del $VO_{2\text{máx}}$, aunque algunas investigaciones aseguran que la edad es un factor determinante en la aparición de la IC o la EAC debido a las enfermedades asociadas a la edad (Nakazato et al., 2014; Strait et al., 2012). Según Amundsen et al. (2006), estos resultados indican que el HIIT induce cambios de la contractilidad cardiaca y aumenta el llenado del ventrículo izquierdo. Así pues, se observan mejoras del $VO_{2\text{máx}}$ derivadas de las mejoras en la fracción de eyección del ventrículo izquierdo, con independencia de la edad.

Tabla 2

Características de las intervenciones de ejercicio aeróbico en los estudios incluidos en el metanálisis

Estudios	Enf	Tipo	Frecuencia (semanas)	Volumen (min)	Trabajo (min)	Descanso (min)	Duración (semanas)	Sesiones	Intensidad (% VO _{2máx}) ^a	R	Aumento VO _{2máx} (%) ^b
Benda et al. (2015)	IC	C	2	30	1	2	12	24	90	0.5	6.8
Cardozo et al. (2015)	EAC	L	3	28	4	3	16	48	90	1.33	18.44
Chrysohoou et al. (2015)	IC	C	3	45	0.5	0.5	12	36	100	1	31.25
Conraads et al. (2015)	EAC	L	3	28	4	3	12	36	90-95	1.33	21.7
Currie et al. (2013)	EAC	C	2	20	1	1	12	24	80-100	1	23.73
Dimopoulos et al. (2006)	IC	C	3	36	0.5	0.5	12	36	100	1	7.79
Freyssin et al. (2012)	IC	C	5	69	0.5	1	8	40	80-95	0.5	27.1
Fu et al. (2013)	IC	L	3	30	3	3	12	36	80	1	22.5
Huang et al. (2014)	IC	L	3	42	3	3	12	36	80	1	13.41
Isaksen et al. (2015)	IC	L	3	28	4	3	12	36	85	1.33	5.74
Kim et al. (2015)	EAC	L	3	28	4	3	6	18	85-95	1.33	22.16
Koufaki et al. (2014)	IC	C	3	-	0.5	1	24	72	100	0.5	15.68
Madssen et al. (2014)	EAC	L	3	28	4	3	52	156	85-95	1.33	3.22
Moholdt et al. (2009)	EAC	L	5	28	4	3	4	20	90	1.33	12.17
Moholdt et al. (2012)	EAC	L	3	28	4	3	12	36	85-95	1.33	14.55
Roditis et al. (2007)	IC	C	3	40	0.5	0.5	6	18	100	1	8.45
Rognmo et al. (2004)	EAC	L	3	28	4	3	10	30	80-90	1.33	18.86
Smart et al. (2013)	IC	C	3	60	1	1	48	16	70	0.5	20.49
Warburton et al. (2005)	EAC	C	3	-	2	3	16	48	85-95	0.66	17.28

Nota. Enf: enfermedad; EAC: enfermedad de las arterias coronarias; C: protocolo de HIIT con intervalos de ejercicio cortos; L: protocolo de HIIT con intervalos de ejercicio largos; IC: insuficiencia cardíaca; R: densidad (cociente ejercicio/recuperación); VO_{2máx}: consumo máximo de oxígeno.

^a Porcentaje de VO_{2máx} del ejercicio interválico.

^b Porcentaje de aumento del VO_{2máx} después del ejercicio.

Tabla 3

Análisis de subgrupos para evaluar los posibles factores moderadores del aumento de VO_{2máx} en los estudios de la EAC incluidos en el metanálisis según las características de la población.

Grupo	Estudios de investigación		VO _{2máx}			
	HIIT	Bibliografía	DM (IC95%)	I ²	p ^b	Dif p ^c
<i>Número de participantes^a</i>						
< 14	4	Currie et al. (2013); Moholdt et al. (2012); Rognmo et al. (2004); Warburton et al. (2005)	4.12 (1.75-6.48)	0	0.0006	0.81
≥ 14	5	Cardozo et al. (2015); Conraads et al. (2015); Kim et al. (2015); Madssen et al. (2014); Moholdt et al. (2009)	3.77 (2.14-5.40)	42	< 0.00001	
<i>IMC</i>						
25-29.9	6	Cardozo et al. (2015); Conraads et al. (2015); Currie et al. (2013); Moholdt et al. (2012); Moholdt et al. (2009); Rognmo et al. (2004)	4.46 (3.27-6.65)	0	0.00001	0.48
≤ 24.9	1	Kim et al. (2015)	6.30 (1.34-11.26)	0	< 0.01	
<i>Sexo</i>						
Varones	2	Rognmo et al. (2004); Warburton et al. (2005)	3.21 (-0.63-7.04)	0	0.1	0.71
Varones y mujeres	7	Cardozo et al. (2015); Conraads et al. (2015); Currie et al. (2013); Kim et al. (2015); Madssen et al. (2014); Moholdt et al. (2009); Moholdt et al. (2012)	3.97 (2.74-5.20)	16	< 0.00001	
<i>Edad</i>						
> 57 años	4	Currie et al. (2013); Moholdt et al. (2009); Moholdt et al. (2012); Rognmo et al. (2004)	3.97 (2.02-5.91)	0	< 0.00001	0.86
≤ 57 años	4	Cardozo et al. (2015); Conraads et al. (2015); Kim et al. (2015); Warburton et al. (2005)	3.97 (2.02-5.91)	43	< 0.00001	
<i>Calidad metodológica</i>						
>7 puntos	5	Cardozo et al. (2015); Conraads et al. (2015); Currie et al. (2013); Moholdt et al. (2009); Rognmo et al. (2004)	3.72 (2.26-5.19)	36	< 0.00001	0.66
≤ 7 puntos	4	Kim et al. (2015); Madssen et al. (2014); Moholdt et al. (2012); Warburton et al. (2005)	4.41 (1.69-7.13)	0	0.0001	

Nota. DM: diferencia media; HIIT: grupos de ejercicio interválico de alta intensidad; I²: heterogeneidad; IC95%: intervalo de confianza del 95%; IMC: índice de masa corporal; VO_{2máx}: consumo máximo de oxígeno.

^a Número de individuos del grupo de HIIT.

^b Prueba del efecto general.

^c Prueba de las diferencias en los subgrupos.

Tabla 4

Análisis de subgrupos para evaluar los posibles factores moderadores del aumento de VO_{2máx} en los estudios de la IC incluidos en el metanálisis según las características de la población.

Grupo	Estudios de investigación		DM (IC95%)	VO _{2máx}		Dif p ^c
	HIIT	Bibliografía		I ²	p ^b	
<i>Número de participantes^a</i>						
< 14	6	Benda et al. (2015); Dimopoulos et al. (2006); Freyssin et al. (2012); Koufaki et al. (2014); Roditis et al. (2007); Smart et al. (2013)	1.79 (0.40-3.19)	0	0.01	0.24
≥ 14	4	Chrysohoou et al. (2015); Fu et al. (2013); Huang et al. (2014); Isaksen et al. (2015)	2.87 (1.75-4.00)	72	< 0.00001	
<i>IMC</i>						
25-29.9	7	Benda et al. (2015); Chrysohoou et al. (2015); Dimopoulos et al. (2006); Isaksen et al. (2015); Koufaki et al. (2014); Roditis et al. (2007); Smart et al. (2013)	2.04 (0.70-3.38)	14	0.0003	0.36
≤ 24.9	3	Freyssin et al. (2012); Fu et al. (2013); Huang et al. (2014)	2.85 (1.72-3.99)	79	< 0.0001	
<i>Sexo</i>						
Varones	2	Benda et al. (2015); Smart et al. (2013)	1.80 (-1.01-4.61)	0	0.1	0.6
Varones y mujeres	8	Chrysohoou et al. (2015); Dimopoulos et al. (2006); Freyssin et al. (2012); Fu et al. (2013); Huang et al. (2014); Isaksen et al. (2015); Koufaki et al. (2014); Roditis et al. (2007)	2.59 (1.68-3.50)	58	< 0.00001	
<i>Edad</i>						
≥ 62 años	5	Benda et al. (2012); Chrysohoou et al. (2015); Fu et al. (2013); Isaksen et al. (2015); Roditis et al. (2007)	2.66 (0.21-5.11)	67	0.03	0.73
< 62 años	5	Dimopoulos et al. (2006); Freyssin et al. (2012); Huang et al. (2014); Koufaki et al. (2014); Smart et al. (2013)	2.22 (1.87-2.58)	0	< 0.00001	
<i>Calidad metodológica</i>						
> 6 puntos	1	Chrysohoou et al. (2015);	5.00 (2.34-7.66)	-	0.00002	0.07
≤ 6 puntos	9	Benda et al. (2012); Dimopoulos et al. (2006); Freyssin et al. (2012); Fu et al. (2013); Huang et al. (2014); Isaksen et al. (2015); Koufaki et al. (2014); Roditis et al. (2007); Smart et al. (2013)	2.41 (1.64-3.17)	40	< 0.00001	

Nota. DM: diferencia media; HIIT: grupos de ejercicio interválico de alta intensidad; I²: heterogeneidad; IC95%: intervalo de confianza del 95%; IMC: índice de masa corporal; VO_{2máx}: consumo máximo de oxígeno.

^a Número de individuos del grupo de HIIT.

^b Prueba del efecto general.

^c Prueba de las diferencias en los subgrupos.

Tabla 5

Análisis de subgrupos para evaluar los posibles factores moderadores del aumento de $VO_{2m\acute{a}x}$ en los estudios de la EAC incluidos en el metanálisis según las características del ejercicio.

Grupo	HIIT	Bibliografía	$VO_{2m\acute{a}x}$			
			DM (IC95%)	I^2	p^b	Dif p^c
<i>Número de sesiones</i>						
≥ 36	5	Cardozo et al. (2015); Conraads et al. (2015); Madssen et al. (2014); Moholdt et al. (2012); Warburton et al. (2005)	3.57 (1.86-5.28)	0	< 0.00001	0.6
< 36	4	Currie et al. (2013); Kim et al. (2015); Madssen et al. (2014); Moholdt et al. (2009); Rognmo et al. (2004)	4.25 (2.35-6.14)	35	< 0.00001	
<i>Duración</i>						
> 12 semanas	3	Cardozo et al. (2015); Madssen en et al. (2014); Warburton et al. (2005);	2.45 (0.62-4.29)	0	0.009	0.05
≤ 12 semanas	6	Conraads et al. (2015); Currie et al. (2013); Kim et al. (2015); Moholdt et al. (2009); Moholdt et al. (2012); Rognmo et al. (2004)	4.70 (3.44-5.96)	0	< 0.0001	
<i>Frecuencia</i>						
≥ 5 días/semana	1	Moholdt et al. (2009)	3.30 (0.67-5.93)	-0.01	0.1	0.82
3-4 días/semana	7	Cardozo et al. (2015); Conraads et al. (2015); Kim et al. (2015); Madssen et al. (2014); Moholdt et al. (2012); Rognmo et al. (2004); Warburton et al. (2005)	3.91 (2.48-5.33)	16	< 0.00001	
≤ 2 días/semana		Currie et al. (2013)	4.70 (1.26-8.14)	-	0.007	
<i>Duración</i>						
≥ 28 minutos	7	Cardozo et al. (2015); Conraads et al. (2015); Kim et al. (2015); Madssen et al. (2013); Moholdt et al. (2009); Moholdt et al. (2012); Rognmo et al (2004)	3.87 (2.71-5.02)	6	< 0.00001	0.65
< 28 minutos	1	Currie et al. (2013)	4.70 (1.26-8.14)	-	0.007	
<i>Intervalo de trabajo</i>						
≥ 4 minutos	7	Cardozo et al. (2015); Conraads et al. (2015); Kim et al. (2015); Madssen et al. (2014); Moholdt et al. (2009); Moholdt et al. (2012); Rognmo et al. (2004)	3.90 (2.59-5.22)	16	< 0.00001	0.99
< 4 minutos	2	Currie et al. (2013); Warburton et al. (2005)	3.92 (1.28-6.55)	0	0.004	

Grupo	HIIT	Bibliografía	VO ₂ máx			
			DM (IC95%)	I ²	p ^b	Dif p ^c
<i>Intervalo de recuperación</i>						
≥ 3 minutos	8	Cardozo et al. (2015); Conraads et al. (2015); Kim et al. (2015); Madssen et al. (2014); Moholdt et al. (2009); Moholdt et al. (2012); Rognmo et al. (2004); Warburton et al. (2005)	3.87 (2.71-5.02)	6	< 0.00001	0.65
< 3 minutos	1	Currie et al. (2013)	4.70 (1.26-8.14)	-	0.007	
<i>Protocolo de HIIT</i>						
Largo	7	Cardozo et al. (2015); Conraads et al. (2015); Kim et al. (2015); Madssen et al. (2014); Moholdt et al. (2009); Moholdt et al. (2012); Rognmo et al. (2004)	3.90 (2.59-5.22)	16	< 0.00001	0.99
Corto	2	Currie et al. (2013); Warburton et al. (2005)	3.92 (1.28-6.55)	0	0.004	
<i>Tipo de recuperación</i>						
Activa (≥ 20%)	8	Cardozo et al. (2015); Conraads et al. (2015); Kim et al. (2015); Madssen et al. (2014); Moholdt et al. (2009); Moholdt et al. (2012); Rognmo et al. (2004); Warburton et al. (2005)	3.87 (2.71-5.02)	6	< 0.00001	0.65
Pasiva (< 20%)	1	Currie et al. (2013)	4.70 (1.26-8.14)	-	0.007	
<i>Intensidad de recuperación activa</i>						
≥ 65%	4	Cardozo et al. (2015); Conraads et al. (2015); Moholdt et al. (2009); Moholdt et al. (2012)	4.44 (3.24-5.63)		< 0.00001	0.27
< 65%	4	Kim et al. (2015); Madssen et al. (2014); Rognmo et al. (2004); Warburton et al. (2005)	2.86 (0.32-5.41)			
<i>R (T/R)</i>						
≥ 1.33	7	Cardozo et al. (2015); Conraads et al. (2015); Kim et al. (2015); Madssen et al. (2014); Moholdt et al. (2009); Moholdt et al. (2012); Rognmo et al. (2004)	3.87 (2.71-5.02)	6	< 0.00001	0.65
< 1.33	2	Currie et al. (2013); Warburton et al. (2005)	4.70 (1.26-8.14)	-	0.007	

Nota. DM: diferencia media; EAC: enfermedad de las arterias coronarias; HIIT: entrenamiento interválico de alta intensidad; I²: heterogeneidad; R (T/R): densidad (cociente trabajo/recuperación); VO₂máx: consumo máximo de oxígeno. Ciertos estudios no se incluyeron porque no indicaban el valor utilizado para el análisis de los subgrupos.

^a Prueba del efecto general.

^b Prueba de las diferencias en los subgrupos.

Tabla 6

Análisis de subgrupos para evaluar los posibles factores moderadores del aumento de $VO_{2m\acute{a}x}$ en los estudios de la IC incluidos en el metanálisis según las características del ejercicio.

Grupo	HIIT	Bibliografía	$VO_{2m\acute{a}x}$			
			DM (IC95%)	I^2	p^b	Dif p^c
<i>Número de sesiones</i>						
≥ 36	8	Chrysohoou et al. (2015); Dimopoulos et al. (2006); Freysson et al. (2012); Fu et al. (2013); Huang et al. (2014); Isaksen et al. (2015); Koufaki et al. (2014); Smart et al. (2013)	2.69 (1.78-3.60)	56	< 0.00001	0.26
< 36	2	Benda et al. (2012); Roditis et al. (2007)	1.24 (-1.12-3.61)	0	< 0.00001	
<i>Duración</i>						
> 12 semanas	2	Koufaki et al. (2014); Smart et al. (2013)	2.45 (-0.48-5.37)	0	0.1	0.96
≤ 12 semanas	8	Benda et al. (2012); Chrysohoou et al. (2015); Dimopoulos et al. (2006); Freysson et al. (2012); Fu et al. (2013); Huang et al. (2014); Isaksen et al. (2015); Roditis et al. (2007)	2.53 (1.62-3.44)	59	< 0.0001	
<i>Frecuencia</i>						
≥ 5 días/semana	1	Freysson et al. (2012)	2.90 (0.61-5.19)	-	0.01	0.77
3-4 días/semana	8	Chrysohoou et al. (2015); Dimopoulos et al. (2006); Fu et al. (2013); Huang et al. (2014); Isaksen et al. (2015); Koufaki et al. (2014); Roditis et al. (2007); Smart et al. (2013)	2.55 (1.59-3.50)	58	< 0.00001	
≤ 2 días/semana	1	Benda et al. (2012)	1.30 (-2.38-4.98)	-	0.49	
<i>Duración</i>						

Grupo	HIIT	Bibliografía	VO ₂ máx			
			DM (IC95%)	I ²	p ^b	Dif p ^c
> 42 minutos	4	Chrysohoou et al. (2015); Dimopoulos et al. (2006); Freysson et al. (2012); Koufaki et al. (2014); Smart et al. (2013)	3.44 (1.95-4.94)	0	< 0.00001	0.19
≤ 42 minutos	5	Benda et al. (2012); Fu et al. (2013); Huang et al. (2014); Isaksen et al. (2015); Roditis et al. (2007)	2.23 (1.23-3.23)	62	< 0.00001	
<i>Intervalo de trabajo</i>						
> 45 segundos	5	Benda et al. (2012); Fu et al. (2013); Huang et al. (2014); Isaksen et al. (2015); Smart et al. (2013)	2.53 (1.50-3.55)	34	0.002	1
≤ 45 segundos	5	Chrysohoou et al. (2015); Dimopoulos et al. (2006); Freysson et al. (2012); Koufaki et al. (2014); Roditis et al. (2007)	2.52 (0.89-4.15)	63	< 0.00001	
<i>Intervalo de recuperación</i>						
> 1 minuto	4	Benda et al. (2012); Fu et al. (2013); Huang et al. (2014); Isaksen et al. (2015)	2.46 (1.35-3.58)	73	< 0.00001	0.84
≤ 1 minuto	6	Chrysohoou et al. (2015); Dimopoulos et al. (2006); Freysson et al. (2012); Koufaki et al. (2014); Roditis et al. (2007); Smart et al. (2013)	2.65 (1.27-4.03)	12	0.0002	
<i>Protocolo de HIIT</i>						
Largo	4	Fu et al. (2013); Huang et al. (2014); Isaksen et al. (2015); Roditis et al. (2007)	2.45 (1.22-3.69)	7	< 0.00001	0.87
Corto	6	Benda et al. (2012); Chrysohoou et al. (2015); Dimopoulos et al. (2006); Freysson et al. (2012); Koufaki et al. (2014); Smart et al. (2013)	2.60 (1.37-3.82)	81	< 0.0001	
<i>Tipo de recuperación</i>						

Grupo	HIIT	Bibliografía	VO ₂ máx			
			DM (IC95%)	I ²	p ^b	Dif p ^c
Activa (≥ 20%)	7	Benda et al. (2012); Freysson et al. (2012); Fu et al. (2013); Huang et al. (2014); Isaksen et al. (2015); Koufaki et al. (2014); Roditis et al. (2007)	2.51 (1.68-3.33)	49	< 0.00001	0.91
Pasiva (< 20%)	3	Chrysohoou et al. (2015); Dimopoulos et al (2006); Smart et al. (2013)	2.70 (-0.38-5.78)	60	0.09	
<i>Intensidad de recuperación activa</i>						
≥ 40%	5	Freysson et al. (2012); Fu et al. (2013); Huang et al. (2014); Isaksen et al. (2015); Roditis et al. (2007)	2.60 (1.68-3.51)	58	< 0.00001	0.59
< 40%	2	Benda et al. (2012); Koufaki et al. (2014)	1.81 (-0.88-4.50)	0	0.19	
<i>R (T/R)</i>						
≥ 1	6	Chrysohoou et al. (2015); Dimopoulos et al (2006); Fu et al. (2013); Huang et al. (2014); Isaksen et al. (2015); Roditis et al. (2007)	2.53 (1.45-3.62)	70	< 0.00001	0.94
< 1	4	Benda et al. (2012); Freysson et al. (2012); Koufaki et al. (2014); Smart et al. (2013)	2.45 (0.83-4.07)	0	< 0.00001	

Nota. DM: diferencia media; EAC: enfermedad de las arterias coronarias; HIIT: entrenamiento interválico de alta intensidad; I²: heterogeneidad; R (T/R): densidad (cociente trabajo/recuperación); VO₂máx: consumo máximo de oxígeno. Ciertos estudios no se incluyeron porque no indicaban el valor utilizado para el análisis de los subgrupos.

^a Prueba del efecto general.

^b Prueba de las diferencias en los subgrupos.

En relación con el protocolo de HIIT, los estudios realizados indican que se emplee una densidad de trabajo (cociente ejercicio/recuperación) ≤ 1.33 (0.66-1.33) en los pacientes con EAC, ya que aporta el mismo beneficio que una densidad > 1.33 . Además, sería mejor utilizar una densidad de ejercicio < 1 (0.5-1.33) para los pacientes con IC. Estos resultados van en favor de los argumentos de algunos investigadores que indican que los pacientes prefieren protocolos más cortos o menos intensos (Guiraud et al., 2010), que favorecen la adherencia en comparación con los protocolos de larga duración porque son más cómodos para los pacientes (Guiraud et al., 2010; Guiraud et al., 2012).

En cuanto a los periodos de ejercicio y de recuperación, no hubo diferencias estadísticamente significativas por lo que respecta a la duración del intervalo de trabajo (entre 30 segundos y 4 minutos) de los pacientes con IC. No obstante, hubo diferencias significativas en cuanto a la intensidad de la recuperación, puesto que las recuperaciones $\leq 40\%$ del $VO_{2m\acute{a}x}$ y la recuperación pasiva no produjeron adaptaciones del $VO_{2m\acute{a}x}$. El motivo puede ser que una recuperación activa a mayor intensidad permite la optimización de la resíntesis de fosfocreatina, una mayor oxidación del lactato y una optimización de la gluconeogénesis de lactato (Gerber, 2013). Sin embargo, aunque algunos autores han recomendado una recuperación pasiva (Guiraud et al., 2010), esta no fue tan eficaz como la recuperación activa (Dupont et al., 2004). En los pacientes con EAC, no hubo diferencias estadísticamente significativas en la duración de los intervalos de ejercicio y de recuperación, el tipo de recuperación o la intensidad de la recuperación activa. Así pues, los pacientes con EAC presentaron una recuperación más rápida que la de los pacientes con IC. Este resultado podría deberse a que los pacientes con EAC tengan menos afectado el sistema cardiovascular que los pacientes con IC, con lo que tendrían una recuperación más rápida con los parámetros mencionados (Purek et al., 2006). Por consiguiente, para mejorar el proceso de rehabilitación

cardiaca, el diseño del protocolo de HIIT para los pacientes con IC debe incluir una recuperación activa $\geq 40\%$ del $VO_{2m\acute{a}x}$.

En lo relativo a la frecuencia del HIIT, no hubo mejoras estadísticamente significativas del $VO_{2m\acute{a}x}$ de los pacientes con IC cuando se usaron protocolos ≤ 2 días/semana ($p = 0.07$) (Roditis et al., 2007), aunque sí se observó una mejora en los protocolos de 3 y 4 días/semana ($p < 0.00001$) (Chrysohoou et al., 2015; Dimopoulos et al., 2006; Fu et al., 2013; Huang et al., 2014; Isaksen et al., 2015; Koufaki et al., 2014; Roditis et al., 2007; Smart et al., 2013) y ≥ 5 días/semana ($p < 0.01$) (Freyssin et al., 2013). No obstante, estos resultados no se observaron en los pacientes con EAC, cuyo $VO_{2m\acute{a}x}$ mejoró con independencia de la frecuencia utilizada (2-5 días/semana). Así pues, para obtener mejoras del $VO_{2m\acute{a}x}$ en relación con el HIIT, la frecuencia de las sesiones debe ser de como mínimo 3 días/semana para los pacientes con IC y al menos 2 días/semana para los pacientes con EAC. Las diferencias entre las enfermedades pueden deberse a la lesión del músculo cardiaco existente en los pacientes con IC, que requiera una mayor frecuencia de las sesiones para obtener mejoras similares a las de los pacientes con EAC que no han tenido problemas con el músculo cardiaco (Guiraud et al., 2012).

Los resultados de nuestra revisión sistemática y metanálisis indican que el $VO_{2m\acute{a}x}$ aumentó de forma significativa ($p < 0.00001$) tras el HIIT en los pacientes con EAC, con independencia de la duración del programa. No obstante, hubo diferencias significativas entre las duraciones del protocolo > 12 y ≤ 12 semanas ($p = 0.05$). Sin embargo, en los pacientes con IC, a pesar de que los programas > 12 semanas no produjeron mejoras significativas del $VO_{2m\acute{a}x}$ ($p = 0.1$), sí hubo mejoras con los protocolos ≤ 12 semanas ($p = 0.00001$), aunque sin diferencias significativas entre ellos ($p = 0.96$). Este resultado indica que, en ambas enfermedades, la mejora exponencial del $VO_{2m\acute{a}x}$ se produjo en las primeras 12 semanas, que

es cuando el protocolo de HIIT fue más efectivo. Estos resultados probablemente se deban a la carga de trabajo no incremental que incluía el diseño de su sesión de ejercicio, que no cumplía el principio de progresión (Heisz et al., 2016). Esto se explica por el hecho de que, cuando se aplica una serie de estímulos efectivos, el organismo genera adaptaciones como un aumento del área transversal del músculo, adaptaciones de las reservas de energía o un aumento de la sincronización de las unidades motoras. Así pues, la variabilidad inalterada de estos estímulos dejó de ser suficiente para generar una heterostasis. Por consiguiente, es necesario un aumento coherente y progresivo de la carga de trabajo (García-Manso et al., 1996).

De igual modo, no hubo diferencias estadísticamente significativas del $VO_{2máx}$ entre los pacientes con EAC y con IC en cuanto al número de sesiones (≥ 36 sesiones (Cardozo et al., 2015; Chrysohoou et al., 2015; Conraads et al., 2015; Dimopoulos et al., 2006; Freysson et al., 2013; Fu et al., 2013; Huang et al., 2014; Isaksen et al., 2015; Koufaki et al., 2014; Madssen et al., 2014; Moholdt et al., 2012; Smart et al., 2013; Warburton et al., 2005) y < 36 sesiones (Benda et al., 2015; Currie et al., 2013; Kim et al., 2015; Moholdt et al., 2009; Roditis et al., 2007; Rognmo et al., 2004); 18-156 sesiones para los pacientes con EAC y 18-72 para los pacientes con IC) y la duración de estas (≥ 28 minutos (Cardozo et al., 2015; Conraads et al., 2015; Kim et al., 2015; Madssen et al., 2014; Moholdt et al., 2009; Moholdt et al., 2012; Rognmo et al., 2004) y < 28 minutos (Currie et al., 2013) para los pacientes con EAC [20-28 minutos] y > 42 minutos (Chrysohoou et al., 2015; Freysson et al., 2013; Koufaki et al., 2014; Smart et al., 2013) y ≤ 42 minutos (Benda et al., 2015; Fu et al., 2013; Huang et al., 2014; Isaksen et al., 2015; Roditis et al., 2007) para los pacientes con IC [28-69 minutos]). Estos resultados implican que las intervenciones de HIIT no deben estar formadas necesariamente por un gran número de sesiones ni con sesiones largas para alcanzar una mejora del $VO_{2máx}$ en los pacientes con

EAC o IC. La frecuencia de sesiones mínima necesaria para producir adaptaciones significativas del $VO_{2m\acute{a}x}$ fue de 6 semanas tanto para los pacientes con EAC (Conraads et al., 2015) como para aquellos con IC (Chrysohoou et al., 2015; Huang et al., 2014; Fu et al., 2013). Estos resultados, junto con los obtenidos en el presente metanálisis, indican que el beneficio máximo en cuanto al $VO_{2m\acute{a}x}$ se obtendría entre las semanas 6 y 12. Así pues, es necesario alcanzar un periodo de entrenamiento suficiente para que se pueda percibir los efectos producidos en el $VO_{2m\acute{a}x}$ por los protocolos de entrenamiento de larga duración. Por este motivo, es importante optimizar los protocolos de ejercicio mediante el cumplimiento de sus principios generales.

Por lo que respecta al protocolo de HIIT, este metanálisis confirma los resultados que indican que tanto los protocolos de HIIT con intervalos de ejercicio cortos como el de HIIT con intervalos de ejercicio largos producen mejoras significativas en el $VO_{2m\acute{a}x}$ de los pacientes con EAC (Conraads et al., 2015; Currie et al., 2013; Moholdt et al., 2012) y con IC (Chrysohoou et al., 2015; Freyssin et al., 2013; Fu et al., 2013; Huang et al., 2014). De igual modo, no se observaron diferencias significativas de aplicar un protocolo de HIIT con un intervalo de trabajo corto o largo en ninguna de las dos enfermedades. Estos resultados pueden deberse a que la mejora del $VO_{2m\acute{a}x}$ en las enfermedades cardiovasculares esté relacionada de manera más directa con la intensidad que con la duración del protocolo de HIIT (Wisløff et al., 2007). Esto se debe a que la intensidad es el parámetro que produce mayores adaptaciones del sistema cardiovascular, como el aumento del área transversal del músculo, las adaptaciones de las reservas de energía o el aumento de la sincronización de las unidades motoras (Smart et al., 2013; Warburton et al., 2005). Así pues, el tipo de protocolo no están importante en la mejora del $VO_{2m\acute{a}x}$ como la intensidad y la frecuencia del ejercicio en los pacientes con EAC y con IC.

Según nuestro metanálisis, el HIIT mejoró el $VO_{2\text{máx}}$ de los pacientes con EAC y con IC, si bien hubo diferencias estadísticamente significativas entre estas dos enfermedades, con una mejoría superior en los pacientes con IC ($p = 0.03$). Estos resultados pueden deberse a las diferencias iniciales del $VO_{2\text{máx}}$ (16.2-31.8 ml/kg/min⁻¹ en los pacientes con EAC y 10.7-19.1 ml/kg/min⁻¹ en los pacientes con IC), como consecuencia de que los pacientes con IC presentan un deterioro de la función cardiaca y el músculo cardiaco no es capaz de bombear una cantidad de sangre suficiente para irrigar los tejidos (Rognmo et al., 2004). Sin embargo, los pacientes con EAC mostraron una menor influencia en su $VO_{2\text{máx}}$, ya que probablemente tenían una mejor contractilidad miocárdica, en especial si se les había practicado una intervención coronaria (Segovia et al., 2004).

Como ya se ha señalado, esto debería hacer que existiera la posibilidad de un mayor aumento del gasto cardiaco a causa de un mayor volumen sistólico, con lo que se produciría un mayor aumento de la fracción de eyección del ventrículo izquierdo en los pacientes con IC, ya que tienen un umbral de adaptación al estímulo más bajo (Roditis et al., 2007). De igual modo, esta mejora podría deberse a un mayor aumento relativo de la vasodilatación inducida por el ejercicio, la hemoglobina, la capacidad oxidativa del músculo esquelético (Conraads et al., 2015; Freyssin et al., 2013; Wisløff et al., 2007) o la suma de todos estos factores.

Aunque no era un objetivo del presente trabajo, existen estudios que comparan los efectos del HIIT y el entrenamiento continuo en el $VO_{2\text{máx}}$. Aunque la mayoría de los estudios señalan que el HIIT es superior al ejercicio continuo (Fu et al., 2013; Keteyian et al., 2014; Kim et al., 2015; Liou et al., 2016; Moholdt et al., 2012), algunos han descrito que el HIIT no fue superior a los programas de ejercicio continuo por lo que respecta al $VO_{2\text{máx}}$ en las dos enfermedades (Conraads et al., 2015; Currie et al., 2013; Ellingsen et al., 2017; Huang

et al., 2014; Iellamo et al., 2013; Isaksen et al., 2015; Sayago-Silva et al., 2013; Tschentscher et al., 2016).

El presente estudio es una contribución importante al conocimiento de la efectividad de los programas de HIIT en las cardiopatías. Así pues, aporta evidencia de la posible aplicabilidad de los programas de HIIT como parte del tratamiento aplicado en la EAC y en la IC.

Aplicación práctica

Los resultados de este estudio indican que el HIIT afecta positivamente al $VO_{2máx}$ de los pacientes con IC o con EAC y aporta ventajas superiores a los pacientes con IC. Los médicos, los preparadores físicos y los equipos de rehabilitación cardiaca podrían usar estos resultados para elaborar programas de ejercicio específicos destinados a optimizar la función del corazón del paciente. Sin embargo, es preciso tener en cuenta también otras variables, como edad, frecuencia de las sesiones, duración del programa y tipo de recuperación. Así pues, el programa de HIIT debe adaptarse a las características individuales de cada paciente. La dosis recomendada en cada enfermedad se indica en la Tabla 7.

Tabla 7

Recomendaciones sobre el protocolo de HIIT para los pacientes con IC o con EAC.

Enfermedad	Frecuencia (días/semana)	Duración del programa (semanas)	Duración de las sesiones (minutos)	Intensidad de la recuperación ($VO_{2máx}$)	Densidad
IC	≥ 3 (2-5)	≥ 6 (6-24)	30-60 (28-60)	≥ 40% (40-70%)	≥ 1.33 (0.66-1.33)
EAC	≥ 2 (2-5)	≥ 6 (4-52)	30-60 (28-60)	≥ 40% (0-70%)	≥ 1 (0.5-1.33)

Nota. EAC: enfermedad de las arterias coronarias; HIIT: grupos de ejercicio interválico de alta intensidad; IC: insuficiencia cardiaca; $VO_{2máx}$: consumo máximo de oxígeno.

Limitaciones

Las principales limitaciones de este estudio son las siguientes: a) los ensayos controlados y aleatorizados no utilizaron los mismos métodos para el control de la intensidad de las sesiones de ejercicio; b) los protocolos y la edad de los participantes son muy heterogéneos; c) la mayor parte de los estudios incluidos tenían muestras con pocos pacientes, y d) en los protocolos de HIIT, un aspecto es el diseño y otro, la intensidad que los pacientes son capaces de alcanzar. En consecuencia, debe tenerse en cuenta la posibilidad de que un paciente no haya logrado alcanzar las intensidades previstas.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio indican que el HIIT es un método eficaz para el tratamiento de la IC y la EAC gracias a la mejora del $VO_{2m\acute{a}x}$, cuyo incremento es significativamente mayor en los pacientes con IC. Para optimizar estos beneficios, los intervalos de recuperación deben ser activos, a intensidades de entre el 40 y el 60% del $VO_{2m\acute{a}x}$ en los pacientes con IC, y la frecuencia debe ser ≥ 2 días/ semana para los pacientes con EAC y ≥ 3 días/semana para aquellos con IC. Este estudio abre una nueva línea de investigación que podría usarse para optimizar los protocolos de ejercicio de alta calidad en un intento de desarrollar el método más efectivo y eficiente para el tratamiento de la cardiopatía y otras enfermedades.

REFERENCIAS

Amundsen, B. H., Rognmo, Ø., Hatlen-Rebhan, G., y Slødahl, S. A. (2008). High-intensity aerobic exercise improves diastolic function in coronary artery disease. *Scandinavian Cardiovascular Journal*, 42(2), 110–117. <https://doi.org/10.1080/14017430701744477>

- Benda, N. M., Seeger, J. P., Stevens, G. G., Hijmans-Kersten, B. T. P., van Dijk, A. P. J., Bellersen, L., Lamfers, E. J. P., Hopman, M. T. E., y Thijssen, D. H. J. (2015). Effects of High-intensity Interval Training versus Continuous Training on Physical Fitness, Cardiovascular Function and Quality of Life in Heart Failure Patients. *PLOS ONE*, 10(10), e0141256. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141256>
- Cardozo, C. G., Oliveira, R. B, y Farinatti, P. T. (2015). Effects of high intensity versus moderate continuous training on markers of ventilatory and cardiac efficiency in coronary heart disease patients. *The Scientific World Journal*, 2015, 192479. <https://doi.org/10.1155/2015/192479>
- Chrysohoou, C., Angelis, A., Tsitsinakis, G., Spetsioti, S., Nasis, I., Tsiachris, D., Rapakoulis, P., Pitsavos, C., Koulouris, N. G., Vogiatzis, I., y Dimitris, T. (2015). Cardiovascular effect of high-intensity interval aerobic training combined with strength exercise in patients with chronic heart failure. A randomized phase III clinical trial. *International Journal of Cardiology*, 179, 269–274. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2014.11.067>
- Conraads, V. M., Pattyn, N., De Maeyer, C., Beckers, P. J., Coeckelberghs, E., Cornelissen, V. A., Denollet, J., Frederix, G., Goetschalckx, K., Hoymans, V. Y., Possemiers, N., Schepers, D., Shivalkar, B., Voigt, J.-U., Van Craenenbroeck, E. M., y Vanhees, L. (2015). Aerobic interval training and continuous training equally improve aerobic exercise capacity in patients with coronary artery disease: the SAINTEX-CAD study. *International Journal of Cardiology*, 179, 203–210. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2014.10.155>
- Currie, K. D., Dubberley, J. B., McKelvie, R.S., y MacDonald, M. J. (2013). Low-volume, high-intensity interval training in patients with CAD. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45(8), 1436–1442. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31828bbbd4>

- Dimopoulos, S., Anastasiou-Nana, M., Sakellariou, D., Sakellariou, D., Drakos, S., Kapsimalakpou, S., Maroulidis, G., Roditis, P., Papazachou, O., Vogiatzis, I., Roussos, C., y Nanos, S. (2006). Effects of exercise rehabilitation program on heart rate recovery in patients with chronic heart failure. *European Journal of Preventive Rehabilitation*, 13(1), 67–73. <https://doi.org/10.1097/01.hjr.0000198449.20775.7c>
- Dupont, G., Moalla, W., Guinhouya, C., Ahmaidi, S., y Berthoin, S. (2004). Passive versus active recovery during high-intensity intermittent exercises. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(2), 302–308. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000113477.11431.59>
- Ellingsen, Ø., Halle, M., Conraads, V., Støylen, A., Dalen, H., Delagardelle, C., Larsem, A.-I., Hole, T., Mezzani, A., Van Craenenbroeck, E. M., Videm, V., Beckers, P., Christle, J. W., Winzer, E., Mangner, N., Woitek, F., Höllriegel, R., Pressler, A., Monk-Hansen, T., Snoer, M...SMARTEx Heart Failure Study (Study of Myocardial Recovery After Exercise Training in Heart Failure) Group (2017). High intensity interval training in Heart Failure patients with reduced ejection fraction. *Circulation*, 135(9), 839–849. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.116.022924>
- Ferreira-González, I. (2014). The epidemiology of coronary heart disease. *Revista Española de Cardiología*, 67(2), 139–144. <https://doi.org/10.1016/j.rec.2013.10.002>
- Freyssin, C., Verkindt, C., Prieur, F., Benaich, P., Maunier, S., y Blanc, P. (2012). Cardiac rehabilitation in chronic heart failure: effect of an 8-week, high-intensity interval training versus continuous training. *Archives of Physiscal Medicine and Rehabilitation*, 93(8), 1359–1364. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.03.007>
- Fu, T. -C., Wang, C. -H., Lin, P. -S., Hsu, C. -C., Cherng, W. -J., Huang, S. -C., Liu, M. -H., Chiang, C. -L., y Wang, J. -S. (2013). Aerobic interval training improves oxygen uptake

- efficiency by enhancing cerebral and muscular hemodynamics in patients with heart failure. *International Journal of Cardiology*, 167(1), 41–50.
<https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2011.11.086>
- García-Manso, J. M., Navarro, M., y Ruíz, J. A. (1996). *Planificación del entrenamiento deportivo*. Gymnos.
- Gerber, T. (2013). *The metabolic responses of high intensity intermittent exercise in healthy untrained adults* (Tesis doctoral). Victoria University, Melbourne, Australia.
- Guiraud, T., Juneau, M., Nigam, A., Gayda, M., Meyer, P., Mekary, S., Paillard, F., y Bosquet, L. (2010). Optimization of high intensity interval exercise in coronary heart disease. *European Journal of Applied Physiology*, 108(4), 733–740.
<https://doi.org/10.1007/s00421-009-1287-z>
- Guiraud, T., Nigam, A., Gremeaux, V., Meyer, P., Juneau, M., y Bosquet, L. (2012). High-intensity interval training in cardiac rehabilitation. *Sports Medicine*, 42(7), 587–605.
<https://doi.org/10.2165/11631910-000000000-00000>
- Heisz, J. J., Tejada, M. G., Paolucci, E. M., y Muir, C. (2016). Enjoyment for High-intensity Interval Exercise Increases during the First Six Weeks of Training: Implications for Promoting Exercise Adherence in Sedentary Adults. *PLOS ONE*, 11(12), e0168534.
<https://10.1371/journal.pone.0168534>
- Huang, S.-C., Wong, M.-K., Lin, P.-J., Tsai, F.-C., Fu, T., Wen, M.-S., Kuo, C.-T., y Wang, J.-S. (2014). Modified high-intensity interval training increases peak cardiac power output in patients with heart failure. *European Journal of Applied Physiology*, 114(9), 1853–1862. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2913-y>
- Iellamo, F., Caminiti, G., Sposato, B., Vitale, C., Massaro, M., Rosano, G., y Volterrani, M. (2014). Effect of High-Intensity interval training versus moderate continuous training on

- 24-h blood pressure profile and insulin resistance in patients with chronic heart failure. *Internal and Emergency Medicine*, 9(5), 547–552. <https://doi.org/10.1007/s11739-013-0980-4>
- Iellamo, F., Manzi, V., Caminiti, G., Vitale, C., Castagna, C., Massaro, M., Franchini, A., Rosano, G., y Volterrani, M. (2013). Marched dose interval and continuous exercise training induce similar cardiorespiratory and metabolic adaptations in patients with heart failure. *International Journal of Cardiology*, 167(6), 2561–2565. <https://doi.org/10.1016/i.ijarc.2012.06.057>
- Isaksen, K., Munk, P. S., Valborgland, T., y Larsen, A. I. (2015). Aerobic interval training in patients with heart failure and an implantable cardioverter defibrillator: a controlled study evaluating feasibility and effect. *European Journal of Preventive Cardiology*, 22(3), 296–303. <https://doi.org/10.1177/2047487313519345>
- Keteyian, S. J., Hibner, B. A., Bronsteen, K., Kerrigan, D., Aldred, H. A., Reasons, L. M., Saval, M. A., Brawner, C. A., Schairer, J. R., Thompson, T. M. S., Hill, J., McCulloch, D., y Ehrman, J. K. (2014). Greater improvement in cardiorespiratory fitness using high-intensity interval training in the standard cardiac rehabilitation setting. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, 34(2), 98–105. <https://doi.org/10.1097/hrc.0000000000000049>
- Kim, C., Choi, H. E., y Lim, M. H. (2015). Effect of High Interval Training in Acute Myocardial Infarction Patients with Drug-Eluting Stent. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 94(10), 879–886. <https://doi.org/10.1097/phm.0000000000000290>
- Koufaki, P., Mercer, T. H., George, K. P., y Nolan, J. (2014). Low-volume high-intensity interval training vs continuous aerobic cycling in patients with chronic heart failure: a pragmatic

- randomised clinical trial of feasibility and effectiveness. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 46(4), 348–356. <https://doi.org/10.2340/16501977-1278>
- Liou, K., Ho, S., Fildes, J., y 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. <https://doi.org/10.1016/j.hcl.2015.06.828>
- Madssen, E., Arbo, I., Granøien, I., Walderhaug, L, y Moholdt, T. (2014). Peak oxygen uptake after cardiac rehabilitation: a randomized controlled trial of a 12-month maintenance program versus usual care. *PLOS ONE*, 9(9), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0107924>
- Moholdt, T. T., Aamot, I. L., Granøien, I., Gjerde, L., Myklebust, G., Walderhaug, L., Brattbakk, L., Hole, T., Gravem, T., Stølen, T. O., Amundsen, B. H., Mølmen-Hansen, H. E., Støylen, A., Wisløff, U., y Slørdahl, A. A. (2012). Aerobic interval training increases peak oxygen uptake more than usual care exercise training in myocardial infarction patients: a randomized controlled study. *Clinical Rehabilitation*, 26(1), 33–44. <https://doi.org/10.1177/0269215511405229>
- Moholdt, T. T., Amundsen, B. H., Rustad, L. A., Wahba, A., Løvø, K. T., Gullikstad, L. R., Bye, A., Skogvoll, E., Wisløff, U., y 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. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2009.10.003>
- Moholdt, T. T., Madssen, E., Rognmo, Ø., y Aamot, I. L. (2014). The higher the better? Interval training intensity in coronary heart disease. *Journal of Science and Medicine in Sports*, 17(5), 506–510. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.07.007>

- Nakazato, R., Arsanjani, R., Achenbach, S., Gransar, H., Cheng, V., Dunning, A., Lin, F. Y., Al-Mallah, M., Budoff, M. J., Callister, T. Q., Chang, H.-J., Cademartiri, F., Chinnaiyan, K., Chow, B. J. W., Delago, A., Hadamitzky, M., Hausleiter, J., Kaufmann, P., Raff, G., Shaw, L. J., Min, J. K. (2014). Age-related risk of major adverse cardiac event risk and coronary artery disease extent and severity by coronary CT angiography: results from 15187 patients from the International Multisite CONFIRM Study. *European Heart Journal Cardiovascular Imaging*, 15(5), 586–594. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jet132>
- Organización Mundial de la Salud (22 de septiembre de 2016). *Cardiovascular diseases 2016*. <https://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/es/>
- Organización Mundial de la Salud (29 de mayo de 2017). *The top 10 causes of death 2017*. <https://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/en/>
- Purek, L., Laule-Kilian, K., Christ, A., Klima, T., Pfisterer, M. E., Perruchoud, A. P., y Mueller, C. (2006). Coronary artery disease and outcome in acute congestive heart failure. *Heart*, 92(5), 598–602. <https://doi.org/10.1136/hrt.2005.066464>
- Roditis, P., Dimopoulos, S., Sakellariou, D., Sarafoglou, S., Kaldara, E., Venetsanakos, J., Vogiatzis, J., Anastasiou-Nana, M., Roussos, C., y Nanas, S. (2007). The effects of exercise training on the kinetics of oxygen uptake in patients with chronic heart failure. *European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation*, 14(2), 304–311. <https://doi.org/10.1097/hjr.0b013e32808621a3>
- Rognmo, Ø., Moholdt, T., Bakken, H., Hole, T., Mølsted, P., Myhr, N. E., Grimsmo, J., y Wisløff, U. (2012). Cardiovascular Risk of High- Versus Moderate-Intensity Aerobic Exercise in Coronary Heart Disease Patients. *Circulation*, 126(12), 1436–1440. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.112.123117>

- Rognmo, Ø., Hetland, E., Helgerud, J., Hoff, J., y Slødahl, S. A. (2004). High intensity aerobic interval exercise is superior to moderate intensity exercise for increasing aerobic capacity in patients with coronary artery disease. *European Journal of Preventive Cardiology*, 11(3), 216–222. <https://doi.org/10.1097/01.hjr.0000131677.96762.0c>
- Sayago-Silva, I., García-López, F., y Segovia-Cubero, J. (2013). Epidemiology of Heart Failure in Spain Over the Last 20 Years. *Revista Española de Cardiología (English Edition)*, 66(8), 649–656. <https://doi.org/10.10/j.rec.2013.03.012>
- Segovia, J., Alonso-Pulpón, L., Pereira, R., y Silva, L. (2004). Heart Failure: Etiology and Approach to Diagnosis. *Revista Española de Cardiología (English Edition)*, 57(3), 250–259. [https://doi.org/10.1016/S1885-5857\(06\)60143-6](https://doi.org/10.1016/S1885-5857(06)60143-6)
- Smart, N. A., Dieberg, G., y Giallauria, F. (2013). Intermittent versus continuous exercise training in chronic heart failure: a meta-analysis. *International Journal of Cardiology*, 166(2), 352–358. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2011.10.075>
- Strait, J. B., y Lakatta, E. G. (2012). Aging-associated cardiovascular changes and their relationship to heart failure. *Heart Failure Clinics*, 8(1), 143–164. <https://doi.org/10.1016/j.hfc.2011.08.011>
- The Cochrane Collaboration (2010). Review Manager (Versión 5.2) [Software PC]. The Nordic Cochrane Centre, Copenhagen, Dinamarca.
- Tschentscher, M., Eichinger, J., Egger, A., Droese, S., Schönfelder, M., y Niebauer, J. (2016). High-intensity interval training is not superior to other forms of endurance training during cardiac rehabilitation. *European Journal of Preventive Cardiology*, 23(1), 14–20. <https://doi.org/10.1177/2047487314560100>

-
- Urrutia, G., y Bonfill, X. (2010). PRISMA declaration: a proposal to improve the publication of systematic reviews and meta-analyses. *Medicina Clínica*, 135(11), 507–511. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.01.015>
- Warburton, D. E., McKenzie, D. C., Haykowsky, M. J., Taylor, A., Shoemaker, P., Ignaszewski, A. P., y Chan, S. Y. (2005). Effectiveness of high-intensity interval training for the rehabilitation of patients with coronary artery disease. *The American Journal of Cardiology*, 95(9), 1080–1084. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2004.12.063>
- Wisløff, U., Støylen, A., Loennechen, J.P., Bruvold, M., Rognum, Ø., Haram, P. M., Tjønnå, A. E., Helgerud, J., Slørdahl, S. A., Lee, S. J., Videm, V., Bye, A., Smith, G. L., Najjar, S. M., Elligensen, Ø., y Skjaerpe, T. (2007). Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. *Circulation*, 115(24), 3086–3094. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.106.675041>

Publicación 2:

“High-intensity Interval Circuit Training Versus Moderate-Intensity Continuous Training on Functional Ability and Body Mass Index in Middle-Aged and Older Women: A Randomized Controlled Trial”.

RESUMEN

La literatura sugiere que el entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) es más efectivo para mejorar la capacidad funcional que el entrenamiento continuo de moderada intensidad (MIT). Sin embargo, no hay evidencias cuando el HIIT es aplicado en circuito (HIICT). Nuestro objetivo fue determinar qué tipo de entrenamiento (HIICT o MIT) provoca mayores adaptaciones en la capacidad funcional y el índice de masa corporal (IMC) de mujeres mayores y de mediana edad. En este estudio aleatorio cuasiexperimental controlado se incluyeron 54 participantes (edad = 67.8 ± 6.2 años). Las participantes fueron distribuidas aleatoria y equitativamente en el grupo HIICT ($n = 18$), en el grupo MIT ($n = 18$) o en el grupo grupo control (GC; $n = 18$). Las participantes del grupo HIICT y MIT entrenaron con una frecuencia de dos días a la semana (una hora por sesión) durante 18 semanas. 41 participantes fueron analizadas (HIICT; $n = 17$, MIT; $n = 12$, GC; $n = 12$). Cinco participantes presentaron eventos adversos durante el estudio. La fuerza, la marcha, la capacidad cardiorrespiratoria, el equilibrio y el IMC fueron medidos. Se obtuvo una interacción *training x group* significativa en el test de flexión de brazos (ACT), donde HIICT fue estadísticamente mejor que el MIT y el GC. Asimismo, se obtuvo una interacción significativamente mejor en el grupo HIICT que en el grupo control. En relación a la fuerza de las extremidades inferiores, la marcha/equilibrio dinámico y la capacidad cardiorrespiratoria, tanto el grupo HIICT como el grupo MIT mostraron una interacción *training x group* significativamente mejor que el GC. En conclusión, el HIICT generó mejores adaptaciones en la fuerza de las extremidades superiores que el MIT y que el GC. Además, el HIICT generó modificaciones significativas con respecto al GC. Finalmente, tanto el HIICT como el MIT influyeron de forma similar en la fuerza, la capacidad cardiorrespiratoria y la marcha/equilibrio dinámico.

Palabras clave: entrenamiento interválico de alta intensidad; entrenamiento en circuito; personas mayores; personas de mediana edad; mujeres; capacidad funcional.

INTRODUCCIÓN

La población mundial mayor de 65 años está incrementando considerablemente en los últimos años (Blain et al., 2016). Debido a los cambios hormonales (por ejemplo, la menopausia), los efectos del envejecimiento en mujeres resultan en enfermedades crónicas, dependencia funcional, prevalencia de sarcopenia y fragilidad y riesgo de caídas y lesiones, incrementando el riesgo de hospitalización y mortalidad (Bergman et al., 2007; Clegg et al., 2013; Cruz-Jentoft et al., 2019; de Carvalho et al., 2010; Guadalupe-Grau et al., 2017). Esto genera grandes costs económicos para los sistemas de salud en relación a la prevención y el tratamiento de enfermedades crónicas relacionadas con la edad y con situaciones de dependencia (Blain et al., 2016).

Actualmente, el ejercicio físico juega un papel importante en el mantenimiento de la salud y la capacidad funcional de mujeres mayores y de mediana edad (Cesari et al., 2015; Clegg et al., 2013; Goodpaster et al., 2006), entendiéndose por capacidad funcional a la aptitud física de realizar las actividades de la vida diaria (OMS, 2019). Este hecho se ha evidenciado en estudios recientes que exponen que el mantenimiento de altos niveles de fuerza, equilibrio, marcha y capacidad cardiorrespiratoria son los objetivos principales para la realización óptima de las actividades básicas e instrumentales de la vida diaria de mujeres mayores y de mediana edad, así como para retrasar la aparición de sarcopenia y fragilidad (Benítez-Porres et al., 2005; Bergman et al., 2007; Cesari et al., 2015; Clegg et al., 2013). Además, el ejercicio físico ayuda a mantener valores saludables de índice de masa corporal

(IMC), un factor importante en relación a las enfermedades crónicas que causan dependencia en mujeres mayores (Bhaskaran et al., 2018).

Por esta razón, los gobiernos y los sistemas de salud están implementando programas de ejercicio físico para personas mayores y de mediana edad en los centros de día (Mazo et al., 2007). Como las sesiones de entrenamiento suelen ser grupales, el entrenamiento en circuito es uno de los tipos de entrenamiento más comunes (Romero-Arenas et al., 2011; Chin et al., 2004; Laredo-Aguilera et al., 2018). En entrenamiento en circuito consiste en la realización de series de ejercicios que involucren todos los grupos musculares, influyendo simultáneamente sobre la fuerza y la capacidad cardiorrespiratoria (Kaikkonen et al., 2000; Muñoz-Martínez et al., 2017). Además, el entrenamiento en circuito puede ser considerado un método de entrenamiento funcional debido a que sus movimientos pretenden imitar las actividades de la vida cotidiana usando el peso corporal (por ejemplo, sentadillas o zancadas con autocargas).

Algunas investigaciones en personas mayores han mostrado que el entrenamiento en circuito a moderada intensidad (MICT) tiene efectos positivos sobre la fuerza, la resistencia cardiorrespiratoria, el equilibrio, la composición corporal y la calidad de vida (Romero-Arenas et al., 2013; Giné-Garriga et al., 2013; Rosety et al., 2015; Venturelli et al., 2015; Whitehurst et al., 2005). Sin embargo, un nuevo tipo de entrenamiento denominado entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) se ha mostrado efectivo como método de entrenamiento tanto en personas sanas como en el tratamiento de patologías, especialmente en programas de rehabilitación cardíaca (Ballesta-García et al., 2019; Moholdt et al., 2009; Wisløff et al., 2007). El HIIT consiste en periodos cortos de trabajo a alta intensidad (85-100% del consumo máximo de oxígeno – $VO_{2máx}$) intercalados con periodos de descanso relativo (Chicharro y Campos, 2018).

Diversas investigaciones han mostrado una fuerte evidencia de que el HIIT es un método efectivo para aumentar el $VO_{2\text{máx}}$ (Ballesta-García et al., 2019), la fuerza (Adamson et al., 2014; Bruseghini et al., 2015), la capacidad cardiorrespiratoria (Adamson et al., 2014; de Lorenzo et al., 2018), la marcha (Adamson et al., 2014; Coetsee et al., 2017) y para modificar la composición corporal (Álvarez et al., 2016) en personas mayores con patologías. De hecho, la literatura muestral una tendencia que indica que el HIIT podría ser más eficaz que el MIT para mejorar estos índices y marcadores de salud (Chicharro y Campos, 2018). Por otro lado, aún no está claro qué ocurre en otros parámetros funcionales (Araujo et al., 2019; Hannan et al., 2018; Liou et al., 2016).

Sin embargo, aunque los beneficios del HIIT son conocidos, hay poca evidencia sobre su aplicación en circuito (HIICT) in mujeres mayores y de mediana edad sanas. En este sentido, el HIICT parece ser un método de entrenamiento alternativo para mejorar la condición física y el rendimiento en la realización de actividades de la vida cotidiana debido a que integra movimientos multiplanares (sentadillas, empujes, etc.) realizados a máxima velocidad, lo que lo hace muy funcional y transferible en personas mayores (Aragão-Santos et al., 2019; Laredo-Aguilera et al., 2018).

Por esta razón, el objetivo principal del presente estudio fue determinar qué tipo de entrenamiento (HIICT o MICT) induce mayores adaptaciones sobre la capacidad funcional y el IMC de mujeres mayores y de mediana edad sanas. Basándonos en estudios previos, nuestra hipótesis fue que el HIICT podría mejorar significativamente la fuerza, la marcha, la capacidad cardiorrespiratoria, el equilibrio estático y dinámico, y el IMC de mujeres mayores y de mediana edad sanas. Además, se hipotetizó que el HIICT podría inducir adaptaciones superiores que el MICT en estas variables.

MATERIAL Y MÉTODO

Diseño

Este fue un ensayo clínico cuasiexperimental controlado y aleatorizado de 18 semanas en el que mujeres mayores y de mediana edad sanas fueron asignadas a un grupo HIICT ($n = 18$), un grupo MICT ($n = 18$) o a un grupo control (GC; $n = 18$). El diseño del estudio siguió las directrices de CONSORT y fue aprobado por el Comité de Bioética de la Universidad de Almería (UALBIO2019/006).

Participantes

Un total de 90 mujeres (67.8 ± 6.2 años) fueron invitadas a participar en el estudio. El reclutamiento se realizó de septiembre a diciembre de 2017 en centros de día y de mayores de Murcia (España). Se realizó una evaluación médica general para ver si las mujeres eran física y mentalmente capaces de participar en los programas de entrenamiento. Los criterios de inclusión fueron: mujeres de 55 a 85 años que fueran autónomas para realizar las actividades de la vida diaria según la escala de Lawton y Brody (Lawton y Brody, 1969) y el índice de Katz (Katz et al., 1963), y sin respuestas positivas (excepto el ítem 6) en el cuestionario de preparación para la actividad física (PAR-Q), con el fin de incluir mujeres con hipertensión controlada y sin patologías cardíacas, respiratorias o articulares que pudieran interferir en la realización de los programas de ejercicio. Los criterios de exclusión fueron: mujeres que estuvieran participando o hubieran participado en un programa de ejercicios similar en los últimos tres meses y mujeres con hipertensión no controlada. Las participantes también tuvieron que tener, al menos, una adherencia al programa de un 80%. Todas las participantes tuvieron que firmar un consentimiento informado antes de comenzar el estudio. Estos datos fueron recogidos en los centros de día y de mayores.

Intervención

Las participantes distribuidas en los grupos HIICT y MICT entrenaron con una frecuencia de dos días a la semana (una hora por sesión) durante 18 semanas (de enero a mayo de 2018). Las mujeres asignadas al GC fueron motivadas a mantener sus hábitos de actividad física habituales. Los entrenamientos de los grupos HIICT y MICT fueron supervisados por un Graduado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, experto en actividad física terapéutica.

El programa estaba compuesto por un periodo de dos semanas de familiarización y por cuatro mesociclos de cuatro semanas diseñados según los principios del entrenamiento. Las sesiones estaban divididas en tres fases: (1) calentamiento, (2) parte principal de HIIT o MICT y (3) vuelta a la calma. Tanto HIICT como MICT se centraron en movimientos de las extremidades inferiores, combinados con movimientos del tren superior con o sin carga externa. Sin embargo, el grupo MICT se realizó a velocidades moderadas con el objetivo de entrenar a 9-14 puntos de la escala de esfuerzo percibido de Borg (RPE), mientras que el HIICT se realizó a altas velocidades con el objetivo de entrenar a 14-18 puntos de la RPE. Las Tablas 1 y 2 muestran un ejemplo de la evolución de las cargas de entrenamientos y de la progresión de ejercicios realizada, respectivamente.

La intensidad del entrenamiento fue controlada utilizando la escala de Borg. Esta escala establece un código numérico que va de 6 a 20 puntos, donde 6 es “*muy, muy ligero*” y 20 “*esfuerzo máximo*”, determinando el nivel de esfuerzo e intensidad del ejercicio durante una sesión de entrenamiento (Cesari et al., 2015). Las primeras dos semanas del estudio fueron usadas para familiarizar a los participantes con la escala de Borg. Durante las sesiones de familiarización, se usaron pulsómetros para asociar la fatiga con los valores de RPE. A lo largo del primer mesociclo, con el objetivo de controlar la intensidad a la que trabajaban las

participantes, se les preguntó cuál era su nivel de cansancio. Esta pregunta se realizaba después de cada bloque trabajo/descanso en HIICT y cada cinco minutos en MICT. En el grupo MICT, las sesiones comenzaron a intensidades moderadas (6-7 puntos) y finalizaban a intensidad moderada-vigorosa (12-14 puntos). En el grupo HIICT, se realizaron 6-12 intervalos de trabajo a alta intensidad (16-18 puntos) alternados con intervalos de descanso a moderada intensidad (7-11 puntos) en cada sesión. Además, la duración de los intervalos de trabajo era de 1-1.5 minutos y la duración de los intervalos de descanso fue de 2-2.5 minutos.

Tabla 1

Progresión de las cargas de entrenamiento de los grupos HIICT y MICT.

Mesociclo	Grupo	Volumen (minutos)	Efectos del trabajo (minutos)	Intensidad (RPE)	Densidad (T/D)
Mesociclo 1 (semanas 3–6)	HIICT	18–32 (6–8 intervalos)	6–12	T: 14–15 D: 7–8	0.5–1
	MICT	18–32	18–32	9–12	1
Mesociclo 2 (semanas 7–10)	HIICT	32–40 (9–10 intervalos)	12–15	T: 15–16 D: 7–8	0.5–0.6
	MICT	32–40	32–42	9–12	1
Mesociclo 3 (semanas 11–14)	HIICT	40 (8–10 intervalos)	10–15	T: 16–18 D: 9–10	0.6
	MICT	40	40	11–13	1
Mesociclo 4 (semanas 15–18)	HIICT	28–40 (8–12 intervalos)	15–18	T: 16–18 D: 10–11	0.6–0.75
	MICT	40–50	40–50	12–14	1

Notas. HIICT: entrenamiento en circuito basado en HIIT; MICT: entrenamiento en circuito a moderada intensidad; RPE: escala de esfuerzo percibido de Borg; T/D: ratio trabajo/descanso.

Variables

La capacidad funcional, medida con el Senior Fitness test (Rikli y Jones, 2013), fueron los resultados principales de este estudio. El IMC y la fuerza de prensión manual fueron los resultados secundarios. Las pruebas se realizaron antes y después de la intervención. Los test previos a la intervención se realizaron en enero de 2018, una semana previa al comienzo de la intervención. Los post-test fueron realizados en mayo de 2018, una semana después de finalizar el programa.

La fuerza de las extremidades superiores se midió con el test de flexión de brazo durante 30 segundos (ACT). Las participantes tuvieron que realizar el mayor número de flexo-extensiones de brazos durante 30 segundos, con una mancuerna de dos kilogramos. El test fue realizado dos veces con cada brazo (Rikli y Jones, 2013).

La fuerza de las extremidades inferiores se midió con el test sit-to-stand durante 30 segundos (STS-30). Las participantes estaban sentadas, con los pies descansando sobre el suelo y con las manos apoyadas sobre el hombro opuesto. Fueron motivadas a levantarse y sentarse de la silla tantas veces como fuera posible durante 30 segundos. El test solo se realizó una vez (Rikli y Jones, 2013).

La marcha fue evaluada mediante el test Timed Up and Go. Este test requiere que los participantes se levanten de una silla sin apoyo de las manos, caminen tres metros, den la vuelta a un cono, y vuelvan a sentarse a la silla. El tiempo comienza cuando el evaluador da la instrucción “vamos” y se paró cuando las participantes recuperaban su posición inicial. El test se realizó dos veces, además de un ensayo. Se registró el mejor tiempo (Rikli y Jones, 2013).

Para valorar la resistencia aeróbica se utilizó el test de caminata de los 6 minutos (6MWT). Las participantes fueron motivadas a caminar todos los metros posibles a lo largo de

un circuito de 42 metros. Era posible parar cuando fuese necesario. Se registró la distancia andada y la frecuencia cardíaca (FC) al inicio y al final de la prueba. Además, se calculó la diferencia entre la FC final y la del inicio (Rikli y Jones, 2013).

Tabla 2

Ejemplo de ejercicios para HIICT y MICT en cada mesociclo.

Mesociclo	HIICT	MICT
Mesociclo 1 (semanas 3–6)	T: grapevine; squat; step-touch; side step; swinging D: gait; mambo cha-cha-cha	grapevine; squat; gait; step-touch; side step; mambo cha-cha-cha; swinging
Mesociclo 2 (semanas 7– 10)	T: grapevine with shoulder and elbow flexion; step-touch with shoulder and elbow flexion; knee-up; chasse; squats with shoulder-up D: gait; jogging	grapevine with shoulder and elbow flexion; step-touch with shoulder and elbow flexion; gait; knee-up; chasse; squats with shoulder-up; jogging
Mesociclo 3 (semanas 11– 14)	T: grapevine with shoulder and elbow flexion and external load; jumping jack; step-touch with shoulder and elbow flexion and external load; chasse with shoulder-up. D: jogging; fast walking	grapevine with shoulder and elbow flexion and external load; chasse; jogging; step- touch with shoulder and elbow flexion and external load; chasse with shoulder-up; walking
Mesociclo 4 (semanas 15– 18)	T: jumping jack with external load; grapevine with shoulder and elbow flexion and external load; knee-up with shoulder and elbow flexion and external load; hamstring curl with shoulder and elbow flexion and external load D: fast walking; hops	step-touch with shoulder and elbow flexion and external load; grapevine with shoulder and elbow flexion and external load; knee- up with shoulder and elbow flexion and external load; hamstring curl with shoulder and elbow flexion and external load; walking; hops

Notas. HIICT: High-Intensity Interval Circuit Training; MICT: Moderate-Intensity Circuit Training; T: ejercicios durante el interval de trabajo; D: ejercicios durante el interval de descanso.

El equilibrio se valoró usando el test de equilibrio monopodal (OLS). El test midió el tiempo que permanecían las participantes con el apoyo de una sola pierna sobre el suelo. El cronómetro se paró cuando se completaron 30 segundos o cuando el pie no apoyado tocaba el suelo. El test se realizó dos veces con cada pierna. Se registró la mejor marca realizada con cada pierna (Rikli y Jones, 2013).

La fuerza de prensión manual se midió con un dinamómetro Takei (TKK 5001). Las participantes estaban de pie con el brazo completamente extendido y con un agarre neutral. Se registró el mayor valor alcanzado con cada brazo tras tres intentos (Khalil et al., 2014).

La altura y el peso se midieron usando una báscula electrónica y un tallímetro rod (Seca 768), respectivamente. Se calculó el índice de masa corporal (IMC) de acuerdo a la fórmula: $IMC = kg/m^2$.

Tamaño muestral y potencia

Los cálculos para establecer el tamaño de la muestra se realizaron con el software Rstudio 3.15.0 (Boston, Estados Unidos). El nivel de significación se fijó en $p \leq 0.05$. De acuerdo con la desviación típica media establecida para el 6MWT en un estudio anterior (DT = 53.3 metros) (Blain et al., 2017) y un error (d) estimado de 14.2 metros, un tamaño de muestra válido para un intervalo de confianza (IC) del 95% fue de 54 ($n = CI^2 \times d^2/DE^2$). Un total de 54 mujeres completaron el estudio. El tamaño de muestra final obtenido para cada grupo (HIICT = 17; MICT = 12; GC = 12) proporcionará potencias del 81%, 65% y 65%, respectivamente, si se encuentra entre y dentro de una varianza de 1.

Aleatorización y cegamiento

Se eligió un método de aleatorización en bloque para asignar los participantes a los grupos en tamaños de muestra iguales (HIICT, MICT y CG, $n = 18$). El tamaño del bloque se

determinó de acuerdo con la potencia estadística proporcionada. Los bloques se eligieron al azar para determinar la asignación de los participantes en los grupos. Siguiendo a Kim (2014), se creó una secuencia de aleatorización utilizando Excel 2016 (Microsoft, Redmond, WA, USA), con una asignación 1: 1 a través de una tabla numérica aleatoria. Debido a la dificultad de cegar a los participantes y entrenadores en los entrenamientos, solo el personal de investigación que realiza la evaluación y el análisis estadístico fue cegado a la asignación de grupos. El método de ocultamiento de la asignación elegido fue la asignación central.

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software Jamovi (Jamovi Project 2018, versión 0.9.1.7; <https://www.jamovi.org>) y el software Rstudio 3.15.0 (Boston, Estados Unidos). Antes del análisis de los datos, se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para determinar la distribución normal de las variables. También se realizó la prueba de Levene para determinar la homogeneidad de la varianza. Los datos descriptivos se presentan como la media \pm DE y el rango. Se realizó el análisis por intención de tratar, usando la última observación para los datos que faltaban. Para comparar las variables antes de la intervención, se calculó el análisis de varianza (ANOVA) para medidas repetidas (modelo lineal general). Para comparar las variables después de la intervención, se utilizó el análisis de covarianza (ANCOVA), incluyendo los datos basales como co-variables para ajustar las posibles diferencias en las variables dependientes. La edad también se incluyó como una co-variable debido al amplio rango de edades considerado en el presente estudio (55-85 años). Se calcularon las diferencias de medias estandarizadas (tamaño del efecto de Cohen) junto con los intervalos de confianza del 95% (Khalil et al., 2014). Un valor del tamaño del efecto (ES) de 0.2 indica un efecto pequeño, 0.6 un efecto moderado, 1.2 un efecto grande, 2.0 un efecto

muy grande y 4.0 un efecto casi perfecto (Hopkins et al., 2009). El nivel de significación se fijó en $p \leq 0.05$.

RESULTADOS

La Figura 1 ilustra el diagrama de flujo de participantes durante el protocolo. Veintinueve mujeres no cumplieron los criterios de inclusión y siete se negaron a participar. En total, 54 mujeres se inscribieron en el estudio y se distribuyeron aleatoriamente en HIICT, MICT y CG. Finalmente, 41 participantes (HICT, $n = 17$; MICT, $n = 12$; GC, $n = 12$) completaron el estudio. Las participantes completaron el 84% y el 87% de la formación en los grupos HIICT y MICT, respectivamente. El estudio terminó en mayo de 2018. Las características basales de las participantes en los tres grupos se muestran en la Tabla 3.

Resultados inter-grupos

Los resultados intergrupo de los resultados primarios y secundarios se presentan en las Tablas 4 y 5. El análisis principal de estos resultados indica que hubo una interacción *training x group* significativa ($p < 0.001$) en el ACT, STS-30, TUG, 6MWT e IMC.

- En el ACT, el HIICT fue estadísticamente mejor que el MICT (dif = 6.6 rep, $t = -3.905$) y que el GC (dif = 9.3 rep, $t = -2.986$).
- En el STS-30, tanto el HIICT (dif = 5.6 rep, $t = -5.84$) como el MICT (dif = 3.2 rep, $t = -3.87$) fueron estadísticamente mejores que el GC.
- En el TUG, tanto el HIICT (dif = -0.78 sec, $t = 4.03$) como el MICT (dif = -0.23 sec, $t = 4.244$) fueron estadísticamente mejores que el GC.
- En el 6MWT, tanto el HIICT (dif = 43 m, $t = -3.631$) como el MICT (dif = 55 m, $t = -3.719$) fueron estadísticamente mejores que el GC.

- De acuerdo al IMC, el HIICT fue significativamente mayor que el GC (dif = -1.4 kg/m^2 , $t = 3.58$).

Resultados intra-grupos

El análisis adicional intra-grupo (Tablas 6 y 7) muestra una mejora significativa ($p < 0.001$) en la STS-30, TUG y 6MWT tanto para el HIICT como para el MICT. En cuanto al ACT, tanto el HIICT como el GC mostraron mejoras significativas ($p = 0.022$ y $p < 0.001$, respectivamente). Por otro lado, se obtuvo una disminución significativa en la STS-30 y el TUG para el GC ($p < 0.001$ y $p = 0.016$, respectivamente), y en el OLS de la pierna derecha ($p = 0.024$) para el HIICT. En cuanto al IMC, el HIICT mostró una reducción significativa ($p = 0.035$), mientras que el GC mostró un aumento significativo ($p = 0.019$).

En cuanto a la seguridad, se registraron eventos adversos tanto en el grupo MICT como en el GC. Cuatro mujeres del grupo MICT y una del grupo CG dejaron el estudio debido a una cirugía ocular, una cirugía de pie, una fractura de clavícula y dos fracturas de cadera. Estos eventos adversos no ocurrieron durante las clases de ejercicio.

DISCUSIÓN

El presente estudio investigó qué tipo de entrenamiento (HIICT o MICT) induce mayores adaptaciones en la fuerza, la marcha, la resistencia aeróbica, el equilibrio estático y el IMC de las mujeres de mediana edad y mayores sanas. El principal hallazgo de este estudio fue que el HIICT fue más efectivo que el MICT para mejorar la fuerza de las extremidades superiores en mujeres sanas de mediana edad y mayores. Además, tanto el HIICT como el MICT también fueron efectivos para mejorar la fuerza de los miembros inferiores, la marcha y la resistencia aeróbica. Los análisis secundarios sugieren que el HIICT es un método de

entrenamiento eficaz para reducir el IMC después de 18 semanas de entrenamiento. Hasta donde conocemos, este es el primer ensayo controlado aleatorio que ha evaluado los efectos del HIICT sobre la capacidad funcional en mujeres sanas de mediana edad y mayores.

Figura 1

Diagrama de flujo del seguimiento del estudio.

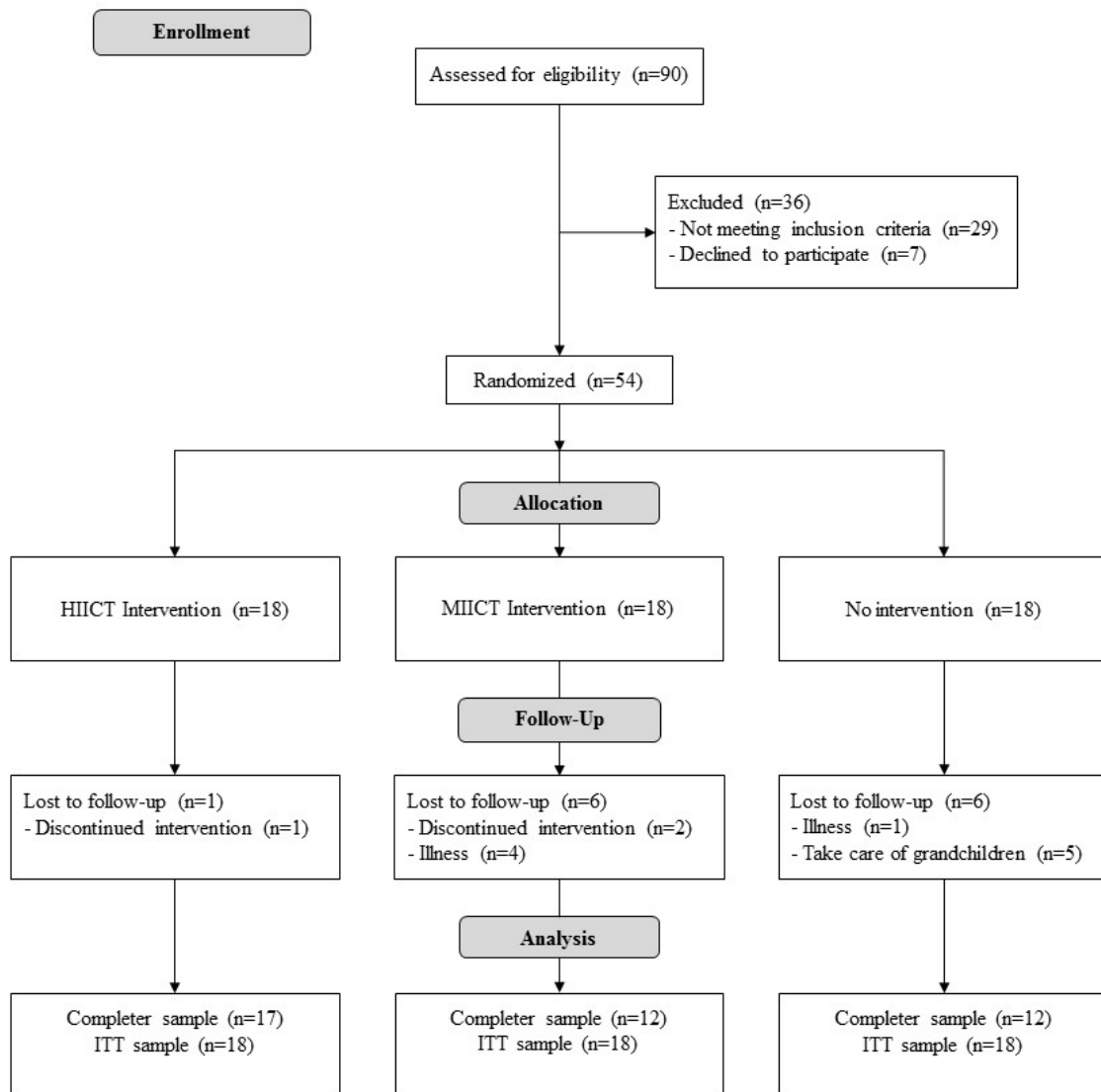


Tabla 3*Características basales (n = 54).*

Grupo	n	Media	DT	Min	Máx	p
Edad (años)						
GC	18	67.4	5.71	59	75	0.370
MICT	18	70	8.76	55	86	
HIICT	18	66.3	5.44	57	76	
Índice de masa corporal (kg/m ²)						
GC	18	31.2	4.89	20.9	38.4	0.689
MICT	18	30.1	3.08	24.3	35.9	
HIICT	18	30.4	4.13	35.2	37.7	
Test de flexión de brazos – ACT (repeticiones)						
GC	18	20.6	2.96	17.5	28.0	0.102
MICT	18	25.6	5.20	15.5	35.5	
HIICT	18	28.9	5.17	18.5	40.0	
Test Sit-To-Stand – 30-STs (repeticiones)						
GC	18	16.8	2.90	11	22	0.140
MICT	18	13.7	3.38	6	18	
HIICT	18	15.1	2.69	10	19	
Test Timed Up and Go – TUG (segundos)						
GC	18	5.89	0.74	4.94	7.46	0.070
MICT	18	6.40	1.23	4.73	9.30	
HIICT	18	6.08	1.31	4.51	9.30	
Test de caminata de los 6 minutos – 6MWT (metros)						
GC	18	510	59.0	410	590	0.135
MICT	18	502	72.3	355	636	
HIICT	18	564	41.0	455	625	
Test de equilibrio monopodal con la pierna derecha – OLS_D (segundos)						
GC	18	19.6	9.09	5.89	30	< 0.001
MICT	18	21.6	11.20	3.00	30	
HIICT	18	26.9	7.75	2.00	30	
Test de equilibrio monopodal con la pierna izquierda – OLS_D (segundos)						
GC	18	15.1	9.10	1.98	30	< 0.001
MICT	18	19.9	10.00	2.00	30	
HIICT	18	27.4	6.87	2.00	30	
Fuerza de prensión manual derecha (kilogramos)						
GC	18	23.0	4.21	16.0	31.0	0.345
MICT	18	23.6	5.10	16.0	36.0	
HIICT	18	25.8	3.77	20.0	34.5	
Fuerza de prensión manual izquierda (kilogramos)						
GC	18	21.4	4.06	14.0	29.0	0.904
MICT	18	22.3	4.01	16.5	31.0	
HIICT	18	25.0	3.49	20.0	32.5	
Diferencia post-pre de la frecuencia cardíaca en el 6MWT (pulsaciones por minuto)						
GC	18	34.9	14.8	15	57	0.684
MICT	18	26.7	14.7	5	59	
HIICT	18	34.8	17.1	-15	65	

Notas. GC: grupo control; MICT: entrenamiento en circuito a moderada intensidad; HIICT: entrenamiento en circuito basado en

HIIT; n: número de participantes; DT: desviación típica; Min: mínimo; Máx: máximo.

Tabla 4

Ajuste ANCOVA para los resultados primarios en HIICT, MICT y GC.

Grupo	Incremento				ANCOVA (F, p, ES η^2)									
	n (ITT)	n (tratada)	Media	DT	Training x Group			Training x Basal			Training x Edad			
					F	p	ES η^2	F	p	ES η^2	F	p	ES η^2	
Test de flexion de brazos – ACT (repeticiones)														
GC	18	12	1.80	-0.10										
MICT	18	12	-0.50	-1.14	8.1	8.99 x 10 ⁻⁴	2,3	0.192	18.3	8.51 x 10 ⁻⁵	0.217	9.85E-03	0.921	0.000
HIICT	18	17	2.80	0.28										
Test Sit-To-Stand – 30-STS (repeticiones)														
GC	18	12	-1.90	-0.05										
MICT	18	12	3.80	1.47	17.42	1.81 x 10 ⁻⁶	1,2	0.381	6.54	1.36 x 10 ⁻²	0.072	0.353	0.555	0.004
HIICT	18	17	5.60	0.47										
Test Timed Up and Go – TUG (segundos)														
GC	18	12	0.36	0.16										
MICT	18	12	-0.87	0.05	11.41	8.30 x 10 ⁻⁵	1,2	0.281	8.45	5.42 x 10 ⁻³	0.104	0.274	0.603	0.004
HIICT	18	17	-0.78	-0.51										
Test de caminata de los 6 minutos – 6MWT (metros)														
GC	18	12	-16	-9.50										
MICT	18	12	43	0.30	9.34	3.57 x 10 ⁻⁴	1,2	0.256	4.42	4.05 x 10 ⁻²	0.060	0.274	0.603	0.004
HIICT	18	17	36	33.9										
Test de equilibrio monopodal con la pierna derecha – OLS_D (segundos)														
GC	18	12	1.70	1.91										
MICT	18	12	1.10	-1.32	2.38	0.102		0.086	4.03	0.050	0.07	2.48	0.122	0.044
HIICT	18	17	-1.60	1.12										
Test de equilibrio monopodal con la pierna izquierda – OLS_I (segundos)														
GC	18	12	-3.40	1.80										
MICT	18	12	0.90	1.00	1.9	0.160		0.069	4.07	0.049	0.067	0.017	0.895	0.000
HIICT	18	17	-2.60	1.87										

Notas. ITT: intención de tratar; DT: desviación típica; ANCOVA: análisis de la covarianza; F: varianza estimada; CG: grupo control; MICT: entrenamiento en circuito a moderada intensidad; HIICT: entrenamiento en circuito basado en HIIT.

¹Diferencias significativas en el MICT comparado con el GC.

²Diferencias significativas en el HIICT comparado con el GC.

³Diferencias significativas en el HIICT comparado con el MICT.

Tabla 5

Ajuste ANCOVA para los resultados secundarios en HIICT, MICT y GC.

Grupo	n (ITT)	n (tratada)	Incremento		ANCOVA (F, p, ES η^2)									
			Media	DE	Training x Group			n (IT)			n (tratada)			
					F	p	ES η^2	F	p	ES η^2	F	p	ES η^2	
Índice de masa corporal – IMC (kg/m ²)														
GC	18	12	0.30	-0.05										
MICT	18	12	-0.10	1.47	6.99	0.002 ²	0.215	3.02	0.088	0.046	0.217	0.643	0.003	
HIICT	18	17	-0.30	0.47										
Fuerza de presión manual derecha (kilogramos)														
GC	18	12	0.60	-0.86										
MICT	18	12	-0.40	0.49	0.881	0.420	0.033	9.72	3.02 x 10 ⁻³	0.155	1.45	0.233	0.028	
HIICT	18	17	0.60	-0.68										
Fuerza de presión manual izquierda (kilogramos)														
GC	18	12	0.90	0.04										
MICT	18	12	-0.20	0.74	1.46	0.243	0.054	1.39	0.244	0.026	1.13	0.293	0.021	
HIICT	18	17	0.60	0.87										
Diferencia post-pre de la frecuencia cardíaca en el 6MWT (pulsaciones por minuto)														
GC	18	12	-3	-9.50										
MICT	18	12	2	0.30	1	0.375	0.038	13.39	6.08 x 10 ⁻⁴	0.197	1.74	0.193	0.032	
HIICT	18	17	6	33.90										

Notas. ITT: intención de tratar; DT: desviación típica; ANCOVA: análisis de la covarianza; F: varianza estimada; CG: grupo control; MICT: entrenamiento en circuito a moderada intensidad; HIICT: entrenamiento en circuito basado en HIIT.

¹Diferencias significativas en el MICT comparado con el GC.

²Diferencias significativas en el HIICT comparado con el GC.

³Diferencias significativas en el HIICT comparado con el MICT.

Tabla 6

Diferencias intra-grupo para los resultados primarios en HIICT, MICT y GC.

Grupo	Pre-entrenamiento			Post-entrenamiento			p	IC 95% para la MD		Cohen's d
	n	Media	DT	n	Media	DE		Inferior	Superior	
Test de flexion de brazos – ACT (repeticiones)										
GC	18	20.6	2.96	12	22.4	2.86	2.04 x 10 ⁻⁴	-2.61	-0.99	0.57
MICT	18	25.6	5.20	12	25.1	4.06	0.575	-1.34	2.34	0.09
HIICT	18	28.9	5.17	17	31.7	5.45	0.022	-5.09	-0.45	0.52
Test Sit-To-Stand – 30-STS (repeticiones)										
GC	18	16.8	2.90	12	14.9	2.85	1.40 x 10 ⁻⁴	1.07	2.70	0.61
MICT	18	13.7	3.38	12	17.5	4.85	3.20 x 10 ⁻⁴	-5.65	-2.01	1.05
HIICT	18	15.1	2.69	17	20.7	3.16	1.00 x 10 ⁻⁶	-7.13	-4.08	1.98
Test Timed Up and Go – TUG (segundos)										
GC	18	5.89	0.74	12	6.25	0.89	0.016	-0.64	-0.07	0.46
MICT	18	6.40	1.23	12	5.53	1.28	0.001	0.38	1.34	0.66
HIICT	18	6.08	1.31	17	5.30	0.80	0.009	0.21	1.35	0.57
Test de caminata de los 6 minutos – 6MWT (metros)										
GC	18	510	59.0	12	494	49.5	0.058	-0.60	33.39	0.25
MICT	18	502	72.3	12	545	72.6	3.09 x 10 ⁻⁴	-61.94	-22.46	0.55
HIICT	18	564	41.0	17	600	74.9	0.036	-8.65	-2.57	0.84
Test de equilibrio monopodal con la pierna derecha – OLS_D (segundos)										
GC	18	19.6	9.09	12	21.3	11.00	0.233	-4.57	1.19	0.17
MICT	18	21.6	11.20	12	22.7	9.88	0.237	-3.06	0.81	0.99
HIICT	18	26.9	7.75	17	25.3	8.87	0.024	0.24	3.10	0.20
Test de equilibrio monopodal con la pierna izquierda – OLS_I (segundos)										
GC	18	15.1	9.1	12	11.7	10.90	0.129	-1.08	7.79	0.35
MICT	18	19.9	10.0	12	20.80	11.00	0.486	-3.54	1.75	0.08
HIICT	18	27.4	6.87	17	24.80	8.74	0.124	-0.80	6.05	0.36

Notas. DT: desviación típica; GC: grupo control; MICT: entrenamiento en circuito a moderada intensidad; HIICT: entrenamiento en circuito basado en HIIT.

Tabla 7

Diferencias intra-grupo para los resultados secundarios en HIICT, MICT y GC.

Grupo	Pre-entrenamiento			Post-entrenamiento			<i>p</i>	IC 95% para la MD		Cohen's d
	<i>n</i>	Media	DT	<i>n</i>	Media	DT		Inferior	Superior	
Índice de masa corporal – IMC (kg/m ²)										
GC	18	31.2	4.89	12	31.5	5.05	0.019	-0.52	-0.53	0.06
MICT	18	30.1	3.08	12	30.0	3.15	0.140	-0.02	0.29	0.03
HIICT	18	30.4	4.13	17	30.1	4.24	0.035	0.02	0.60	0.07
Fuerza de prensión manual derecha (kilogramos)										
GC	18	23.0	4.21	12	23.6	3.35	0.155	-1.54	0.26	0.13
MICT	18	23.6	5.1	12	23.2	5.59	0.650	-1.38	2.16	0.07
HIICT	18	25.8	3.77	17	26.4	3.09	0.397	-1.80	0.75	0.15
Fuerza de prensión manual izquierda (kilogramos)										
GC	18	21.4	4.06	12	22.3	4.10	0.219	-2.28	0.56	0.21
MICT	18	22.3	4.01	12	22.1	4.75	0.656	-0.91	1.41	0.05
HIICT	18	25	3.49	17	25.6	4.36	0.229	-1.64	0.42	0.16
Diferencia post-pre de la frecuencia cardíaca en el 6MWT (pulsaciones por minute)										
GC	18	34.90	14.80	12	31.7	12.30	0.303	-3.179	9.624	0.21
MICT	18	26.70	14.70	12	28.7	12.30	0.565	-9.184	5.184	0.13
HIICT	18	34.80	17.10	17	40.6	14.20	0.137	-13.582	2.027	0.32

Notas. DT: desviación típica; GC: grupo control; MICT: entrenamiento en circuito a moderada intensidad; HIICT: entrenamiento en circuito basado en HIIT.

En relación con la fuerza muscular, el presente estudio muestra una mejora significativa en el ACT y STS-30 después del período de entrenamiento de 18 semanas en ambos grupos de entrenamiento (HIICT y MICT), con diferencias significativas ambos con el CG. También hubo diferencias significativas entre HIICT y MICT en el ACT, a favour del primero. Por otro lado, aunque el HIICT y el MICT no fueron significativamente diferentes en el STS-30, se obtuvo un gran tamaño del efecto en el HIICT ($ES = 1.98$) y un tamaño del efecto moderado en el MICT ($ES = 1.5$). En línea con nuestros resultados, Boukabous et al., (2019) obtuvieron diferencias significativas en el ACT entre el HIIT y el MICT después de ocho semanas de entrenamiento en mujeres mayores. Del mismo modo, García-Pinillos et al. (2019) y Adamson et al. (2014) obtuvieron mejoras significativas en la fuerza de las extremidades inferiores después de 12 semanas de entrenamiento concurrente de alta intensidad y resistencia aeróbica, y un programa de ciclismo de intervalo de alta intensidad, respectivamente, en muestras compuestas por hombres y mujeres. Sin embargo, en estos dos últimos estudios no se compararon los grupos con otros de diferente intensidad de entrenamiento.

Los resultados de la fuerza de los miembros superiores podrían asociarse con la metodología de entrenamiento aplicada en el HIICT. Aunque el HIICT y el MICT contenían movimientos similares en los ejercicios, la velocidad de ejecución era superior en HIICT, lo que podría conducir a adaptaciones neuronales (es decir, un mayor reclutamiento de unidades motoras y fibras musculares ST y una disminución de la co-activación) y, en consecuencia, una mejor ganancia de fuerza muscular (Chicharro y Campos, 2018). Esto está en la línea de Correa et al. (2012), que compararon tres tipos de entrenamiento en mujeres mayores, concluyendo que el entrenamiento rápido de fuerza podría ser más efectivo que otros tipos de entrenamiento para el desarrollo de la fuerza muscular. Asimismo, es importante destacar la

importancia de los resultados porque la fuerza de la parte superior del cuerpo se ha relacionado con la calidad de vida de las mujeres de más de 60 años de edad (Nawrocka et al., 2019).

Por otro lado, no está claro por qué no hubo diferencias significativas en la fuerza de los miembros inferiores entre el HIICT y el MICT. La falta de diferencias podría estar influenciada por la posición de pie durante las sesiones en ambos grupos. Asimismo, con la dualidad del movimiento y la complejidad de las tareas, es posible que en este caso no se haya logrado una mayor velocidad durante el HIICT. Sin embargo, aunque el MICT mejoró la fuerza de los miembros inferiores, a fin de obtener beneficios de fuerza en los miembros superiores e inferiores de ambos métodos de entrenamiento, este estudio sugiere que el HIICT puede utilizarse como una intervención que ahorra tiempo para aumentar la fuerza de los miembros superiores e inferiores.

En cuanto a los resultados de la marcha y el equilibrio dinámico, este estudio mostró una mejora significativa en el TUG para los grupos HIICT y MICT, con diferencias significativas entre ellos y el GC. Aunque no existe ninguna investigación que compare estos métodos de entrenamiento en mujeres de edad avanzada, estos hallazgos concuerdan con varios estudios que relacionan las intervenciones de HIIT (Adamson et al., 2014; Jiménez-García et al., 2019; Sayers et al., 2016) y de MICT (Denison et al., 2013; Shigematsu et al., 2002; Sousa et al., 2017) con mejoras en la marcha. Por ejemplo, García-Pinillos et al. (2019) observaron una disminución del 9% en el tiempo para caminar 10 metros tras un programa de entrenamiento concurrente de fuerza y HIIT de 12 semanas en personas mayores sanas. Por contra, un estudio orientado al entrenamiento en suspensión obtuvo diferencias significativas en el rendimiento del TUG en HIIT comparado con el MICT (Jiménez-García et al., 2019). Una posible razón de nuestros resultados puede ser precisamente el aumento de la fuerza de los miembros inferiores y las adaptaciones del sistema nervioso (Carrasco-Poyatos et al., 2019).

La ejecución de los movimientos en bipedestación podría generar adaptaciones neural y a producir una transferencia positiva al equilibrio dinámico, la marcha y la fuerza de los miembros inferiores (Charlton et al., 2015; Sayers et al., 2016). La mejora mostrada en esta prueba tiene especial relevancia por su relación con la disminución del riesgo de caídas. La literatura refleja que el equilibrio postural durante la marcha es una de las variables más relevantes en relación con las caídas (Granacher et al., 2012). Del mismo modo, la velocidad de la marcha parece ser un predictor de la autonomía en las actividades de la vida diaria (Makizako et al., 2015).

En cuanto a la aptitud cardiorrespiratoria, tanto el HIICT como el MICT obtuvieron mejoras significativas en el 6MWT, con un tamaño de efecto moderado en el HIICT (ES = 0.84) frente a un tamaño de efecto pequeño en el MICT (ES = 0.55). Además, este resultado se ve potenciado por un tamaño del efecto pequeño en las frecuencias cardíacas medias del HIICT (ES = 0.32) frente a un tamaño del efecto trivial en el MICT (ES = 0.13). En línea con nuestros resultados, Boukabous et al. (2019) mostraron que ambos tipos de entrenamiento proporcionaron mejoras similares en el rendimiento del 6MWT, aunque el protocolo HIIT fue diseñado para representar la mitad de la duración del MICT (y el gasto de energía). Por otro lado, Villelabeitia-Jaureguizar et al. (2016) compararon el rendimiento en el 6MWT después de HIIT o MICT, obteniendo diferencias significativas a favor de HIIT. La relevancia de esta mejora se debe a la relación de la aptitud cardiorrespiratoria con la autonomía para realizar las actividades de la vida diaria y prevenir o retrasar la fragilidad en las personas mayores (Fleg, 2012). Además, Fraga et al. (2011) mostraron influencias positivas de la aptitud cardiorrespiratoria en la calidad de vida de los ancianos después de 16 semanas de entrenamiento aeróbico.

Finalmente, un reciente meta-análisis de Nardi et al. (2018) evaluó el IMC de 120 participantes prediabéticos, no obteniendo diferencias significativas entre HIIT y MICT.

Contrariamente a nuestros resultados, el meta-análisis se refiere a una disminución del IMC después de los programas HIIT y MICT. De la misma manera, un estudio en ciclismo no encontró una disminución significativa en el IMC después del HIIT en mujeres posmenopáusicas con diabetes (Maillard et al., 2016). De manera similar, Ramos et al. (2017), en un estudio reciente con participantes con sobrepeso con y sin diabetes, no describieron mejoras significativas en el IMC después de 16 semanas de dos intervenciones diferentes de HIIT, sin diferencias significativa entre el HIIT y el MICT.

La fuerza de este estudio fue el efecto positivo del HIICT en la capacidad funcional y el IMC de mujeres sanas de mediana edad y mayores. Las implicaciones clínicas del presente estudio están relacionadas con la importancia que el HIICT podría tener como método efectivo para mejorar la capacidad funcional y el IMC de las mujeres de mediana edad y mayores y, en consecuencia, la autonomía para llevar a cabo las actividades de la vida diaria y una mejor calidad de vida. Además, la viabilidad de este tipo de entrenamiento en circuito ofrece la posibilidad de ser implementado fácilmente y con un material de bajo coste.

Aunque este estudio ha demostrado que 18 semanas de HIICT pueden producir mejoras en la fuerza, la velocidad de marcha y la aptitud cardiorrespiratoria, así como en el IMC, no está exento de limitaciones. En primer lugar, no cegar a los participantes y entrenadores, así como el amplio rango de edad de la muestra deben considerarse limitaciones de este estudio. En segundo lugar, este ensayo involucró a un pequeño número de participantes, mientras que un mayor tamaño de la muestra habría ayudado a cuantificar con mayor precisión los cambios inducidos. Por último, se utilizó la escala de Borg para evaluar la intensidad del ejercicio. Aunque la FC es más precisa, solo se utilizó durante la fase de familiarización ya que la escala de Borg es una herramienta más útil y práctica para guiar la intensidad del ejercicio en la práctica diaria.

CONCLUSIONES

Los principales resultados obtenidos en la presente investigación indican que tanto el HIICT como el MICT influyeron de manera similar en las variables analizadas de fuerza, aptitud cardiorrespiratoria y equilibrio de la marcha/dinámica, excepto en el caso de (1) la fuerza de las extremidades superiores, donde el HIICT generó mejores adaptaciones que el MICT, y (2) el IMC, donde la HIICT generó mejores adaptaciones que el CG. Estos resultados contribuyen a mejorar la autonomía en el desarrollo de las actividades de la vida diaria, así como a prevenir el riesgo de sarcopenia, fragilidad y enfermedades cardiovasculares en las mujeres mayores.

REFERENCIAS

- Adamson, S. B., Lorimer, R., Cobley, J. N., y Babraj, J. A. (2014). Extremely Short-Duration High-Intensity Training Substantially Improves the Physical Function and Self-Reported Health Status of Elderly Adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, 62(7), 1380–1381. <https://doi.org/10.1111/jgs.12916>
- Adamson, S., Lorimer, R., Cobley, J. N., Lloyd, R., y Babraj, J. (2014). High intensity training improves health and physical function in middle aged adults. *Biology*, 3, 333-344. <https://doi.org/10.3390/biology3020333>
- Álvarez, C., Ramírez-Campillo, R., Martínez-Salazar, C., Mancilla, R., Flores-Opazo, M., Cano-Montoya, J., y Ciolac, E. G. Low-Volume High-Intensity Interval Training as a Therapy for Type 2 Diabetes. *International Journal of Sports Medicine*, 37(9), 723–729. <https://doi.org/10.1055/s-0042-104935>
- Aragão-Santos, J. C., de Resende-Neto, A. G., Nogueira, A. C., Feitosa-Neta, M. L., Brandão, L. H., Chaves, L. M., y da Silva-Grogoletto, M. E. (2019). The effects of functional and traditional strength training on different strength parameters of elderly women: A

- randomized and controlled trial. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 59(3), 380–386. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.18.08227-0>
- Araujo, B. T. S., Leite, J. C., Fuzari, H. K. B., de Souza, R., Remígio, M. I., de Andrade, A. D., Campos, S. L., y Brandão, D. C. (2019). Influence of High-Intensity Interval Training Versus Continuous Training on Functional Capacity in Individuals with Heart Failure: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, 39(5), 293–298, <https://doi.org/10.1097/HRC.0000000000000424>
- Ballesta-García, I., Rubio-Arias, J. Á., Ramos-Campo, D. J., González-Moro, I., y Carrasco-Poyatos, M. (2019). High-intensity Interval Training Dosage for Heart Failure and Coronary Artery Disease Cardiac Rehabilitation. A Systematic Review and Meta-analysis. *Revista Española de Cardiología (English Edition)*, 72(3), 233–243. <https://doi.org/10.1016/j.rec.2018.02.015>
- Benítez-Porres, J., Blanco, J. M., Vázquez, R. F., y Alvero-Cruz, J. R. (2005). *Sarcopenia y ejercicio físico. En Longevidad y Salud. Innovación en la Actividad Física*. Área de Cultura y Deportes de la Diputación de Málaga.
- Bergman, H., Ferrucci, L., Guralnik, J., Hogan, D. B., Hummel, S., Karunanathan, S., y Wolfson, C. (2007). Frailty: An emerging research and clinical paradigm—issues and controversies. *The Journals of Gerontology*, 62(7), 731–737. <https://doi.org/10.1093/gerona/62.7.731>
- Bhaskaran, K., dos-Santos-Silva, I., Leon, D. A., y Douglas, I. A. (2018). Association of BMI with overall and cause-specific mortality: A population-based cohort study of 3.6 million adults in the UK. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, 6(12), 944–953. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(18\)30288-2](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(18)30288-2)

- Blain, H., Jaussent, A., Picot, M.-C., Maimoun, L., Coste, O., Masud, T., Bousquet, J., y Bernard, P. L. (2017). Effect of a 6-Month Brisk Walking Program on Walking Endurance in Sedentary and Physically Deconditioned Women Aged 60 or Older: A Randomized Trial. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 21(10), 1183–1189. <https://doi.org/10.1007/s12603-017-0955-7>
- Blain, H., Masud, T., Dargent-Molina, P., Martin, F. C., Rosendahl, E., van der Velde, N., Bousquet, J., Benetos, A., Cooper, C., Kanis, J. A., Reginster, J. Y., Rizzoli, R., Cortet, B., Barbagallo, M., Dreinhöfer, K. E., Vellas, B., Maggi, S., Strandberg, T., EUGMS Falls and Fracture Interest Group...International Osteoporosis Foundation (IOF). (2016). A comprehensive fracture prevention strategy in older adults: The European Union Geriatric Medicine Society (EUGMS) statement. *Aging Clinical and Experimental Research*, 28(4), 797–803. <https://doi.org/10.1007/s40520-016-0588-4>
- Boukabous, I., Marcotte-Chénard, A., Amamou, T., Boulay, P., Brochu, M., Tessier, D., Dionne, I., y Riesco, E. (2019). Low-Volume High-Intensity Interval Training (HIIT) versus Moderate-Intensity Continuous Training on Body Composition, Cardiometabolic Profile and Physical Capacity in Older Women. *Journal of Aging and Physical Activity*, 27(6), 1–34. <https://doi.org/10.1123/japa.2018-0309>
- Bruseghini, P., Calabria, E., Tam, E., Milanese, C., Oliboni, E., Pezzato, A., Pogliaghi, S., Salvagno, G. L., Schena, F., Mucelli, R. P., y Capelli, C. (2015). Effects of eight weeks of aerobic interval training and of isoinertial resistance training on risk factors of cardiometabolic diseases and exercise capacity in healthy elderly subjects. *Oncotarget*, 6(19), 16998–17015. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.4031>
- Carrasco-Poyatos, M., Rubio-Arias, J. Á., Ballesta-García, I., y Ramos-Campo, D. J. (2019). Pilates vs. muscular training in older women. Effects in functional factors and the

- cognitive interaction: A randomized controlled trial. *Physiology & Behavior*, 201, 157–164. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.12.008>
- Cesari, M., Vellas, B., Hsu, F.-C., Newman, A. B., Doss, H., King, A. C., Manini, T. M., Church, T., Gill, T. M., Miller, M. E., Pahor, M., y LIFE-P Study. (2015). A physical activity intervention to treat the frailty syndrome in older persons-results from the LIFE-P study. *The Journals of Gerontology*, 70(2), 216–222. <https://doi.org/10.1093/gerona/glu099>
- Charlton, K., Batterham, M., Langford, K., Lateo, J., Brock, E., Walton, K., Lyons-Wall, P., Eisenhauer, K., Green, N., y McLean, C. (2015). Lean Body Mass Associated with Upper Body Strength in Healthy Older Adults While Higher Body Fat Limits Lower Extremity Performance and Endurance. *Nutrients*, 7(9), 7126–7142. <https://doi.org/10.3390/nu7095327>
- Chicharro, J. L. y Campos, D. V. (2018). *HIIT: entrenamiento interválico de alta intensidad. Bases fisiológicas y aplicaciones prácticas*. Exercise Physiology & Training.
- Chin, A., Paw, M. J., van Poppel, M. N., Twisk, J. W., y van Mechelen, W. (2004). Effects of resistance and all-round, functional training on quality of life, vitality and depression of older adults living in long-term care facilities: A 'randomized' controlled trial. *BMC Geriatrics*, 4(5), 1–9. <https://doi.org/10.1186/1471-2318-4-5>
- Clegg, A., Young, J., Iliffe, S., Rikkert, M. O., y Rockwood, K. (2013). Frailty in elderly people. *The Lancet*, 381(9868), 752–762. <https://doi.org/10.1016/S0140-673662167-9>
- Correa, C. S., LaRoche, D. P., Cadore, E. L., Reischak-Oliveira, A., Bottaro, M., Krueel, L. F. M., Tartaruga, M. P., Radaelli, R., Wilhelm, E. N., Lacerda, F. C., Gaya, A. R., y Pinto, R. S. (2012). 3 Different Types of Strength Training in Older Women. *International Journal of Sports Medicine*, 33(12), 962–969. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1312648>

- Cruz-Jentoft, A. J., Bahat, G., Bauer, J., Boirie, Y., Bruyère, O., Cederholm, T., Cooper, C., Landi, F., Rolland, Y., Sayer, A. A., Schneider, S. M., Sieber, C. C., Topinkova, E., Vandewoude, M., Visser, M., Zamboni, M, y Writing Group for the European Working Group on Sarcopenia in Older People 2 (EWGSOP2), and the Extender Group for EWGSOP2. (2019). Sarcopenia: Revised European consensus on definition and diagnosis. *Age and Ageing*, 48(1), 16–31. <https://doi.org/10.1093/ageing/afy169>
- Coetsee C., y Terblanche E. (2017). The effect of three different exercise training modalities on cognitive and physical function in a healthy older population. *European Review of Aging and Physical Activity*, 14, 13. <https://doi.org/10.1186/s11556-017-0183-5>
- de Carvalho, E. D., Valadares, A. L. R., da Costa-Paiva, L. H., Pedro, A. O., Morais, S. S., y Pinto-Neto, A. M. (2010). Physical activity and quality of life in women aged 60 or older: Associated factors. *Revista Brasileira de Ginecologia e Obstetrícia*, 32(9), 433–440. <https://doi.org/10.1590/S0100-72032010000900004>
- de Lorenzo, A., Van Bavel, D., de Moraes, R., y Tibiriça E. V. (2018). High-intensity interval training or continuous training, combined or not with fasting, in obese or overweight women with cardiometabolic risk factors: study protocol for a randomised clinical trial. *BMJ Open*, 8(4), e019304. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-019304>
- de Nardi, A. T., Tolves, T., Lenzi, T. L., Signori, L. U., y Silva, A. M. V. D. (2018). High-intensity interval training versus continuous training on physiological and metabolic variables in prediabetes and type 2 diabetes: A meta-analysis. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 137, 149–159. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2017.12.017>
- Denison, H. J., Syddall, H. E., Dodds, R., Martin, H. J., Finucane, F. M., Griffin, S. J., Wareham, N. J., Cooper, C., y Sayer, A. A. (2013). Effects of Aerobic Exercise on Muscle Strength and Physical Performance in Community-dwelling Older People from the Hertfordshire

- Cohort Study: A Randomized Controlled Trial. *Journal of the American Geriatrics Society*, 61(6), 1034–1036. <https://doi.org/10.1111/jgs.12286>
- Fleg, J. L. (2012). Aerobic exercise in the elderly: A key to successful aging. *Discovery Medicine*, 13(70), 223–228.
- Fraga, M. J., Cader, S. A., Ferreira, M. A., Giani, T. S., y Dantas, E. H. M. (2010). Aerobic resistance, functional autonomy and quality of life (QoL) of elderly women impacted by a recreation and walking program. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 52(1), e40–43. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2010.04.021>
- García-Pinillos, F., Laredo-Aguilera, J. A., Muñoz-Jiménez, M., y Latorre-Román, P. A. (2019). Effects of 12-Week Concurrent High-Intensity Interval Strength and Endurance Training Program on Physical Performance in Healthy Older People. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(5), 1445–1452. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001895>
- Giné-Garriga, M., Guerra, M., y Unnithan, V. B. (2013). The effect of functional circuit training on self-reported fear of falling and health status in a group of physically frail older individuals: A randomized controlled trial. *Aging Clinical and Experimental Research*, 25(3), 329–336. <https://doi.org/10.1007/s40520-013-0048-3>
- Goodpaster, B. H., Park, S. W., Harris, T. B., Kritchevsky, S. B., Nevitt, M., Schwartz, A. V., Simonsick, E. M., Tylavsky, F.A., Visser, M., y Newman, A. B. (2006). The loss of skeletal muscle strength, mass, and quality in older adults: The health, aging and body composition study. *The Journals of Gerontology*, 61(10), 1059–1064. <https://doi.org/10.1093/gerona/61.10.1059>

- Granacher, U., Muehlbauer, T., y Gruber, M. (2012). A qualitative review of balance and strength performance in healthy older adults: Impact for testing and training. *Journal of Aging Research*, 708905. <https://doi.org/10.1155/2012/708905>
- Guadalupe-Grau, A., Carnicero, J. A., Losa-Reyna, J., Tresguerres, J., Gómez-Cabrera, M. D. C., Castillo, C., Alfaro-Acha, A., Rosado-Artalejo, C., Rodríguez-Mañas, L., y García-García, F. J. (2017). Endocrinology of Aging from a Muscle Function Point of View: Results from the Toledo Study for Healthy Aging. *The Journal of Post-Acute and Long-Term Care Medicine*, 18(3), 234–239. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2016.09.005>
- Hannan, A. L., Hing, W., Simas, V., Climstein, M., Coombes, J. S., Jayasinghe, R., Byrnes, J., y Furness, J. (2018). High-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training within cardiac rehabilitation: A systematic review and meta-analysis. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 9, 1–17. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S150596>
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., y Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(1), 3–13. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Jiménez-García, J. D., Martínez-Amat, A., De la Torre-Cruz, M. J., Fábrega-Cuadros, R., Cruz-Díaz, D., Aibar-Almazán, A., Achalandabaso-Ocho, A., y Hita-Contreras, F. (2019). Suspension Training HIIT Improves Gait Speed, Strength and Quality of Life in Older Adults. *International Journal of Sports Medicine*, 40(2), 116–124. <https://doi.org/10.1055/a-0787-1548>
- Kaikkonen, H., Yrjämä, M., Siljander, E., Byman, P., y Laukkanen, R. (2000). The effect of heart rate controlled low resistance circuit weight training and endurance training on maximal

- aerobic power in sedentary adults. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 10(4), 211–215. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2000.010004211.x>
- Katz, S., Ford, A. B., Moskowitz, R. W., Jackson, B. A., y Jaffe, M. W. (1963). Studies of Illness in the Aged. The Index of ADL: A Standardized Measure of Biological and Psychosocial Function. *JAMA*, 185, 914–919. <https://doi.org/10.1001/jama.1963.0306120024016>
- Khalil, N., Faulkner, K. A., Greenspan, S. L., y Cauley, J. A. (2014). Osteoporotic Fractures in Men Research Group. Associations between bone mineral density, grip strength, and lead body burden in older men. *Journal of the American Geriatrics Society*, 62(1), 141–146. <https://doi.org/10.1111/jgs.12603>
- Kim, J., y Shin, W. (2014). How to Do Random Allocation (Randomization). *Clinics in Orthopedic Surgery*, 6(1), 103–109. <https://doi.org/10.4055/cios.2014.6.1.103>
- Laredo-Aguilera, J. A., Carmona-Torres, J. M., García-Pinillos, F., y Latorre-Román, P. Á. (2018). Effects of a 10-week functional training programme on pain, mood state, depression, and sleep in healthy older adults. *Psychogeriatrics*, 18(4), 292–298. <https://doi.org/10.1111/psyg.12323>
- Lawton, M. P., y Brody, E. M. (1969). Assessment of Older People: Self-Maintaining and Instrumental Activities of Daily Living. *The Gerontologist*, 9(3), 179–186. https://doi.org/10.1093/geront/9.3_Part_1.179
- Liou, K., Ho, S., Fildes, J., y 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. <https://doi.org/10.1016/j.hlc.2015.06.828>
- Maillard, F., Rousset, S., Pereira, B., Traore, A., de Pradel, D. A. P., Boirie, Y., Duclos, M., y Boisseau, N. (2016). High-intensity interval training reduces abdominal fat mass in

- postmenopausal women with type 2 diabetes. *Diabetes & Metabolism*, 42(6), 433–44. <https://doi.org/10.1016/j.diabet.2016.07.031>
- Makizako, H., Shimada, H., Doi, T., Tsutsumimoto, K., Lee, S., Hotta, R., Nakakubo, S., Harada, K., Lee, S., Bae, S., Harada, K., y Suzuki, T. (2015). Cognitive Functioning and Walking Speed in Older Adults as Predictors of Limitations in Self-Reported Instrumental Activity of Daily Living: Prospective Findings from the Obu Study of Health Promotion for the Elderly. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(3), 3002–3013. <https://doi.org/10.3390/ijerph120303002>
- Mazo, G. Z., Liposcki, D. B., Ananda, C., y Prevê, D. (2007). Health conditions, incidence of falls and physical activity levels among the elderly. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 11(6), 437–442. <https://doi.org/10.1590/S1413-35552007000600004>
- Moholdt, T. T., Amundsen, B. H., Rustad, L. A., Wahba, A., Løvø, K. T., Gullikstad, L. R., Bye, A., Skogvoll, E., Wisløff, U., y 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. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2009.10.003>
- Muñoz-Martínez, F. A., Rubio-Arias, J. Á., Ramos-Campo, D. J., y Alcaraz, P.E. (2017). Effectiveness of Resistance Circuit-Based Training for Maximum Oxygen Uptake and Upper-Body One-Repetition Maximum Improvements: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 47(12), 2553–2568. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0773-4>
- Nawrocka, A., Polechoński, J., Garbaciak, W., y Mynarski, W. (2019). Functional Fitness and Quality of Life among Women over 60 Years of Age Depending on Their Level of

- Objectively Measured Physical Activity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(6), 972. <https://doi.org/10.3390/ijerph16060972>
- Organización Mundial de la Salud. (13 de septiembre de 2019). *World Report on Ageing and Health*. World Health Organization. <https://population.un.org/wpp/>
- Ramos, J. S., Dalleck, L. C., Borrani, F., Beetham, K. S., Wallen, M. P., Mallard, A. R., Clark, B., Gomersall, S., Keating, S. E., y Coombes, J. S. (2017). Low-Volume High-Intensity Interval Training Is Sufficient to Ameliorate the Severity of Metabolic Syndrome. *Metabolic Syndrome and Related Disorders*, 15(7), 319–328. <https://doi.org/10.1089/met.2017.0042>
- Rikli, R. E., y Jones, C. J. (2013). *Senior Fitness Test Manual*. Human Kinetics.
- Romero-Arenas, S., Blazeovich, A. J., Martínez-Pascual, M., Pérez-Gómez, J., Luque, A. J., López-Román, F. J., y Alcaraz, P. E. (2013). Effects of high-resistance circuit training in an elderly population. *Experimental Gerontology*, 48(3), 334–340. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2013.01.007>
- Romero-Arenas, S., Pérez, J., y Alcaráz, P. E. (2011). Entrenamiento en circuitos. ¿Una herramienta útil para prevenir los efectos del envejecimiento? *Cultura, Ciencia y Deporte*, 6(18), 185–192. <https://doi.org/10.12800/ccd.v6i18.45>
- Rosety, M. A., Pery, M. T., Rodríguez-Pareja, M. A., Diaz, A., Rosety, J., Garcia, N., Brenes-Martin, F., Rosety-Rodríguez, M., Toro, R., Ordoñez, F. J., y Rosety, I. (2015). A Short-Term Circuit Resistance Programme Reduced Epicardial Fat in Obese Aged Women. *Nutrición Hospitalaria*, 32(5), 2193–2197. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.5.9696>
- Sayers, S. P., Gibson, K., y Mann, J. B. (2016). Improvement in functional performance with high-speed power training in older adults is optimized in those with the highest training

- velocity. *European Journal of Applied Physiology*, 116, 2327–2336. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3484-x>
- Shigematsu, R., Chang, M., Uabushita, N., Sakai, T., Nakagaichi, M., Nho, H., y Tanaka, K. (2002). Dance-based aerobic exercise may improve indices of falling risk in older women. *Age and Ageing*, 31(4), 261–266. <https://doi.org/10.1093/ageing/31.4.261>
- Sousa, N., Mendes, R., Silva, A, y Oliveira, J. (2017). Combined exercise is more effective than aerobic exercise in the improvement of fall risk factors: A randomized controlled trial in community-dwelling older men. *Clinical Rehabilitation*, 31(4), 478–486. <https://doi.org/10.1177/0269215516655857>
- Villelabeitia-Jaureguizar, K., Vicente-Campos, D.; Ruíz, L., Hernández, C., Arriaza, M., Calero, M., y Fernández, I. (2016). Effect of High-Intensity Interval Versus Continuous Exercise Training on Functional Capacity and Quality of Life in Patients with Coronary Artery Disease: A Randomized Clinical Trial. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, 36(2), 96–105. <https://doi.org/10.1097/HCR.000000000000156>
- Venturelli, M., Cè, E., Limonta, E., Schena, F., Caimi, B., Carugo, S., Veicteinas, A., y Esposito, F. (2015). Effects of endurance, circuit, and relaxing training on cardiovascular risk factors in hypertensive elderly patients. *Age*, 37(101), <https://doi.org/10.1007/s11357-015-9835-4>
- Whitehurst, M. A., Johnson, B. L., Parker, C. M., Brown, L. E. y Ford, A. M. (2005). The benefits of a functional exercise circuit for older adults. *Journal of strength & conditioning research*, 19(3), 647-51. <https://doi.org/10.1519/R-14964.1>
- Wisløff, U., Støylen, A., Loennechen, J.P., Bruvold, M., Rognum, Ø., Haram, P. M., Tjønnå, A. E., Helgerud, J., Slørdahl, S. A., Lee, S. J., Videm, V., Bye, A., Smith, G. L., Najjar, S. M., Elligensen, Ø., y Skjaerpe, T. (2007). Superior cardiovascular effect of aerobic

interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. *Circulation*, 115(24), 3086–3094.
<https://doi.org/10.1161/circulationaha.106.675041>

Publicación 3:

“High-intensity Interval Circuit Training Versus Moderate-Intensity Continuous Training on Cardiorespiratory Fitness in Middle-Aged and Older Women: A Randomized Controlled Trial”.

RESUMEN

El entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) tiene efectos similares o mejores que el entrenamiento continuo de moderada intensidad (MIT) en el aumento del consumo máximo de oxígeno ($VO_{2máx}$), sin embargo, no se han estudiado los efectos estos cuando son aplicados en circuito (HIICT y MICT). El objetivo de este estudio fue comparar los efectos de un HIICT comparados con los de un MICT en el VO_{2max} estimado (VO_{2max} -ES), la frecuencia cardíaca (FC) y la presión arterial (PA) de mujeres sanas de mediana edad y mayores. Se utilizó un ensayo controlado aleatorio cuasi-experimental. Cincuenta y cuatro mujeres (67.8 ± 6.2 años) fueron asignadas al azar a un grupo HIICT ($n = 18$), a un grupo MICT ($n = 18$) o a un grupo control sin ejercicio (GC; $n = 18$) durante 18 semanas. Las participantes de los grupos HIICT y MICT entrenaron con una frecuencia de dos días a la semana (una hora por sesión). Cuarenta y una participantes fueron evaluadas (HIICT; $n = 17$, MICT; $n = 12$, CG; $n = 12$). Se notificaron cinco eventos adversos. Se midió la capacidad cardiorrespiratoria, la FC y la PA. Los test se realizaron antes y después de los programas de intervención de ejercicio. El $VO_{2máx}$ -ES mostró una interacción *training x group* significativa, siendo HIICT y MICT estadísticamente superiores al GC. Además, los grupos HIICT y MICT mostraron una interacción *training x group* estadísticamente mejores que el GC en la presión arterial diastólica después del ejercicio (PAD_{ex}). Para la presión sanguínea sistólica después del ejercicio (PAS_{ex}), el HIICT fue estadísticamente mejor que el GC. En conclusión, tanto el HIICT como el MICT generaron adaptaciones en el $VO_{2máx}$ -ES y en la PAD_{ex} . Además, solo el HIICT generó efectos positivos en la PAS_{ex} . Por lo tanto, ambos métodos de entrenamiento deben ser considerados para implementarlos en programas de ejercicios que involucren a mujeres sanas mayores y de mediana.

Palabras clave: entrenamiento interválico de alta intensidad; entrenamiento en circuito; consumo máximo de oxígeno; personas mayores; personas de mediana edad; mujeres.

INTRODUCCIÓN

La población de más de 65 años ha aumentado rápidamente en los últimos años (Blain et al., 2016). El envejecimiento va acompañado de un desarrollo de enfermedades crónicas, lo que hace necesario prestar mayor atención a la población anciana (Organización Mundial de la Salud, 2019). El consumo máximo de oxígeno ($VO_{2máx}$) es reconocido como uno de los indicadores más importantes en el pronóstico de buena salud en las personas mayores (Murias et al., 2015) y se utiliza para predecir la supervivencia en pacientes con enfermedades cardiovasculares (Amundsen et al., 2008; Cardozo et al., 2015; Guiraud et al., 2010; Madssen et al., 2014; Wisløff et al., 2007). La disminución del $VO_{2máx}$ es una de las consecuencias más claras del envejecimiento ya que, a partir de los 30 años, disminuye en un 10% cada 10 años en personas con un estilo de vida sedentario (Hawkins y Wiswell, 2003). Además, a partir de los 60 años, esta disminución del $VO_{2máx}$ se asocia a una reducción de la capacidad funcional, componente relacionado con la autonomía para realizar actividades de la vida cotidiana (por ejemplo: caminar o subir escaleras) (Organización Mundial de la Salud, 2019). Debido a los cambios hormonales (por ejemplo, la menopausia), es más difícil controlar esta disminución del $VO_{2máx}$ en las mujeres de mediana edad y mayores (Hawkins y Wiswell, 2003).

Hoy en día, se sabe que el ejercicio aeróbico es esencial para mantener la salud y la capacidad funcional de esta población (Cesari et al., 2015; Clegg et al., 2013; Goodpaster et al., 2006). De hecho, muchos estudios indican que mantener una buena condición física cardiorrespiratoria debería ser uno de los objetivos principales de los programas de ejercicio de las mujeres (Bunout et al., 2018; Laddu et al., 2017; Masley et al., 2017). En consecuencia, los gobiernos y los sistemas de salud están aumentando el número de programas de ejercicio físico dirigidos a esta población. Una de las principales características de estos programas es que el entrenamiento se realiza en un circuito. El entrenamiento en circuito consiste en

ejercicios que involucran a todos los grupos musculares y tiene como objetivo mejorar simultáneamente la fuerza y la aptitud cardiorrespiratoria (Muñoz-Martínez et al., 2017; Ramos-Campo et al., 2018).

Las investigaciones han indicado que el entrenamiento en circuito de intensidad moderada (MICT) mejora el consumo de oxígeno pico (VO_{2pico}) (Vilhelbeitia-Jaureguizar et al., 2017), la presión arterial (PA) (Molisz et al., 2019) y la frecuencia cardíaca (FC) (Huang et al., 2014) en personas de mediana edad y mayores. Sin embargo, el entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) ha surgido como un método de entrenamiento alternativo, especialmente en los programas de rehabilitación cardíaca (Ballesta-García et al., 2019). El HIIT incluye intervalos de ejercicio aeróbico de alta intensidad (85-100% del $VO_{2máx}$) intercalados con períodos de descanso relativo (0-40% del $VO_{2máx}$) (López Chicharro et al., 2018). De hecho, muchas investigaciones han mostrado una fuerte evidencia de que el HIIT es un método efectivo para mejorar el VO_{2pico} (Ballesta-García et al., 2019; Hwang et al., 2016), la PA (Costa et al., 2018; Olea et al., 2017) y la recuperación de la FC después del ejercicio (Grace et al., 2018; Vilhelbeitia-Jaureguizar et al., 2017) en personas con enfermedades cardiovasculares. De hecho, la literatura muestra una tendencia más favorable para el HIIT que para el MIT en la mejora de los índices y marcadores de salud (López Chicharro et al., 2018).

No obstante, aunque la literatura apoya los beneficios del HIIT en mujeres sanas de mediana edad y mayores, el entrenamiento en circuito basado en la metodología HIIT (HIICT) nunca se ha aplicado en esta población. El HIICT puede ser un método de entrenamiento alternativo para mejorar la aptitud cardiorrespiratoria y el rendimiento en la realización de actividades de la vida cotidiana debido a que integra movimientos multiplanares (sentadillas,

empujes, etc.) realizados a máxima velocidad, lo que lo hace muy funcional y transferible en personas mayores (Aragão-Santos et al., 2019; Laredo-Aguilera et al., 2018).

Por lo tanto, nuestro principal objetivo fue comparar los efectos del HIICT comparados con los del MICT en el consumo máximo de oxígeno ($VO_{2máx}$), la FC y la PA de las mujeres de mediana edad y mayores. Basándonos en investigaciones anteriores, nuestra hipótesis fue que tanto el HIICT como el MICT mejorarían significativamente el $VO_{2máx}$, así como los parámetros de FC y PA en esta población, siendo mayores las adaptaciones en el grupo HIICT.

MATERIAL Y MÉTODO

Diseño

Este ensayo clínico cuasiexperimental controlado y aleatorizado de 18 semanas fue registrado prospectivamente en ClinicalTrials.gov (NCT03840330). Las participantes que participaron fueron así asignadas aleatoriamente a un grupo HIICT ($n = 18$), un grupo MICT ($n = 18$) o a un grupo control (GC; $n = 18$). El diseño del estudio siguió las directrices de CONSORT y fue aprobado por el Comité de Bioética de la Universidad de Almería (UALBIO2019/006).

Participantes

Noventa mujeres sanas de mediana edad y mayores (67.8 ± 6.2 años) fueron invitadas a participar en el estudio. El reclutamiento tuvo lugar entre septiembre y diciembre de 2017 en centros de día y de mayores de Murcia (España). Antes del comienzo del estudio, las participantes invitadas firmaron un consentimiento informado y pasaron una evaluación médica general para asegurar que eran física y mentalmente capaces de seguir los entrenamientos. Como criterios de inclusión, las participantes debían ser mujeres de entre 55 y 85 años de edad, tener plena autonomía en sus actividades diarias de acuerdo con las escalas de Lawton

y Brody (Lawton y Brody, 1969) y Katz (Katz et al., 1963), no haber dado ninguna respuesta positiva en el Cuestionario de Preparación para la Actividad Física (PAR-Q) o una respuesta positiva al ítem 6. Por lo tanto, se incluyó a mujeres con hipertensión controlada pero no a mujeres con enfermedades cardíacas, respiratorias o articulares. También se excluyeron las mujeres que participaban o habían participado previamente en un programa de entrenamiento con ejercicios similares durante los últimos tres meses, así como las mujeres con hipertensión no controlada. Las participantes debían completar, al menos, el 80% de las sesiones de entrenamiento.

Intervención

Las mujeres de los grupos de intervención (HIICT y MICT) entrenaron con una frecuencia de dos veces por semana durante 18 semanas, con una duración de una hora por sesión. La intervención se llevó a cabo de enero a mayo de 2018. Se animó a las participantes asignadas al grupo de intervención a mantener sus hábitos habituales de actividad física. Un graduado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte dirigió todas las sesiones de entrenamiento.

Después de un período de familiarización de dos semanas, los programas de entrenamiento se dividieron en cuatro mesociclos de cuatro semanas, diseñados siguiendo los principios del entrenamiento. Cada sesión se dividió en (1) un período de calentamiento, (2) la parte principal de los entrenamientos HIICT o MICT y (3) un período de vuelta a la calma. Se utilizó a escala de esfuerzo percibido de Borg, de 6 a 20 puntos, para controlar la intensidad del entrenamiento (Cesari et al., 2015). Los ejercicios del grupo HIICT se realizaron a altas velocidades con el objetivo de alcanzar puntuaciones de 12 a 18 puntos de esfuerzo percibido (RPE) mientras que los ejercicios del grupo MICT se realizaron a velocidades moderadas,

siendo el objetivo a alcanzar unas puntuaciones de 6 a 14 puntos de RPE. Un ejemplo de las sesiones de entrenamiento y de la progresión de la intensidad implementada puede verse en Ballesta-García et al. (2019).

Variables

La estimación del $VO_{2\text{máx}}$ ($VO_{2\text{máx}}$ -ES) fue el resultado primario de este estudio, mientras que la presión arterial, la FC y la velocidad máxima alcanzada durante la prueba de esfuerzo fueron los resultados secundarios. Los tests se realizaron en antes y después de los programas de intervención. Los pre-test se realizaron en enero de 2018, una semana previa a la intervención, mientras que los pos-test una semana posterior a finalizar la intervención, en mayo de 2018.

La prueba de esfuerzo se realizó en una cinta de correr (RUN 7411 Elite-PC, Runner, Cavezzo, Italia). Se utilizó el protocolo de Bruce modificado (Fielding et al., 1997), una prueba triangular en la que se aumentó gradualmente la carga cada tres minutos. Se animó a las participantes a realizar la prueba al máximo de sus posibilidades. Su esfuerzo máximo se verificó cuando su FC alcanzada superó el 85% de su máximo teórico ($220 - \text{edad}$). La prueba se mantuvo hasta que las participantes se agotaron, lo que generalmente se debió a la fatiga muscular y/o respiratoria. La recuperación se realizó al 40% de la velocidad máxima de ejercicio y con un gradiente de 0° . El $VO_{2\text{máx}}$ -ES se calculó a partir de la fórmula descrita en las directrices del ACSM (Kenney et al., 1995). Se registró la velocidad máxima alcanzada.

Los parámetros de la FC fueron monitorizados con un electrocardiógrafo de 12 derivaciones (Cardioline RealClick PC-based ECG, Trento, Italia). La FC fue tomado: 1) cada minuto durante la prueba de esfuerzo y 2) un minuto después de terminar la prueba de esfuerzo (FC_{rec}).

La PA se comprobó con un esfigmomanómetro (NCD Medical, Prestige medical 80, Dublín, Irlanda) y un estetoscopio en dos momentos diferentes: 1) justo después de finalizar la prueba de esfuerzo (PA_{ex}) y 2) un minuto después de finalizar la prueba de esfuerzo (PA_{rec}).

Tamaño de la muestra y potencia

Se utilizó el software Rstudio 3.15.0 para calcular el tamaño de la muestra. El nivel de significación fue aceptado en $p \leq 0.05$. De acuerdo con la desviación típica media establecida para calcular el $VO_{2m\acute{a}x}$ en estudios anteriores (Dünnwald et al., 2019; Nugent et al., 2018) ($DT = 5.4$ ml/kg/min) y un error (d) estimado de 1.45 ml/kg/min, un tamaño de muestra válido para un intervalo de confianza (IC) del 95% fue de 53 ($n = IC^2 d^2/DE^2$). Cuarenta y una mujeres completaron el estudio. El tamaño de muestra final obtenido para cada grupo (HIICT = 17; MICT = 12; GC = 12) proporcionará potencias del 81%, 65% y 65%, respectivamente, si se encuentra entre y dentro de una varianza de 1.

Aleatorización y cegado

Todos los participantes fueron asignados al azar a los grupos con un método de aleatorización por bloques, en tamaños de muestra iguales (HIICT, MICT y CG, $n = 18$). El tamaño del bloque se determinó en base a la potencia estadística proporcionada. Siguiendo a Kim y Shin (2014), se utilizó Excel 2016 (Microsoft, Redmond, WA, USA) para crear una secuencia de aleatorización. La aleatorización se realizó en una asignación 1: 1 a través de una tabla de números aleatorios. Debido a la dificultad de cegar a los participantes y entrenadores, solo el personal de investigación que realiza la evaluación y el análisis estadístico fue cegado en la asignación de los grupos.

Análisis estadístico

Para el análisis de los datos se utilizaron los software Jamovi (Jamovi Project 2018, versión 1.2.5) y Rstudio 3.15.0. La normalidad de la distribución se probó con la prueba de Kolmogorov-Smirnov. La prueba de Levene se realizó para determinar la homogeneidad de la varianza. El análisis estadístico se realizó según el principio de intención de tratar (ITT) (última observación realizada). Los datos descriptivos se reportan como media \pm DT y rango. Para comparar las variables antes de la intervención, se calculó el análisis de varianza (ANOVA) para las medidas repetidas (el modelo lineal general). Para comparar las variables después de la intervención se utilizó el análisis de covarianza (ANCOVA). Los valores basales se incluyeron como co-variables para ajustar las posibles diferencias de referencia en las variables dependientes. La edad también se incluyó como una co-variable debido al amplio rango considerado en el presente estudio (55-85 años). Se calculó el tamaño del efecto de Cohen (ES) y los intervalos de confianza (IC) del 95% para determinar una diferencia de ES (Hopkins et al., 2009). La significación estadística fue aceptada en $p \leq 0.05$.

RESULTADOS

El diagrama de flujo se muestra en la Figura 1. Treinta y seis mujeres no fueron incluidas en el estudio. Un total de cincuenta y cuatro participaron y se distribuyeron aleatoriamente en HIICT, MICT y CG. Finalmente, cuarenta y una mujeres (HIICT, $n = 17$; MICT, $n = 12$; GC, $n = 12$) completaron el estudio. El estudio concluyó en mayo de 2018. En la Tabla 1 se muestran las características basales de las participantes.

Resultados inter-grupos

La Tabla 2 muestra los resultados inter-grupo de las variables primarias y secundarias. El análisis principal de estos resultados indicó que hubo una interacción *training x group*

significativa en el $VO_{2\text{máx}}$ -ES ($p = 0.002$, $F = 7.36$, $ES = 0.224$), en la PAS_{ex} ($p = 0.038$, $F = 3.48$, $ES = 0.120$), en la PAD_{ex} ($p < 0.001$, $F = 17.4$, $ES = 0.405$) y en la velocidad máxima alcanzada durante la prueba de esfuerzo ($p = 0.001$).

- Para el $VO_{2\text{máx}}$ -ES, tanto el HIICT (dif = 3.4 ml/kg/min, $t = 3.73$) como el MICT (dif = 1.9 ml/kg/min, $t = 2.65$) fueron estadísticamente superiores al GC.
- Para la PAS_{ex} , el HIICT fue estadísticamente mejor que el GC (dif = 6.39 mmHg, $t = 0.122$).
- Para la PAD_{ex} , tanto el HIICT (dif = 5.00 mmHg, $t = 3.933$) como el MICT (dif = 7.50 mmHg, $t = 3.989$) fueron estadísticamente superiores al GC.
- Finalmente, para la velocidad máxima alcanzada durante la prueba de esfuerzo, tanto el HIICT (dif = 0.2 metros/segundo, $t = 1.96$) como el MICT (dif = 0.57 metros/segundo, $t = 2.96$) fueron estadísticamente superiores al GC.

Resultados intra-grupos

El análisis intra-grupo (Tabla 3) mostró una mejora significativa en el $VO_{2\text{máx}}$ -ES y la velocidad máxima alcanzada durante la prueba de esfuerzo tanto para el HIICT ($p < 0.001$ y $p = 0.001$, respectivamente) como para el MICT ($p < 0.010$ y $p < 0.015$, respectivamente). En cuanto a la PAS_{ex} , tanto el MICT como el GC mostraron una disminución significativa ($p = 0.015$ y $p = 0.002$, respectivamente). En cambio, se observó un aumento significativo en la PAS_{ex} para el HIICT y el MICT ($p < 0.003$ y $p = 0.002$, respectivamente), así como una disminución significativa para el GC ($p = 0.002$).

En cuanto a la seguridad, cinco mujeres (cuatro en el GRUPO MICT y una en el GC) presentaron eventos adversos. Ninguno de estos eventos adversos ocurrió durante las sesiones de entrenamiento (una cirugía ocular, cirugía de pie, fractura de clavícula y dos fracturas de cadera).

Figura 1

Diagrama de flujo del seguimiento del estudio.

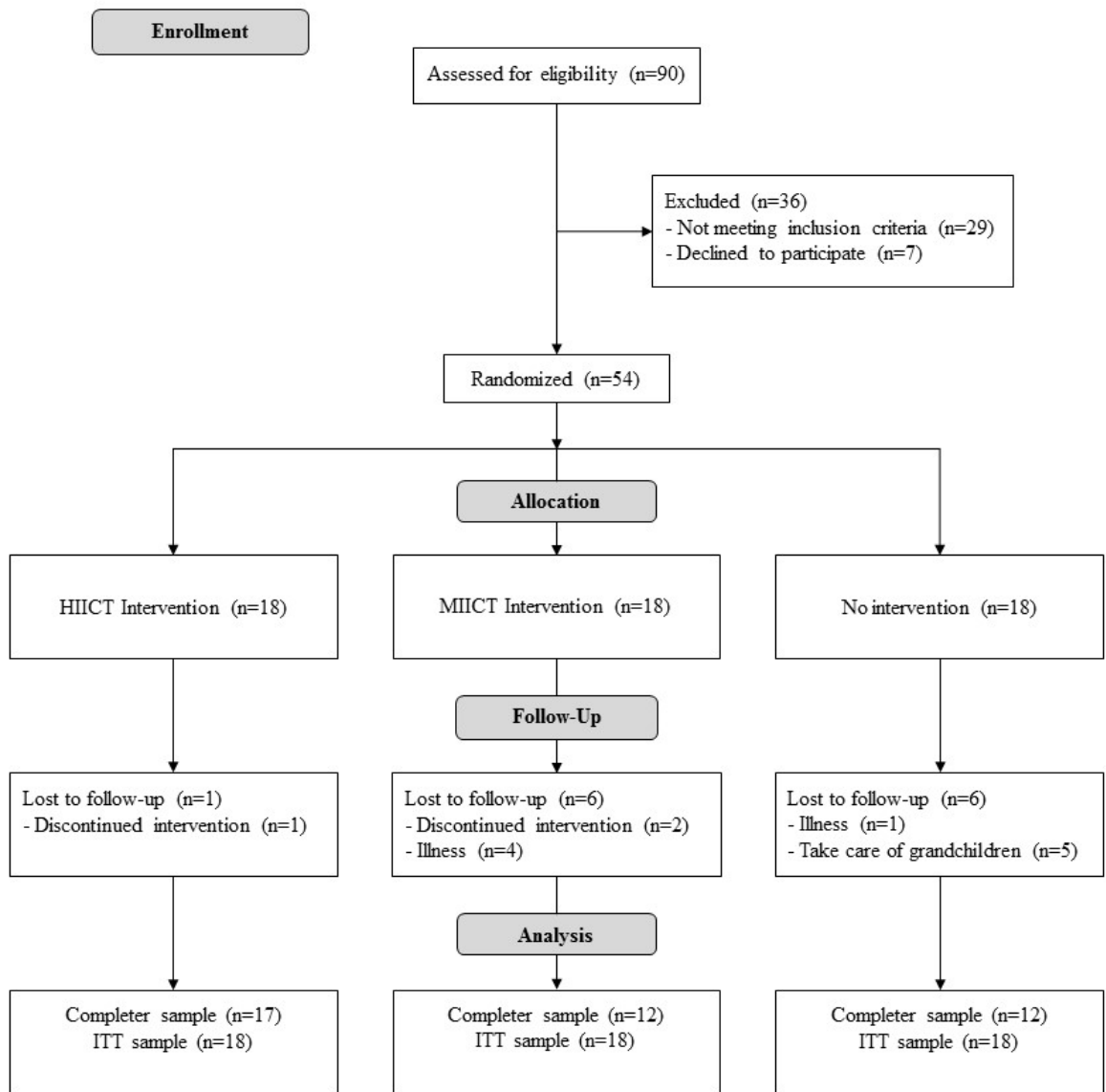


Tabla 1*Características basales (n = 54).*

Grupo	n	Media	DT	Min	Max	p
Edad (años)						
GC	18	67.4	5.71	59	75	0.370
MICT	18	70.0	8.76	55	86	
HIICT	18	66.3	5.44	57	76	
Índice de masa corporal (kg/m ²)						
GC	18	31.2	4.89	20.9	38.4	0.689
MICT	18	30.1	3.08	24.3	35.9	
HIICT	18	30.4	4.13	35.2	37.7	
Consumo máximo de oxígeno Estimado (ml/kg/min)						
GC	18	26.8	5.17	15.5	39.0	0.065
MICT	18	25.0	5.57	15.5	33.1	
HIICT	18	26.1	5.63	18.4	36.1	
Frecuencia cardíaca pico (latidos por minuto)						
GC	18	144.93	15.4	108	170	0.719
MICT	18	150.78	22.6	119	193	
HIICT	18	148.83	17.7	93	173	
Frecuencia cardíaca de recuperación (latidos por minuto)						
GC	18	79.5	8.1	68.2	91.3	< 0.001
MICT	18	85	14.3	60.5	121	
HIICT	18	100	53.0	54.8	296	
Presión arterial sistólica durante el ejercicio (mmHg)						
GC	18	184	23.50	146	210	0.008
MICT	18	185	10.80	170	210	
HIICT	18	179	9.67	160	200	
Presión arterial diastólica durante el ejercicio (mmHg)						
GC	18	76.9	13.2	50	95	0.003
MICT	18	56.9	9.3	40	75	
HIICT	18	58.3	6.9	50	75	
Presión arterial sistólica de recuperación (mmHg)						
GC	18	152	16.2	120	175	0.042
MICT	18	156	13.6	140	190	
HIICT	18	151	11.7	135	180	
Presión arterial diastólica de recuperación (mmHg)						
GC	18	73.3	7.28	65	90	0.001
MICT	18	73.9	7.19	60	85	
HIICT	18	73.9	5.02	65	80	
Velocidad máxima alcanzada durante la prueba de esfuerzo (m/s)						
GC	18	4.94	0.809	3.2	6.7	0.054
MICT	18	4.66	0.899	3.2	5.9	
HIICT	18	4.86	0.910	3.7	6.4	

Notas. GC: grupo control; MICT: entrenamiento en circuito a moderada intensidad; HIICT: entrenamiento en circuito basado en el método HIIT.

Tabla 2

Ajuste ANCOVA para los resultados primarios en HIICT, MICT y GC.

Grupo	Incremento				ANCOVA (F, p, ES η^2)								
	n (ITT)	n (tratada)	Media	DT	Training x Group			n (ITT)			n (tratada)		
					F	p	ES η^2	F	p	ES η^2	F	p	ES η^2
Consumo máximo de oxígeno estimado (ml/kg/min)													
GC	18	12	-0.80	-0.31									
MICT	18	12	1.90	-0.85	7.36	0.002 ^{1,2}	0.224	13.60	< 0.001	0.171	0.11	0.742	0.002
HIICT	18	17	3.40	0.12									
Frecuencia cardíaca pico (latidos por minuto)													
GC	18	12	-4.33	-0.06									
MICT	18	12	-0.72	-4.70	3.26	0.074	0.002	2.56	0.115	0.043	8.18	0.006	0.070
HIICT	18	17	-4.72	2.61									
Frecuencia cardíaca de recuperación (latidos por minuto)													
GC	18	12	0.81	0.00									
MICT	18	12	-0.34	-3.65	1.92	0.156	0.070	37.844	< 0.001	0.426	0.039	0.844	0.001
HIICT	18	17	-19.85	-40.18									
Presión arterial sistólica durante el ejercicio (mmHg)													
GC	18	12	-15.40	-7.75									
MICT	18	12	-6.39	0.24	3.48	0.038 ²	0.120	37.66	< 0.001	0.394	6.24	0.016	0.098
HIICT	18	17	-3.06	-3.52									
Presión arterial diastólica durante el ejercicio (mmHg)													
GC	18	12	-12.78	-5.10									
MICT	18	12	7.50	0.28	17.4	< 0.001 ^{1,2}	0.405	8.37	< 0.001	0.086	1.19	0.281	0.014
HIICT	18	17	5.00	-0.68									
Presión arterial sistólica de recuperación (mmHg)													
GC	18	12	-6.39	-4.70									
MICT	18	12	-5.84	-6.86	0.0587	0.943	0.002	76.01	< 0.001	0.589	13.332	< 0.001	0.207
HIICT	18	17	-6.95	-6.21									
Presión arterial diastólica de recuperación (mmHg)													
GC	18	12	1.39	-2.00									
MICT	18	12	1.11	-2.04	0.0540	0.947	0.002	73.137	< 0.001	0.592	5.3698	0.025	0.097
HIICT	18	17	2.22	-0.30									
Velocidad máxima alcanzada durante la prueba de esfuerzo (m/s)													
GC	18	12	-0.08	-0.01									
MICT	18	12	0.51	-0.14	7.68	0.001 ^{1,2}	0.231	10.28	0.023	0.134	0.317	0.575	0.005
HIICT	18	17	0.20	0.07									
Índice de masa corporal (kg/m ²)													
GC	18	12	0.30	-0.05									
MICT	18	12	-0.10	1.47	6.99	0.002 ^b	0.215	3.02	0.088	0.046	0.217	0.643	0.003
HIICT	18	17	-0.30	0.47									

Notas. ITT: Intención de tratar; DT: desviación típica; GC: grupo control; MICT: entrenamiento en circuito a moderada intensidad; HIICT: Entrenamiento en circuito basado en HIIT.

¹Diferencias significativas en el MICT comparado con el GC.

²Diferencias significativas en el HIICT comparado con el GC.

³Diferencias significativas en el HIICT comparado con el MICT.

Tabla 3

Diferencias intra-grupo para HIICT, MICT y GC.

Grupo	Pre-entrenamiento			Post-entrenamiento			p	IC 95%		Cohen's d
	n	Media	DT	n	Media	DT		Inferior	Superior	
Consumo máximo de oxígeno estimado (ml/kg/min)										
GC	18	26.8	5.17	12	26.00	4.86	0.288	-0.753	2.386	0.14
MICT	18	25.0	5.57	12	26.90	4.72	0.010	-3.378	-0.541	0.32
HIICT	18	26.1	5.63	17	29.50	5.75	< 0.001	-3.968	-0.441	0.58
Frecuencia cardíaca pico (latidos por minuto)										
GC	18	144.94	15.41	12	140.61	15.35	0.066	-0.316	8.983	0.26
MICT	18	150.78	22.64	12	150.06	17.94	0.770	-4.408	5.853	0.03
HIICT	18	148.83	17.76	17	144.11	20.37	0.125	-1.444	10.888	0.25
Frecuencia cardíaca de recuperación (latidos por minuto)										
GC	18	79.54	8.13	12	80.35	8.13	0.669	-4.737	3.117	0.09
MICT	18	85.01	14.32	12	84.67	10.67	0.916	-6.204	6.871	0.02
HIICT	18	100.16	52.98	17	80.31	12.80	0.105	-4.629	44.327	0.36
Presión arterial sistólica durante el ejercicio (mmHg)										
GC	18	184.28	23.52	12	168.88	15.77	0.002	6.335	24.442	0.58
MICT	18	185.00	10.84	12	178.61	11.08	0.015	1.430	11.347	0.55
HIICT	18	178.61	9.67	17	175.55	6.15	0.213	-1.927	8.038	0.30
Presión arterial diastólica durante el ejercicio (mmHg)										
GC	18	76.94	13.18	12	64.16	8.08	0.002	5.186	20.368	0.90
MICT	18	56.94	9.25	12	64.44	9.53	0.002	-11.699	-3.300	0.75
HIICT	18	58.33	6.86	17	63.33	6.18	0.003	-8.075	-1.925	0.69
Presión arterial sistólica de recuperación (mmHg)										
GC	18	151.94	16.19	12	145.55	11.49	0.020	1.145	11.632	0.37
MICT	18	155.56	13.60	12	149.72	6.74	0.019	1.065	10.600	0.40
HIICT	18	151.11	11.70	17	144.16	5.49	0.028	0.845	13.043	0.57
Presión arterial diastólica de recuperación (mmHg)										
GC	18	73.33	7.27	12	74.72	5.27	0.462	-5.279	2.501	0.18
MICT	18	73.89	7.18	12	75.00	5.14	0.570	-2.258	2.703	0.14
HIICT	18	73.89	5.01	17	76.11	4.71	0.215	-5.862	1.418	0.42
Velocidad máxima alcanzada durante la prueba de esfuerzo (m/s)										
GC	18	4.94	0.80	12	4.86	0.79	0.448	-0.143	0.309	0.09
MICT	18	4.47	0.90	12	4.98	0.77	0.015	-0.544	-0.067	0.53
HIICT	18	5.21	0.82	17	5.41	0.89	0.001	-0.685	-0.203	0.23
Índice de masa corporal (kg/m ²)										
GC	18	31.2	4.89	12	31.5	5.05	0.019	-0.52	-0.53	0.06
MICT	18	30.1	3.08	12	30.0	3.15	0.140	-0.02	0.29	0.03
HIICT	18	30.4	4.13	17	30.1	4.24	0.035	0.02	0.60	0.07

Notas. DT: desviación típica; GC: grupo control; MICT: entrenamiento en circuito a moderada intensidad; HIICT: Entrenamiento en circuito basado en HIIT.

¹Diferencias significativas en el MICT comparado con el GC.

²Diferencias significativas en el HIICT comparado con el GC.

³Diferencias significativas en el HIICT comparado con el MICT.

DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio fue investigar qué tipo de entrenamiento (HIICT o MICT) produce mejores adaptaciones en $VO_{2m\acute{a}x}$ -ES, así como en parámetros de la FC y de la PA de mujeres sanas de mediana edad y mayores. Los hallazgos sobre las variables primarias sugieren que tanto el entrenamiento en circuito de intensidad alta como el de intensidad moderada conducen a adaptaciones significativas en el $VO_{2m\acute{a}x}$ -ES. Además, tanto la FC_{ex} como la FC_{rec} permanecieron sin cambios en todos los grupos. Además, la PAS_{ex} y la PAD_{ex} fueron mejores en el HIICT que en el GC. Finalmente, la velocidad máxima alcanzada en la prueba de esfuerzo fue superior en HIICT y MICT que en el GC. Estos resultados destacan que tanto el HIICT como el MICT podrían desempeñar un papel principal en el mantenimiento de la buena salud en las mujeres de mediana edad y mayores, aunque el efecto diferenciador del HIICT radica en la necesidad de aplicar una carga de trabajo total menor, como lo demuestran las pruebas de Ballesta et al. (2019).

Según los resultados del $VO_{2m\acute{a}x}$ -ES, nuestro estudio mostró una mejora significativa en la prueba de esfuerzo después del período de entrenamiento de 18 semanas tanto para el grupo HIICT como para el MICT, con diferencias significativas con el GC. Aunque no hubo diferencias significativas entre HIICT y MICT, se obtuvo un mayor tamaño del efecto en HIICT (ES = 0.58) comparado con MICT (ES = 0.32). Por lo tanto, el HIIT parece mostrar una tendencia superior para mejorar el $VO_{2m\acute{a}x}$ -ES. Nuestros resultados están de acuerdo con varios estudios que muestran que tanto la aplicación de HIICT como de MICT tienen éxito en el aumento de los valores de $VO_{2m\acute{a}x}$ en sujetos con enfermedades cardiovasculares (Amundsen et al., 2006; Costa et al., 2018), así como en personas mayores sanas y personas de mediana edad (Boukabous et al., 2019). Del mismo modo, en consonancia con la mejor tendencia mostrada por HIICT, un metanálisis mostró que HIIT mejoró más el $VO_{2m\acute{a}x}$ que el MICT en adultos con sobrepeso u obesos (Su et al., 2019). A pesar de que

en nuestro estudio se estimó el $VO_{2m\acute{a}x}$, la tendencia de los resultados estuvo en la misma línea. No está claro por qué no hubo una diferencia significativa en el $VO_{2m\acute{a}x}$ -ES entre HIICT y MICT en nuestro estudio. La ausencia de diferencias podría deberse a que el grupo HIICT no logró alcanzar una mayor velocidad de los miembros inferiores durante el entrenamiento debido a la dualidad del movimiento y a la complejidad de las tareas; esto se manifestó en una ganancia de fuerza similar a la reportada por Ballesta-García et al. (2019). Por otro lado, en un metanálisis recientemente publicado, Muñoz-Martínez et al. (2017) citan la efectividad del entrenamiento de circuito sobre el $VO_{2m\acute{a}x}$. En este sentido, López Chicharro y Vicente (2018) y Muñoz-Martínez et al. (2017) indicaron que tanto el HIIT como el entrenamiento en circuito aumentan el $VO_{2m\acute{a}x}$ como consecuencia de las adaptaciones centrales y periféricas, principalmente al aumento del gasto cardíaco. Por lo tanto, la metodología de entrenamiento llevada a cabo en nuestro estudio podría ser la causa de los resultados obtenidos para el $VO_{2m\acute{a}x}$ -ES.

En consecuencia, dado que no hubo cambios significativos en la FC pico, podríamos decir que el aumento del $VO_{2m\acute{a}x}$ -ES podría estar relacionado con cambios en el volumen sistólico. Estos resultados están en línea con los mostrados por diferentes estudios. Por ejemplo, Wisløff et al. (2007) obtuvieron un aumento significativo del gasto cardíaco, del volume sistólico y del VO_2 pico después de un período de 12 semanas de HIIT, sin que se produjeran cambios en la FC pico. Sin embargo, Connolly et al. (2017) demostraron que el HIIT, y no el MICT, era eficaz para aumentar la FC pico logrado durante una prueba de esfuerzo en mujeres premenopáusicas sanas. Un estudio en animales concluye que esta respuesta parece estar vinculada a las adaptaciones celulares, como la tasa del ciclo del Ca^{2+} y la sensibilidad al Ca^{2+} de los cardiomiocitos, producidas por el HIIT (Kemi et al., 2007). La relevancia de nuestros resultados sobre los parámetros de la FC pico proviene del hecho de que diferentes estudios han identificado su reducción como uno de los mecanismos que causa la disminución del $VO_{2m\acute{a}x}$ con el envejecimiento (Kawkins y Wiswell,

2003). De hecho, nuestros resultados mostraron que la edad influyó en el $VO_{2\text{máx}}\text{-ES}$, con menos variación en el grupo que tuvo participantes de mayor edad (grupo MICT). En cuanto a la FC de recuperación, nuestros resultados están en línea con los reflejados en la literatura, ya que ningún grupo de intervención obtuvo cambios significativos. En contraste con nuestros resultados, Villelabeitia-Jaureguizar et al. (2017) lograron recuperaciones más rápidas en los pacientes con enfermedades coronarias que realizaron HIIT tras 1 y 2 minutos después de la prueba de esfuerzo. Sin embargo, esto no ocurrió en el grupo MICT. Este resultado podría estar asociado tanto con una mejora de la función endotelial como con una disminución de la respuesta proinflamatoria durante el ejercicio. Un estudio sugiere que, a diferencia de los jóvenes, el ejercicio físico no es capaz de mantener la correcta activación del sistema nervioso autónomo en mujeres de mediana edad y mayores (Arbit et al., 2005). En este sentido, nuestros resultados fueron más allá porque existe una relación entre la recuperación de la FC y el riesgo de mortalidad (Kemi et al., 2007; Njemanze et al., 2016). Akyüz et al. (2017) afirman que cuando se recupera menos de 21 latidos por minuto después del primer minuto de la prueba de esfuerzo es un indicador de riesgo de enfermedad de las arterias coronarias (EAC). Considerando nuestros resultados en términos de F_c pico y FC_{rec} , podríamos decir que el ejercicio físico podría contribuir a una mejor salud cardiovascular. Sin embargo, los resultados de FC deben ser tratados con precaución. Su interpretación es compleja porque la variable puede ser influenciada tanto por factores internos como externos (Huang et al., 2005).

En cuanto a los resultados del análisis de la PA durante el ejercicio, el HIICT fue significativamente diferente al GC tanto en la PAS_{ex} como en la PAD_{ex} , mientras que el grupo MICT solo obtuvo diferencias significativas con respecto al GC en la PAD_{ex} . De acuerdo con nuestros resultados, Tanaka y otros [42] sugieren que los sujetos entrenados en resistencia logran alcanzar valores máximos más altos de SBP. De manera similar, Villelabeitia-Jaureguizar y otros [18] mostraron diferencias significativas entre HIIT y MICT

después de un programa de entrenamiento de 8 semanas en pacientes con CAD. Aunque los mecanismos para aumentar la PAS durante el ejercicio no están claros, una posible explicación de los resultados obtenidos podría ser la carga de trabajo alcanzada por el grupo de HIIT durante la prueba de la cinta rodante. Tanaka et al. (1996) sugieren que el logro de valores más altos de PAS es una respuesta adaptativa normal al aumento del gasto cardíaco en sujetos entrenados en resistencia aeróbica, lo que sería coherente con nuestros resultados de $VO_{2\text{máx}}$ -ES. En cuanto a los resultados del MICT, y de acuerdo con la interacción significativa de la edad obtenida para esta variable, el hecho de que fuera el grupo de mayor edad puede ser la razón de la disminución significativa de sus valores de PAS_{ex} (Ayjüz et al., 2014; Arbit et al., 2015). Con respecto a la PAD_{ex} , López Chicharro y Vaquero (2006) argumentan que una disminución de la resistencia vascular periférica causada por la vasodilatación puede reducir la PAD máxima dentro de ciertos límites fisiológicos, aunque se trate de una respuesta anómala. Dado que todos nuestros grupos presentaron una hipotensión de la PAD_{ex} durante la prueba de esfuerzo, el aumento significativo obtenido por los grupos HIIT y MICT es un efecto positivo, ya que los participantes mantuvieron un PAD_{ex} más estable. Asimismo, la disminución significativa obtenida por el GC podría ser una consecuencia de su esfuerzo. Estos resultados son muy relevantes ya que la respuesta anormal de la PAD_{ex} se asocia a un aumento de los eventos cardiovasculares y de la mortalidad (Martin et al., 1991).

Aunque no hubo diferencias significativas en la PAS_{rec} o la PAD_{rec} entre grupos, hubo una disminución significativa en la PAS_{rec} para todos ellos. Sin embargo, la hipotensión por debajo de los valores iniciales de la prueba no se produjo en ninguno de los grupos. Como indican Chicharro y Vaquero (2006), hay una rápida disminución tanto de la PAS como de la PAD después del ejercicio. Por otra parte, Le et al. (2008) indican que cuando la PAS cae por debajo de los niveles de reposo, es un indicador predictivo de eventos cardiovasculares. Por lo tanto, aunque hay una reducción significativa de la PAS_{ex} , no se

trata de una respuesta anormal. En resumen, los resultados de la PAS obtenidos indican el efecto positivo sobre la salud cardiovascular del ejercicio físico aeróbico (especialmente el ejercicio de alta intensidad) en mujeres sanas de mediana edad y mayores.

Finalmente, la velocidad máxima alcanzada en la prueba de esfuerzo aumentó significativamente en ambos grupos HIICT y MICT ($p = 0.001$ y $p = 0.015$, respectivamente). Estos resultados están en línea con el aumento del $VO_{2\text{máx}}$ -ES. Además, estos resultados podrían relacionarse con un mejor equilibrio ácido-base a intensidades máximas, como señalaron Villelabeitia-Jaureguizar et al. (2017). Por otro lado, en la misma línea que Ayabe et al. (2011), nuestros resultados no mostraron ninguna interacción entre la velocidad máxima alcanzada en la prueba de esfuerzo y el IMC.

La fuerza de esta investigación fue demostrar los efectos positivos del HIICT y del MICT sobre el $VO_{2\text{máx}}$ -ES y la PAD_{ex} en mujeres sanas de mediana edad y mayores. Las implicaciones clínicas del presente estudio se relacionan con la importancia del HIICT y del MICT como métodos potencialmente eficaces para mejorar la salud cardiovascular en mujeres de mediana edad y mayores, y por consiguiente, en su autonomía para llevar a cabo las actividades diarias y en su mejor calidad de vida. Además, la viabilidad de este tipo de entrenamiento en circuito significa que se puede aplicar fácilmente ya que solo requiere materiales de bajo coste.

Hay varias limitaciones de este estudio que merece la pena mencionar: en primer lugar, el uso de la estimación del $VO_{2\text{máx}}$ por la ecuación del ACSM, ya que no disponíamos de un analizador de gas para medirlo directamente; en segundo lugar, el amplio rango de edad de la muestra y la no ceguera de los participantes y entrenadores; en tercer lugar, que incluyó un pequeño número de participantes, mientras que un tamaño de muestra más grande habría ayudado a cuantificar con mayor precisión los cambios resultantes de estos entrenamientos; en cuarto lugar, la dificultad para controlar que todos los participantes alcanzaran la intensidad prevista; y, por último, el uso de la escala de Borg para evaluar la

intensidad del ejercicio. Aunque la FC es más precisa, solo se controló durante la fase de familiarización porque la escala de Borg es una herramienta más útil y práctica para controlar la intensidad del grupo

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio sugieren que tanto el HIICT como el MICT son métodos de entrenamiento efectivos para mejorar el $VO_{2m\acute{a}x}$, la PAD_{ex} y la velocidad máxima alcanzada en una prueba de esfuerzo. Por otro lado, el HIICT generó mejores adaptaciones para la PAS_{ex} que el GC. Estos resultados contribuyen a mejorar la autonomía en la realización de las actividades cotidianas, así como a prevenir el riesgo de enfermedades cardiovasculares en las mujeres sanas de mediana edad y mayores. Nuestros resultados también reflejan la importancia del HIICT y del MICT para mantener la salud y la calidad de vida de esta población.

REFERENCIAS

- Akyüz, A., Alpsoy, S., Akkoyun, D. Ç., Degirmenci, H., y Güler, N. (2014). Heart rate recovery may predict the presence of coronary artery disease. *Anadolu Kardiyoloji Dergisi*, 14(4), 351-356. <https://doi.org/10.5152/akd.2014.4824>
- Aragão-Santos, J. C., de Resende-Neto, A. G., Nogueira, A. C., Feitosa-Neta, M. L., Brandão, L. H., Chaves, L. M., y da Silva-Grogoletto, M. E. (2019). The effects of functional and traditional strength training on different strength parameters of elderly women: A randomized and controlled trial. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 59(3), 380–386. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.18.08227-0>
- Arbit, B., Azarbal, B., Hayes, S. W., Gransar, H., Germano, G., Friedman, J. D., Thomson, L., y Berman, D. S. (2015). Prognostic Contribution of Exercise Capacity, Heart Rate Recovery, Chronotropic Incompetence, and Myocardial Perfusion Single-Photon

- Emission Computerized Tomography in the Prediction of Cardiac Death and All-Cause Mortality. *The American Journal of Cardiology*, 116(11), 1678–1684.
<https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2015.08.037>
- Amundsen, B. H., Rognmo, Ø., Hatlen-Rebhan, G., y Slødahl, S. A. (2008). High-intensity aerobic exercise improves diastolic function in coronary artery disease. *Scandinavian Cardiovascular Journal*, 42(2), 110–117.
<https://doi.org/10.1080/14017430701744477>
- Ayabe, M., Aoki, J., Kumahara, H., Ishii, K., Yonei, Y., y Tanaka, H. (2011). Effects of Age and Body Mass Index on Accuracy of Simple Moderate Vigorous Physical Activity Monitor Under Controlled Condition. *Anti-Aging Medicine*, 8(4), 31–47.
<https://doi.org/10.3793/jaam.8.41>
- Ballesta-García, I., Martínez-González-Moro, I., Rubio-Arias, J. Á., y Carrasco-Poyatos, M. (2019). High-Intensity Interval Circuit Training Versus Moderate-Intensity Continuous Training on Functional Ability and Body Mass Index in Middle-Aged and Older Women: A Randomized Controlled Trial. *International Journal of Environmental Research Public Health*, 16(21), 4205–4222.
<https://doi.org/10.3390/ijerph16214205>
- Ballesta-García, I., Rubio-Arias, J. Á.; Ramos-Campo, D. J., González-Moro, I., y Carrasco-Poyatos, M. (2019). High-intensity Interval Training Dosage for Heart Failure and Coronary Artery Disease Cardiac Rehabilitation. A Systematic Review and Meta-analysis. *Revista Española de Cardiología (English Edition)*, 72(3), 233–243.
<https://doi.org/10.1016/j.rec.2018.02.015>
- Bermúdez, C. (2012). Valoración de la presión arterial en la ergometría. *Revista Uruguaya de Cardiología*, 27(3), 399–404.
- Blain, H., Masud, T., Dargent-Molina, P., Martin, F. C., Rosendahl, E., van der Velde, N., Bousquet, J., Benetos, A., Cooper, C., Kanis, J. A., Reginster, J. Y., Rizzoli, R.,

- Cortet, B., Barbagallo, M., Dreinhöfer, K. E., Vellas, B., Maggi, S., Strandberg, T., EUGMS Falls and Fracture Interest Group...International Osteoporosis Foundation (IOF). (2016). A comprehensive fracture prevention strategy in older adults: The European Union Geriatric Medicine Society (EUGMS) statement. *Aging Clinical and Experimental Research*, 28(4), 797–803. <https://doi.org/10.1007/s40520-016-0588-4>
- Boukabous, I., Marcotte-Chénard, A., Amamou, T., Boulay, P., Brochu, M., Tessier, D., Dionne, I., y Riesco, E. (2019). Low-Volume High-Intensity Interval Training (HIIT) versus Moderate-Intensity Continuous Training on Body Composition, Cardiometabolic Profile and Physical Capacity in Older Women. *Journal of Aging and Physical Activity*, 27(6), 1–34. <https://doi.org/10.1123/japa.2018-0309>
- Bunout, D., Barrera, G., Hirsch, S., Jimenez, T., y de la Maza, M. P. (2018). Association between activity energy expenditure and peak oxygen consumption with sarcopenia. *BMC Geriatrics*, 18(1), 298-306. <https://doi.org/10.1186/s12877-018-0993-y>
- Cardozo, C. G., Oliveira, R. B., y Farinatti, P. T. (2015). Effects of high intensity versus moderate continuous training on markers of ventilatory and cardiac efficiency in coronary heart disease patients. *The Scientific World Journal*, 2015, 192479. <https://doi.org/10.1155/2015/192479>
- Cesari, M., Vellas, B., Hsu, F.-C., Newman, A. B., Doss, H., King, A. C., Manini, T. M., Church, T., Gill, T. M., Miller, M. E., Pahor, M., y LIFE-P Study. (2015). A physical activity intervention to treat the frailty syndrome in older persons-results from the LIFE-P study. *The Journals of Gerontology*, 70(2), 216–222. <https://doi.org/10.1093/gerona/glu099>.
- Chicharro, J. L., y Campos, D. V. (2018). *HIIT: entrenamiento interválico de alta intensidad. Bases fisiológicas y aplicaciones prácticas*. Exercise Physiology & Training.

- Clegg, A., Young, J., Iliffe, S., Rikkert, M. O., y Rockwood, K. (2013). Frailty in elderly people. *The Lancet*, 381(9868), 752–762. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)62167-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)62167-9)
- Connolly, L. J., Bailey, S. J., Krstrup, P., Fulford, J., Smietanka, C., y Jones, A. M. (2017). Effects of self-paced interval and continuous training on health markers in women. *European Journal of Applied Physiology*, 117, 2281-2293. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3715-9>
- Costa, E. C., Hay, J. L., Kehler, D. S., Boreskie, K. F., Arora, R. C., Umpierre, D., Sz wajcer, A., y Duhamel, T. A. (2018). Effects of High-Intensity Interval Training Versus Moderate-Intensity Continuous Training On Blood Pressure in Adults with Pre- to Established Hypertension: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Trials. *Sports Medicine*, 48(9), 2127-2142. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0944-y>
- Daida, H., Allison, T. G., Squires, R. W., Miller, T. D., y Gau, G. T. (1996). Peak exercise blood pressure stratified by age and gender in apparently healthy subjects. *Mayo Clinic Proceedings*, 71(5), 445-452. <https://doi.org/10.4065/71.5.445>
- Dünnwald, T., Melmer, A., Gatterer, H., Salzm ann, K., Ebenbichler, C., Burtscher, M., Schobersberger, W., y Grand er, W. (2019). Supervised Short-term High-intensity Training on Plasma Irisin Concentrations in Type 2 Diabetic Patients. *International Journal of Sports Medicine*, 40(3), 158-164. <https://doi.org/10.1055/a-0828-8047>
- Fielding, R. A., Frontera, W. R., Hughes, V. A., Fisher, E. C., y Evans, W. J. (1997). The reproducibility of the Bruce protocol exercise test for the determination of aerobic capacity in older women. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 29(8), 1109-1113. <https://doi.org/10.1097/00005768-199708000-00018>
- Goodpaster, B. H., Park, S. W., Harris, T. B., Kritchevsky, S. B., Nevitt, M., Schwartz, A. V., Simonsick, E. M., Ty lavsky, F.A., Visser, M., y Newman, A. B. (2006). The loss of skeletal muscle strength, mass, and quality in older adults: The health, aging and

- body composition study. *The Journals of Gerontology*, 61(10), 1059–1064. <https://doi.org/10.1093/gerona/61.10.1059>
- Grace, F., Herbert, P., Elliott, A. D., Richards, J., Beaumont, A., y Sculthorpe, N. F. (2018). High intensity interval training (HIIT) improves resting blood pressure, metabolic (MET) capacity and heart rate reserve without compromising cardiac function in sedentary aging men. *Experimental Gerontology*, 109, 75-81. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2017.05.010>
- Guiraud, T., Juneau, M., Nigam, A., Gayda, M., Meyer, P., Mekary, S., Paillard, F., y Bosquet, L. (2010). Optimization of high intensity interval exercise in coronary heart disease. *European Journal of Applied Physiology*, 108(4), 733–740. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1287-z>
- Hawkins, S., y Wiswell, R. (2003). Rate and Mechanism of Maximal Oxygen Consumption Decline with Aging. *Sports Medicine*, 33(12), 877-888. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333120-00002>
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., y Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(1), 3–13. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Huang, S.-C., Wong, M.-K., Lin, P.-J., Tsai, F.-C., Fu, T., Wen, M.-S., Kuo, C.-T., y Wang, J.-S. (2014). Modified high-intensity interval training increases peak cardiac power output in patients with heart failure. *European Journal of Applied Physiology*, 114(9), 1853–1862. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2913-y>
- Hwang, C.-L., Yoo, J.-K., Kim, H.-K., Hwang, M.-H., Handberg, E. M., Petersen, J. W, y Christou, D. D. (2016). Novel all-extremity high-intensity interval training improves aerobic fitness, cardiac function and insulin resistance in healthy older adults. *Experimental Gerontology*, 82, 112-119. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2016.06.009>

- Katz, S., Ford, A. B., Moskowitz, R. W., Jackson, B. A., y Jaffe, M. W. (1963). Studies of Illness in the Aged. The Index of ADL: A Standardized Measure of Biological and Psychosocial Function. *JAMA*, 185, 914–919. <https://doi.org/10.1001/jama.1963.03060120024016>
- Kemi, O. J., Ellingsen, Ø., Ceci, M., Grimaldi, S., Smith, G. L., Condorelli, G., y Wisløff, U. (2007). Aerobic interval training enhances cardiomyocyte contractility and Ca²⁺ cycling by phosphorylation of CaMKII and Thr-17 of phospholamban. *Journal of Molecular and Cellular Cardiology*, 43(3), 354-361. <https://doi.org/10.1016/j.yjmcc.2007.06.013>
- Kenney, W. L., Humphrey, R. H., Bryant, C. X., y Mahler, D. A. (1995). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*. Williams & Wilkins.
- Kim, J., y Shin, W. (2014). How to Do Random Allocation (Randomization). *Clinics in Orthopedic Surgery*, 6(1), 103–109. <https://doi.org/10.4055/cios.2014.6.1.103>
- Laddu, D. R., Wertheim, B. C., Garcia, D. O., Brunner, R., Groessl, E., Shadyab, A. H., Going, S. B., LaMonte, M. J., Cannell, B., LeBroff, M. S., Cauley, J. A., Thomson, C. A., y Stefanick, M. L. (2017). Associations Between Self-Reported Physical Activity and Physical Performance Measures Over Time in Postmenopausal Women: The Women's Health Initiative. *Journal of the American Geriatrics Society*, 65(10), 2176-2181. <https://doi.org/10.1111/jgs.14991>
- Laredo-Aguilera, J. A., Carmona-Torres, J. M., García-Pinillos, F., y Latorre-Román, P. Á. (2018). Effects of a 10-week functional training programme on pain, mood state, depression, and sleep in healthy older adults. *Psychogeriatrics*, 18(4), 292–298, <https://doi.org/10.1111/psyg.12323>
- Lawton, M. P., y Brody, E. M. (1969). Assessment of Older People: Self-Maintaining and Instrumental Activities of Daily Living. *The Gerontologist*, 9(3), 179–186. https://doi.org/10.1093/geront/9.3_Part_1.179

- Le, V.-V., Mitiku, T., Sungar, G., Myers, J., y Froelicher, V. (2008). The blood pressure response to dynamic exercise testing: a systematic review. *Progress in Cardiovascular Disease*, 51(2), 135-160. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2008.07.001>
- López Chicharro, J. L., y Vaquero, A. F. (2006). *Fisiología del ejercicio*. Editorial Médica Panamericana.
- Madssen, E., Arbo, I., Granøien, I., Walderhaug, L., y Moholdt, T. (2014). Peak oxygen uptake after cardiac rehabilitation: a randomized controlled trial of a 12-month maintenance program versus usual care. *PLOS ONE*, 9(9), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0107924>
- Martin, W. H., Ogawa, T., Kohrt, W. M., Malley, M. T., Korte, E., Kieffer, P. S., y Schechtman, K. B. (1991). Effects of aging, gender, and physical training on peripheral vascular function. *Circulation*, 84(2), 654-664. <https://doi.org/10.1161/01.cir.84.2.654>
- Masley, S. C., Roetzheim, R., Clayton, G., Presby, A., Sundberg, K., y Masley, L. V. (2017). Lifestyle Markers Predict Cognitive Function. *Journal of the American College of Nutrition*, 36(8), 617-623. <https://doi.org/10.1080/07315724.2017.1336128>
- Molisz, A., Schmederer, Z., Siebert, J., Kadamani, T., Glasner, P., Rostlonkiewicz, K., Nowicka-Sauer, K., Gutknecht, P., Trzeciak, B., y Suchanowski, A. (2019). Haemodynamic parameters in postmenopausal women – beneficial effect of moderate continuous exercise training. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 26(3), 425-428. <https://doi.org/10.26444/aaem/100620>
- Muñoz-Martínez, F. A., Rubio-Arias, J. Á., Ramos-Campo, D. J., y Alcaraz, P.E. (2017). Effectiveness of Resistance Circuit-Based Training for Maximum Oxygen Uptake and Upper-Body One-Repetition Maximum Improvements: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 47(12), 2553–2568. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0773-4>

- Murias J. M., y Paterson D. H. (2015). Slower VO₂ Kinetics in Older Individuals: Is It Inevitable? *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(11), 2308-2318. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000686>
- Njemanze, H., Warren, C., Eggett, C., MacGowan, G. A., Bates, M. G. D., Siervo, M., Ivkovic, S., Trenell, M. I., y Jakovljevic, D. G. (2016). Age-related decline in cardiac autonomic function is not attenuated with increased physical activity. *Oncotarget*, 7(47), 76390–76397. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.12403>
- Nugent, S. F., Jung, M. E., Bourne, J. E., Loeppky, J., Arnold, A., y Little, J.P. (2018). The influence of high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training on sedentary time in overweight and obese adults. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 43(7), 747-750. <https://doi.org/10.1139/apnm-2017-0453>
- Olea, M. A., Mancilla, R., Martínez, S., y Díaz, E. (2017). Effects of high intensity interval training on blood pressure in hypertensive subjects. *Revista Médica de Chile*, 145(9), 1154-1159. <https://doi.org/10.4067/s0034-98872017000901154>
- Organización Mundial de la Salud. (13 de septiembre de 2019). *World Report on Ageing and Health*. World Health Organization. <https://population.un.org/wpp/>
- Qiu, Z., Zheng, K., Zhang, H., Feng, J., Wang, L., y Zhou, H. (2017). Physical Exercise and Patients with Chronic Renal Failure: A Meta-Analysis. *BioMed Research International*, 2017, 7191826. <https://doi.org/10.1155/2017/7191826>
- Ramos-Campo, D. L., Martínez-Guardado, I., Olcina, G., Marín-Pagán, C., Martínez-Noguera, F. J., Carlos-Vivas, J., Alcaráz, P. E., y Rubio-Arias, J. Á. (2018). Effect of high-intensity resistance circuit-based training in hypoxia on aerobic performance and repeat sprint ability. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(10), 2135-2143. <https://doi.org/10.1111/sms.13223>
- Su, L., Fu, J., Sun, S., Zhao, G., Cheng, W., Dou, C., y Quan, M. (2019). Effects of HIIT and MICT on cardiovascular risk factors in adults with overweight and/or obesity: A meta-

analysis. *PLOS ONE*, 14(1), e0210644.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210644>

Tanaka, H., Bassett, D. R., y Turner, M. J. (1996). Exaggerated blood pressure response to maximal exercise in endurance-trained individuals. *American Journal of Hypertension*, 9(11), 1099-1103. [https://doi.org/10.1016/0895-7061\(96\)00238-5](https://doi.org/10.1016/0895-7061(96)00238-5)

Villelabeitia-Jaureguizar, K., Vicente-Campos, D., Senen, A. B., Jiménez, V. H., Garrido-Lestache, M. E. B., y López Chicharro, J. L. (2017). Effects of high-intensity interval versus continuous exercise training on post-exercise heart rate recovery in coronary heart-disease patients. *International Journal of Cardiology*, 244, 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2017.06.067>

Wisløff, U., Støylen, A., Loennechen, J.P., Bruvold, M., Rognum, Ø., Haram, P. M., Tjønnå, A. E., Helgerud, J., Slørdahl, S. A., Lee, S. J., Videm, V., Bye, A., Smith, G. L., Najjar, S. M., Elligensen, Ø., y Skjaerpe, T. (2007). Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. *Circulation*, 115(24), 3086–3094. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.106.675041>

Conclusiones

De esta tesis doctoral se extraen tres conclusiones que responden a cada uno de los objetivos de investigación planteados:

- (1) El HIIT es un método efectivo para aumentar el $VO_{2m\acute{a}x}$ de personas con enfermedad de las arterias coronarias o la insuficiencia cardíaca, siendo este incremento superior en pacientes que tienen insuficiencia cardíaca. Además, para optimizar estos beneficios deben realizarse recuperaciones activas entre el 40-60% del $VO_{2m\acute{a}x}$. Del mismo modo, la frecuencia de entrenamiento no debe ser inferior a dos días a la semana en pacientes enfermedad de las arterias coronarias y no inferior a tres días a la semana en pacientes con insuficiencia cardíaca.
- (2) Tanto el HIICT como el MICT son métodos efectivos para mejorar la fuerza, la resistencia aeróbica, la agilidad y el equilibrio dinámico de mujeres sanas de mediana edad y mayores. Sin embargo, solo el HIICT genera adaptaciones en la fuerza de los brazos y es capaz de modificar el IMC en esta población.
- (3) Tanto el HIICT como el MICT aumentan el $VO_{2m\acute{a}x}$ y normalizan las cifras de presión arterial diastólica durante el ejercicio de mujeres sanas de mediana edad y mayores. Sin embargo, solo el HIICT normaliza las cifras de presión arterial sistólica en esta población.

Apéndice 1:

*Factor de impacto y área temática de las
publicaciones*

Publicación 1

Título: “*High-Intensity Interval Training Dosage for Heart Failure and Coronary Artery Disease Cardiac Rehabilitation. A Systematic Review and Meta-analysis*”.

Autores: Ismael Ballesta García ¹, Jacobo Ángel Rubio Arias ^{2, 3}, Domingo Jesús Ramos Campo ^{2, 3}, Ignacio González Martínez-Moro ⁴ y María Carrasco Poyatos ¹.

Afiliaciones:

(1) Departamento de Educación, Salud y Centro de Investigación de Administración Pública, Universidad de Almería, 04120 Almería, España.

(2) Departamento de Actividad Física y Ciencias del Deporte, Facultad del Deporte, Universidad Católica San Antonio, Murcia, España.

(3) Centro de Investigación en Alto Rendimiento, Universidad Católica San Antonio, Murcia, España.

(4) Departamento de Fisioterapia, Facultad de Medicina, Universidad de Murcia, Murcia, España.

DOI: 10.1016/j.rec.2018.015.

Revista: Revista Española de Cardiología (English Edition).

Editorial: Ediciones DOYMA, S.A.

Lugar y fecha de publicación: Madrid (España), a marzo de 2019.

DOI: 10.1016/j.rec.2018.015. **ISSN:** 0300-8932.

Factor de impacto: 5.078 (JCR-2018)

Posición: 27/136 (Q1) en la categoría “Cardiac & Cardiovascular Systems”

Publicación 2

Título: *“High-Intensity Interval Circuit Training Versus Moderate-Intensity Continuous Training on Functional Ability and Body Mass Index in Middle-Aged and Older Women: A Randomized Controlled Trial”.*

Autores: Ismael Ballesta García ¹, Ignacio Martínez González-Moro ^{1,2}, Jacobo Ángel Rubio Arias ³ y María Carrasco Poyatos ⁴.

Afiliaciones:

(5) Grupo de Investigación en Ejercicio Físico y Rendimiento Humano, Universidad de Murcia, 30002 Murcia, España.

(6) Departamento de fisioterapia, Universidad de Murcia, 30002 Murcia, España.

(7) Departamento de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, Centro de Investigación en Alto Rendimiento UCAM. Departamento de salud y rendimiento humano, Universidad Politécnica de Madrid (UPM), 28040 Madrid, España.

(8) Departamento de Educación, Salud y Centro de Investigación de Administración Pública, Universidad de Almería, 04120 Almería, España.

Revista: International Journal of Environmental Research and Public Health

Editorial: MDPI

Lugar y fecha de publicación: Basilea (Suiza), a 30 de octubre de 2019.

DOI: 10.3390/ijerph16214205

ISSN: 1661-7827.

Factor de impacto: 2.468 (JCR-2018)

Posición: 38/164 (Q1) en la categoría “Public, Environmental & Occupational Health” en la edición SSCI; 112/251 (Q2) en la categoría “Environmental Sciences”; 67/186 (Q2) en la categoría “Public, Environmental & Occupational Health” en la edición SCIE.

Publicación 3

Título: *“High-Intensity Interval Circuit Training Versus Moderate-Intensity Continuous Training on Cardiorespiratory Fitness in Middle-Aged and Older Women: A Randomized Controlled Trial”.*

Autores: Ismael Ballesta García ¹, Ignacio Martínez González-Moro ^{1,2}, Domingo Jesús Ramos Campo ³ y María Carrasco Poyatos ⁴.

Afiliaciones:

- (1) Grupo de Investigación en Ejercicio Físico y Rendimiento Humano, Universidad de Murcia, 30002 Murcia, España.
- (2) Departamento de fisioterapia, Universidad de Murcia, 30002 Murcia, España.
- (3) Departamento de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, Centro de Investigación en Alto Rendimiento UCAM. Departamento de salud y rendimiento humano, Universidad Politécnica de Madrid (UPM), 28040 Madrid, España.
- (4) Departamento de Educación, Salud y Centro de Investigación de Administración Pública, Universidad de Almería, 04120 Almería, España.

Revista: International Journal of Environmental Research and Public Health

Editorial: MDPI

Lugar y fecha de publicación: Basilea (Suiza), a 10 de marzo de 2020.

DOI: 10.3390/ijerph17051805

ISSN: 1661-7827.

Factor de impacto: 2.468 (JCR-2018)

Posición: 38/164 (Q1) en la categoría “Public, Environmental & Occupational Health” en la edición SSCI; 112/251 (Q2) en la categoría “Environmental Sciences”; 67/186 (Q2) en la categoría “Public, Environmental & Occupational Health” en la edición SCIE.

Apéndice 2:

*Aceptación por escrito de los coautores
para que el doctorando presente esta
tesis doctoral*



Los coautores de la publicación titulada “**High-Intensity Interval Training Dosage for Heart Failure and Coronary Artery Disease Cardiac Rehabilitation. A Systematic Review and Meta-analysis**”, con DOI: 10.1016/j.rec.2018.02.015.

HACEN CONSTAR que Don Ismael Ballesta García, con DNI: 48547316-C, es el autor principal de la investigación recogida en este artículo y que conocen y dan su aprobación para que el artículo sea utilizado para que Don Ismael Ballesta García presente su tesis doctoral, titulada: “**Efectos del entrenamiento en circuito basado en el método interválico de alta intensidad (HIIT) en los parámetros cardiovasculares y funcionales de mujeres mayores**”.

Y, para que surta los efectos oportunos, firmamos el presente a 23 de abril de 2020.

Fdo.: Dr. D. Jacobo Ángel Rubio Arias

Fdo.: Dr. D. Domingo Ramos Campo

**CARRASCO
POYATOS
MARIA -
75096834V**

Firmado
digitalmente por
CARRASCO POYATOS
MARIA - 75096834V
Fecha: 2020.04.23
17:02:05 +02'00'

Fdo.: Dra. Dña. María Carrasco Poyatos

Firmado por MARTINEZ GONZALEZ-MORO
IGNACIO - 27430467T el día 23/04/2020
con un certificado emitido por AC FNMT
Usuarios

Fdo.: Dr. D. Ignacio Martínez González-Moro



Los coautores de la publicación titulada “**High-Intensity Interval Circuit Training Versus Moderate-Intensity Continuous Training on Functional Ability and Body Mass Index in Middle-Aged and Older Women: A Randomized Controlled Trial**”, con DOI: 10.3390/ijerph16214205.

HACEN CONSTAR que Don Ismael Ballesta García, con DNI: 48547316-C, es el autor principal de la investigación recogida en este artículo y que conocen y dan su aprobación para que el artículo sea utilizado para que Don Ismael Ballesta García presente su tesis doctoral, titulada: “**Efectos del entrenamiento en circuito basado en el método interválico de alta intensidad (HIIT) en los parámetros cardiovasculares y funcionales de mujeres mayores**”.

Y, para que surta los efectos oportunos, firmamos el presente a 23 de abril de 2020.

Fdo.: Dr. D. Jacobo Ángel Rubio Arias

**CARRASCO
POYATOS
MARIA -
75096834V**

Firmado digitalmente por
CARRASCO POYATOS
MARIA - 75096834V
Fecha: 2020.04.23
17:02:05 +02'00'

Firmado por MARTINEZ GONZALEZ-MORO
IGNACIO - 27430467T el día 23/04/2020
con un certificado emitido por AC FNMT
Usuarios

Fdo.: Dra. Dña. María Carrasco Poyatos

Fdo.: Dr. D. Ignacio Martínez González-Moro



Los coautores de la publicación titulada “**High-Intensity Interval Circuit Training Versus Moderate-Intensity Continuous Training on Cardiorespiratory Fitness in Middle-Aged and Older Women: A Randomized Controlled Trial**”, con DOI: 10.3390/ijerph17051805

HACEN CONSTAR que Don Ismael Ballesta García, con DNI: 48547316-C, es el autor principal de la investigación recogida en este artículo y que conocen y dan su aprobación para que el artículo sea utilizado para que Don Ismael Ballesta García presente su tesis doctoral, titulada: “**Efectos del entrenamiento en circuito basado en el método interválico de alta intensidad (HIIT) en los parámetros cardiovasculares y funcionales de mujeres mayores**”.

Y, para que surta los efectos oportunos, firmamos el presente a 23 de abril de 2020.

Fdo.: Dr. D. Domingo Ramos Campo

**CARRASCO
POYATOS
MARIA -
75096834V**

Firmado digitalmente por
CARRASCO POYATOS
MARIA - 75096834V
Fecha: 2020.04.23
17:02:05 +02'00'

Firmado por MARTINEZ GONZALEZ-MORO
IGNACIO - 27430467T el día 23/04/2020
con un certificado emitido por AC FNMT
Usuarios

Fdo.: Dra. Dña. María Carrasco Poyatos

Fdo.: Dr. D. Ignacio Martínez González-Moro

Apéndice 3:

*Publicaciones originales que componen
la presente Tesis Doctoral*

Document downloaded from <http://www.revespcardiol.org/>, day 29/03/2020. This copy is for personal use. Any transmission of this document by any media or format is strictly prohibited.

Rev Esp Cardiol. 2019;72(3):233–243

Original article

High-intensity Interval Training Dosage for Heart Failure and Coronary Artery Disease Cardiac Rehabilitation. A Systematic Review and Meta-analysis



Ismael Ballesta García,^a Jacobo Ángel Rubio Arias,^{b,c} Domingo Jesús Ramos Campo,^{b,c} Ignacio Martínez González-Moro,^d and María Carrasco Poyatos^{a,*}

^a Departamento de Educación, Facultad de Educación, Universidad de Almería, Almería, Spain

^b Departamento de Actividad Física y Ciencias del Deporte, Facultad del Deporte, Universidad Católica San Antonio, Murcia, Spain

^c Centro de Investigación en Alto Rendimiento, Universidad Católica San Antonio, Murcia, Spain

^d Departamento de Fisioterapia, Facultad de Medicina, Universidad de Murcia, Murcia, Spain

Article history:

Received 12 September 2017

Accepted 19 February 2018

Available online 9 April 2018

Keywords:

High-interval intensity training

Interval training

Peak VO₂

Heart failure

Coronary artery disease

ABSTRACT

Introduction and objectives: High-interval intensity training (HIT) has been suggested to improve peak VO₂ in cardiac rehabilitation programs. However, the optimal HIT protocol is unknown. The objective of this study was to identify the most effective doses of HIT to optimize peak VO₂ in coronary artery disease (CAD) and heart failure (HF) patients.

Methods: A search was conducted in 6 databases (MEDLINE, Web of Science, LILACS, CINAHL, Academic Search Complete, and SportDiscus). Studies using a HIT protocol in CAD or HF patients and measuring peak VO₂ were included. The PEDro Scale and Cochrane Collaboration tools were used.

Results: Analyses reported significant improvements in peak VO₂ after HIT in both diseases ($P = .000001$), with a higher increase in HF patients ($P = .03$). Nevertheless, in HF patients, there were no improvements when the intensity recovery was $\leq 40\%$ of peak VO₂ ($P = .19$) and the frequency of training was ≤ 2 d/wk ($P = .07$). There were significant differences regarding duration in CAD patients, with greater improvements in peak VO₂ when the duration was < 12 weeks ($P = .05$). In HF, programs lasting < 12 weeks did not significantly improve peak VO₂ ($P = .1$).

Conclusions: The HIT is an effective method for improving peak VO₂ in HF and CAD, with a significantly greater increase in HF patients. The recovery intervals should be active and be between 40% and 60% of peak VO₂ in HF patients. Training frequency should be ≥ 2 d/wk for CAD patients and ≥ 3 d/wk for HF patients.

© 2018 Sociedad Española de Cardiología. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Dosis de ejercicio interválico de alta intensidad en la rehabilitación cardiaca de la insuficiencia cardiaca y la enfermedad arterial coronaria: revisión sistemática y metanálisis

RESUMEN

Introducción y objetivos: Se ha propuesto el ejercicio interválico de alta intensidad (EIAI) en programas de rehabilitación cardiaca para mejorar el VO_{2máx}. Sin embargo, no se conoce cuál es el mejor protocolo EIAI. El objetivo es encontrar la mejor dosis de EIAI para optimizar el VO_{2máx} de pacientes con enfermedad arterial coronaria (EAC) e insuficiencia cardiaca (IC).

Método: Se llevó a cabo una búsqueda en 6 bases de datos (MEDLINE, Web of Science, LILACS, CINAHL, Academic Search Complete y SportDiscus). Se incluyeron los estudios que usaban el protocolo EIAI y midieron el VO_{2máx} de pacientes con EAC e IC. Se utilizó la escala PEDro y las herramientas de la Colaboración Cochrane.

Resultados: El análisis mostró mejoras significativas en el VO_{2máx} tras el EIAI en ambas enfermedades ($p = 0,000001$), con mayor incremento en los pacientes con IC ($p = 0,03$). Sin embargo, en estos no hubo mejora si la intensidad de recuperación era $\leq 40\%$ del VO_{2máx} ($p = 0,19$) o la frecuencia de entrenamiento era ≤ 2 días/semana ($p = 0,07$). Hubo diferencias significativas según la duración entre los pacientes con EAC, que mostraron resultados superiores cuando era < 12 semanas ($p = 0,05$). Los pacientes con IC no mostraron mejoras significativas en el VO_{2máx} cuando la duración era < 12 semanas ($p = 0,1$).

Palabras clave:

Ejercicio interválico de alta intensidad

Ejercicio interválico

VO_{2máx}

Insuficiencia cardiaca

Enfermedad arterial coronaria

* Corresponding author: Facultad de Educación, Universidad de Almería, Carretera Sacramento s/n, 04120 La Cañada, Almería, Spain.

E-mail address: carrasco@ual.es (M. Carrasco Poyatos).

Conclusiones: El EIAI es un método efectivo para mejorar el VO_{2max} de los pacientes con IC o EAC, con mayor diferencia significativa en los pacientes con IC. Los intervalos de recuperación de los pacientes con IC deben ser activos y estar en un 40-60% del VO_{2max} . La frecuencia de entrenamiento debería ser ≥ 2 días/semana en la EAC y ≥ 3 días/semana en la IC.

© 2018 Sociedad Española de Cardiología. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Abbreviations

CAD: coronary artery disease
 HF: heart failure
 HIT: high-intensity interval training
 Peak VO_2 : peak oxygen uptake

INTRODUCTION

Coronary artery disease (CAD) is one of the most common causes of death worldwide, affecting 17.5 million people each year.¹ Ischemic disease and chronic heart failure (HF) are lethal, causing 8.76 million deaths worldwide,² resulting in higher health care system spending.³ These CAD reduce either exercise tolerance or peak oxygen uptake (peak VO_2), culminating in heart, respiratory, and endothelial dysfunction.⁴ In addition, HF is the final condition of all cardiovascular diseases, as it affects both cardiac function and cardiovascular circulation.⁵ For this reason, they are defined as an incapacity syndrome, which creates morbidity and whose symptoms are linked to fatigue, dyspnea, and exercise intolerance.⁴

Currently, it has been widely proven that one of the benefits of aerobic exercise is an increase in peak VO_2 ,⁶⁻⁹ which is one of the most important survival indicators for people with CAD^{5,10-13} and HF.⁵ Continuous aerobic training has been studied for cardiac rehabilitation programs. It consists of performing exercise for a long period of time under moderate intensity and nonvariable aerobic activity (60%-80% of peak VO_2).^{5,9,11,12,14} However, at present, high-intensity interval training (HIT) protocols are generating better results in peak VO_2 in less time.^{9,13-16} They consist of intermittent short high-intensity work periods (85%-100% of peak VO_2) and relative rest periods.^{10,15} A typical HIT session consists of a 10-minute warm-up at 50% to 70% of peak VO_2 followed by a set of four 3- to 4-minute bouts^{5,10-13,15-23} (HIT protocol with long work interval) or a set of ten 30- to 60-second bouts^{6-9,24} (HIY protocol with short work interval) at 85% to 95% of peak VO_2 interspersed by active pauses at 50% to 70% of peak VO_2 . It terminates with a cool-down period at 50% to 70% of peak VO_2 .²⁵ (Figure 1). However, although HIT is known to produce the greatest effects on peak VO_2 in CAD and HF patients,^{5,13,15,16,21} there have been many differences in the exercise protocols proposed in this topic affecting the frequency (2-5 d/wk),^{8,11,14,24} volume (30-60 min/sessions),^{15,24,26} intensity of recovery (0%-70% peak VO_2),^{6,9,17,21} number of sessions (> 100 sessions),¹³ duration of training (4-50 weeks),^{8,13,16,18} and even in the characteristics of the patients.^{11,17,21} Recognizing the influence of these variables regarding peak VO_2 could help to optimize cardiac rehabilitation programs for HF and CAD patients.

Moreover, other studies have focused on identifying which kind of HIT intervention is more effective for improving the functional capacity of HF and CAD patients, as the rehabilitation process and the disabilities produced by the 2 diseases differ.^{10,27} However, which HIT protocol training is better for one disease or the other, or the best dosage of this type of exercise to improve the cardiac rehabilitation program of each disease is currently not known.

Therefore, the aim of the present study was to conduct a meta-analysis to a) identify the best doses of HIT to optimize HIT training for HF and CAD patients, and b) determine how the HIT protocol affects HF and CAD patients in terms of their peak VO_2 .

METHODS

Study Design

The systematic review and meta-analysis were undertaken in accordance with the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) statement.²⁸ The search was carried out by 2 of the authors (I. Ballesta García and J.A. Rubio Arias), and all the authors reached an agreement regarding methods, article inclusion, and statistical analysis. The articles were organized in order to delete duplicates. Full-text articles were retrieved and evaluated based on the proposed selection criteria. Variables related to the training method such as frequency, total duration of the session, exercise duration, and recovery intervals, number of total sessions, percentage of intensity of each interval, as well as the age, body mass index, sex and number of patients in each study were extracted to an excel workbook.

Search Strategy

Electronic database searches were performed using MEDLINE, Web of Science, LILACS, CINAHL, Academic Search Complete and SportDiscus. The search terms chosen were: ("Heart disease" OR "Heart Failure" OR "Coronary Artery Disease" OR CAD) AND ("High-intensity" OR "High intensity" OR HIT OR "Interval training"). The search results and final study selection are shown in Figure 2.

Inclusion Criteria

Inclusion criteria were determined by the authors. We included randomized controlled trials, written in English or Spanish, published from January 2004 to March 2017, using a HIT protocol in patients with CAD or HF, measuring peak VO_2 . We excluded studies based on aquatic HIT programs, combining HIT with strength training, home-based HIT, not considering CAD and HF results of peak VO_2 independently, using people with transplants, grafts or with valve disease, and testing with food supplements, nutritional or pharmacological aids.

Statistical Analysis

The meta-analysis and statistical analysis were developed using Review Manager software (RevMan 5.2; Cochrane Collaboration, Oxford, United Kingdom)²⁹ and Comprehensive Meta-analysis software (Version 2; Biostat, Englewood, New Jersey, United States). A random effects meta-analysis was conducted to determine which disease most benefited from HIT and if there were differences between HIT protocols for each condition. The work-rest ratio, the work interval duration and intensity, and the

Document downloaded from <http://www.revespcardiol.org/>, day 29/03/2020. This copy is for personal use. Any transmission of this document by any media or format is strictly prohibited.

I. Ballesta García et al./ Rev Esp Cardiol. 2019;72(3):233–243

235

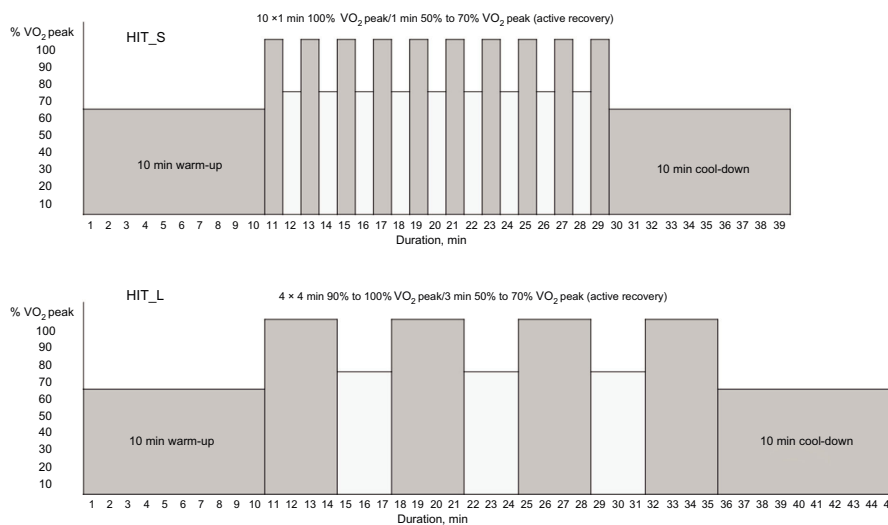


Figure 1. Schematic illustration for HIT_S and HIT_L. HIT, high-intensity interval training groups; HIT_L, protocol of HIT with long work intervals; HIT_S, protocol of HIT with short work intervals.

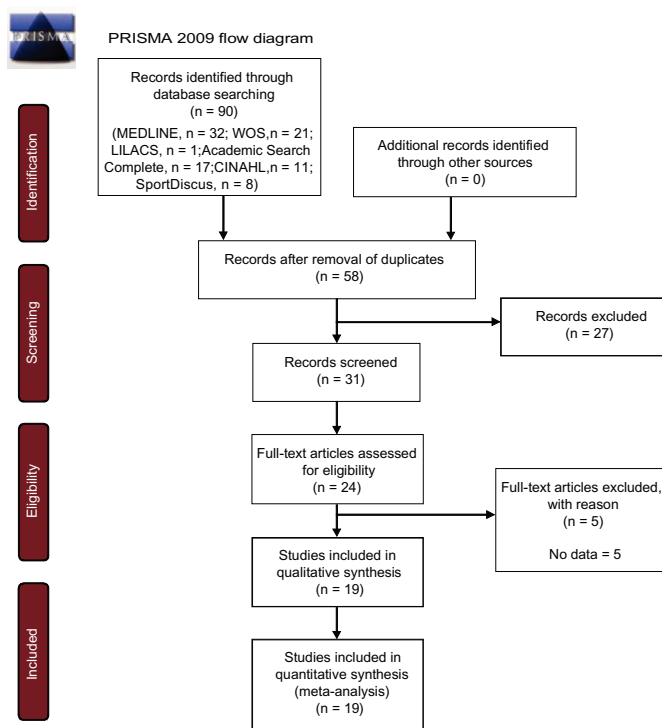


Figure 2. Systematic review and meta-analysis flow diagram. WOS, Web of Science.

Table 1
General Characteristics of the Studies Included in the Meta-analysis

Research studies	Study location, country	Disease	n_HIT	Men, %	Age, y	BMI, cm/kg ²
Benda et al. ²⁴	Nijmegen, Netherlands	HF	10	100	63.0 ± 8	28.1 ± 7.5
Cardozo et al. ¹¹	Rio de Janeiro, Brasil	CAD	23	63	56.0 ± 12	27.5 ± 5.9
Chrysohoou et al. ⁵	Rio de Janeiro, Brasil	HF	33	88	63.0 ± 9	28.8 ± 4.2
Conraads et al. ¹⁸	Athens, Greece	CAD	100	85	57.0 ± 8.8	28 ± 4.4
Currie et al. ⁹	Hamilton, Canada	CAD	11	91	67.2 ± 6	27.9 ± 4.9
Dimopoulos et al. ²⁷	Athens, Greece	HF	10	90	59.2 ± 12.2	26.5 ± 4.1
Freyssin et al. ⁶	Reunion island, France	HF	13	50	54.0 ± 9	24.8 ± 4
Fu et al. ¹⁶	Keelung, Taiwan	HF	14	61	67.5 ± 1.8	
Huang et al. ¹⁹	Taoyuan, Taiwan	HF	33	78	60.0 ± 3	
Isaksen et al. ¹⁷	Stavanger, Norway	HF	24	88	65.0 ± 9	27.8 ± 4
Kim et al. ¹⁵	Seoul, Korea	CAD	14	86	57.0 ± 11.5	24.2 ± 2.9
Koufaki et al. ³⁰	Staffordshire, England	HF	16	87	59.8 ± 7.4	28.9 ± 4.7
Madssen et al. ¹³	Trondheim, Norway	CAD	24	75	64.4 [47-78]	28 ± 3.9
Moholdt et al. ³¹	Trondheim, Norway	CAD	28	86	60.2 ± 6.9	26 ± 6.2
Moholdt et al. ²¹	Trondheim, Norway	CAD	11	83	57.7 ± 9.3	26.6 ± 3
Roditis et al. ⁷	Athens, Greece	HF	11	90	63.0 ± 2	25.9 ± 2.8
Rognmo et al. ³²	Trondheim, Norway	CAD	8	75	62.9 ± 11.2	26.7 ± 4.1
Smart et al. ²³	Athens, Greece	HF	10	100	59.1 ± 11	28.9 ± 6.1
Warburton et al. ³⁴	Vancouver, Canada	CAD	7	100	55.0 ± 7	

BMI, body mass index; CAD, coronary artery disease; HF, heart failure; n_HIT number of participants in high-intensity interval training groups. Data are presented as the mean, mean ± standard deviation, range or No.

protocol frequency variables were taken into account to determine changes in each variable.

Due to the heterogeneity of the protocol (Table 1), mean differences were used, dividing the mean values between 2 different groups. The differences in means were grouped using the random effects model. Heterogeneity between studies was analyzed using I^2 statistics. The dichotomous and continuous variables of the studies were compared with extracted potential peak VO_2 moderator factors. The medians of continuous variables were used to group the studies. Afterwards, HIT differences between pre- and post-values were expressed and analyzed as potential moderator variable changes. The publication bias for the different conditions analyzed (pre-vs-post) was assessed by examining the asymmetry of a funnel plot using Egger's test, and $P \leq .05$ was considered to be statistically significant. We assessed the methodological quality of the studies by using the PEDro Scale. The risk of bias was assessed using the modified Cochrane Collaboration tools. Bias was assessed as a judgment (high, low, or unclear) for individual elements from 5 domains: selection, performance, attrition, reporting and any other bias (criteria inclusion of patients in the studies and the country in which the study was conducted).

RESULTS

According to our inclusion criteria, 19 studies were included in this meta-analysis, 10 in HF and 9 in CAD. The Egger test provided statistical evidence of funnel plot symmetry (Figure 3), suggesting the absence of a significant publication bias.

Risk-of-bias assessment is shown in Figure 4. It was high in almost all studies due to lack of blinding of participants and personnel. However, this issue could not be omitted due to the peculiarity of the intervention (exercise vs no exercise) and should be considered in perspective.

The main characteristics of the studies and of training interventions are described in Table 1 and Table 2, respectively.

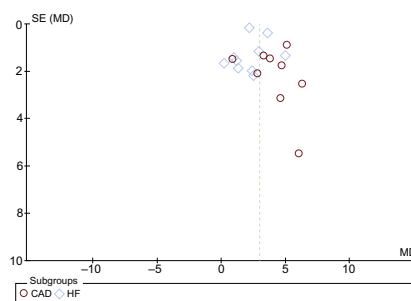


Figure 3. Funnel plot of comparison: CAD vs HF. CAD, coronary artery disease; HF, heart failure; MD, mean difference; SE, standard error.

The meta-analyzed effects of HIT found in both diseases were beneficial ($P < .000001$) for peak VO_2 (3.98; 95%CI, 2.94-5.02 mL/kg/min for CAD patients and 2.55; 95%CI, 1.73-3.36 mL/kg/min for HF patients) (Figure 5). However, there were significant differences in peak VO_2 between the 2 diseases in favor of HF patients ($P = .03$) (Figure 5).

Following the moderating variables, the results showed statistical improvements in peak VO_2 in each subgroup analyzed for both diseases ($P < .05$) (Table 3 and Table 4). There were no statistically significant differences between subgroups according to population characteristics in CAD or HF (Table 3 and Table 4).

Regarding exercise characteristics, there were statistically significant improvements in peak VO_2 in each CAD patient subgroup analyzed ($P < .05$). Nevertheless, in HF patients, there were no improvements in peak VO_2 when the intensity of recovery was $\leq 40\%$ peak VO_2 ($P = .19$), when the type of recovery was passive ($P = .09$), and in the ≤ 2 d/wk protocols ($P = .07$)^{9,24} (Table 5).

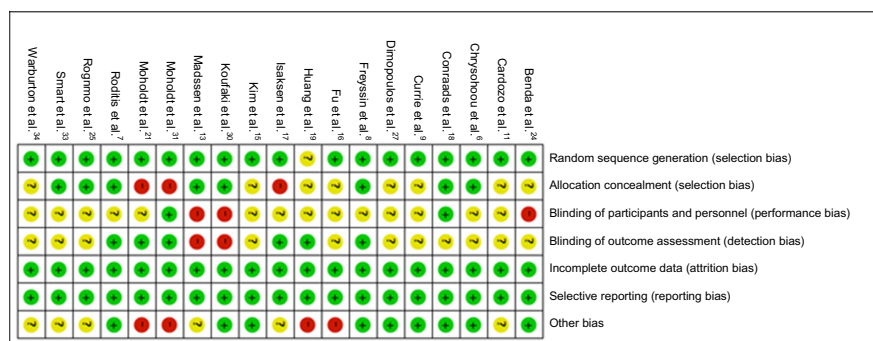


Figure 4. Assessment of risk of bias in included randomized controlled trials.

With regards to protocol duration, there were significant differences in CAD patients, who showed higher peak VO₂ improvements when the program was performed for < 12 weeks ($P = .05$) (Table 6). By contrast, there were no significant differences in HF patients when comparing a program ≥ 12 weeks and a program ≤ 12 weeks ($P = .96$). However, a program lasting ≥ 12 weeks did not produce significant improvements in peak VO₂ in HF patients ($P = .1$; $I^2 = 0$) (Table 5).

Likewise, there were no significant differences between HIT protocols with short exercise intervals and protocols with long exercise intervals in either of the 2 diseases ($P = .87$), although both of them showed significant improvements in peak VO₂ ($P < .000001$). In contrast, there were significant differences in peak VO₂ between the 2 diseases in favor of HF patients ($P = .03$) (Figure 5).

DISCUSSION

This meta-analysis determined how different HIT protocols modify the peak VO₂ of HF and CAD patients, describing the most effective doses of HIT to optimize their training. The main finding was that HIT was more effective for improving the peak VO₂ of patients with HF than that of those with CAD. However, the maximum benefits in peak VO₂ were obtained between weeks 6 and 12 for both diseases. In addition, HF patients did not obtain significant peak VO₂ improvements when the HIT protocol was > 12 weeks. This result may be due to the fact that only 2 studies^{30,33} followed a protocol > 12 weeks while 8 studies^{6-8,16,17,19,24,27} followed protocols of ≤ 12 weeks. In fact, no significant differences were found between the 2 subgroups ($P = .96$). Likewise, CAD patients achieved greater improvements in

Table 2 Characteristics of Aerobic Training Interventions in the Studies Included in the Meta-analysis

Studies	Disease	Type	Frequency, wks	Session duration, min	Interval work, min	Interval recovery, min	Duration, wks	Number of sessions	Work intensity, % peak VO ₂ ^a	R	Increase VO ₂ peak, % ^b
Benda et al. ²⁴	HF	HIT_S	2	30	1	2	12	24	90	0.5	6.8
Cardozo et al. ¹¹	CAD	HIT_L	3	28	4	3	16	48	90	1.33	18.44
Chrysohoou et al. ⁶	HF	HIT_S	3	45	0.5	0.5	12	36	100	1	31.25
Conraads et al. ¹⁸	CAD	HIT_L	3	28	4	3	12	36	90-95	1.33	21.7
Currie et al. ⁹	CAD	HIT_S	2	20	1	1	12	24	80-100	1	23.73
Dimopoulos et al. ²⁷	HF	HIT_S	3	36	0.5	0.5	12	36	100	1	7.79
Freyssin et al. ⁸	HF	HIT_S	5	69	0.5	1	8	40	80-95	0.5	27.1
Fu et al. ¹⁶	HF	HIT_L	3	30	3	3	12	36	80	1	22.5
Huang et al. ¹⁹	HF	HIT_L	3	42	3	3	12	36	80	1	13.41
Isaksen et al. ¹⁷	HF	HIT_L	3	28	4	3	12	36	85	1.33	5.74
Kim et al. ¹⁵	CAD	HIT_L	3	28	4	3	6	18	85-95	1.33	22.16
Koufaki et al. ³⁰	HF	HIT_S	3	—	0.5	1	24	72	100	0.5	15.68
Madssen et al. ¹³	CAD	HIT_L	3	28	4	3	52	156	85-95	1.33	3.22
Moholdt et al. ²¹	CAD	HIT_L	5	28	4	3	4	20	90	1.33	12.17
Moholdt et al. ²¹	CAD	HIT_L	3	28	4	3	12	36	85-95	1.33	14.55
Roditis et al. ⁷	HF	HIT_S	3	40	0.5	0.5	6	18	100	1	8.45
Rognmo et al. ³²	CAD	HIT_L	3	28	4	3	10	30	80-90	1.33	18.86
Smart et al. ³³	HF	HIT_S	3	60	1	1	48	16	70	0.5	20.49
Warburton et al. ³⁴	CAD	HIT_S	3	—	2	3	16	48	85-95	0.66	17.28

CAD, coronary artery disease; HF, heart failure; HIT, high-intensity interval training groups; HIT_L, protocol of HIT with long work interval; HIT_S, protocol of HIT with short work interval; peak VO₂, peak oxygen uptake; R, work/recovery ratio.

^a Percentage of peak VO₂ of the interval work.
^b Percentage of increase of VO₂ peak posttraining.

Document downloaded from <http://www.revespcardiol.org/>, day 29/03/2020. This copy is for personal use. Any transmission of this document by any media or format is strictly prohibited.

238

I. Ballesta García et al./Rev Esp Cardiol. 2019;72(3):233-243

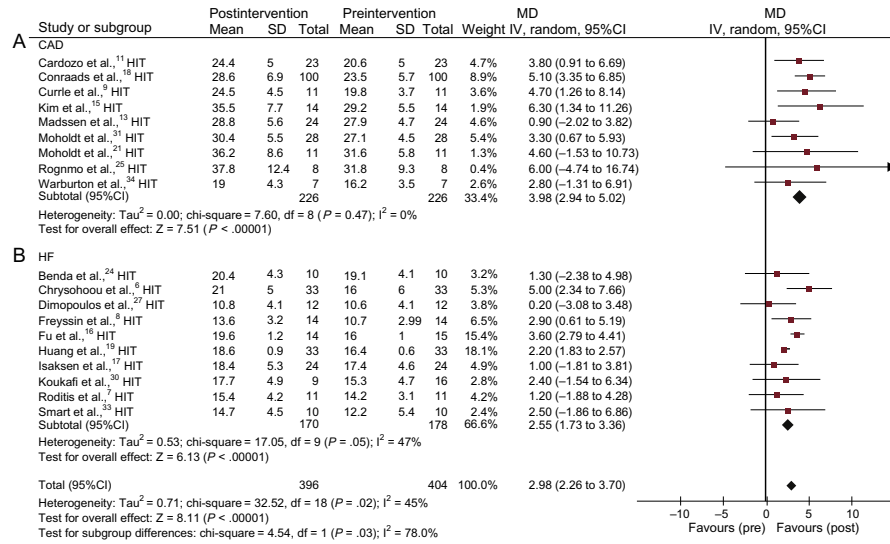


Figure 5. A: MD between post- and pre-HIT intervention peak VO₂ (mL/kg/min) for patients with CAD. B: MD between post- and pre-HIT intervention peak VO₂ (mL/kg/min) for patients with HF. Squares represent the MD for each trial. The diamond represents the pooled MD across trials. Weight determines how much each individual study contributes to the pooled estimate.³⁵ Total is the number of participants in HIT groups. 95%CI, confidence interval; CAD, coronary artery disease; HF, heart failure; HIT, high-intensity interval training groups; MD, mean difference; SD: standard deviation; IV: inverse variance.

Table 3
Subgroup Analyses Assessing Potential Moderating Factors for VO₂ Peak Increase in Studies on CAD Disease Included in the Meta-analysis by Population Characteristics

Group	Research studies		Peak VO ₂			
	HIT groups	References	MD (95%CI)	I ²	P ^b	P-difference ^c
<i>No. of participants^a</i>						
< 14	4	Currie et al., ⁹ Moholdt et al., ²¹ Rognmo et al., ³² Warburton et al. ²⁴	4.12 (1.75-6.48)	0	.0006	.81
≥ 14	5	Cardozo et al., ¹¹ Conraads et al., ¹⁸ Kim et al., ¹⁵ Madssen et al., ¹³ Moholdt et al. ³¹	3.77 (2.14-5.40)	42	< .00001	
<i>BMI</i>						
25-29.9 kg/m ²	6	Cardozo et al., ¹¹ Conraads et al., ¹⁸ Currie et al., ⁹ Moholdt et al., ³¹ Moholdt et al., ²¹ Rognmo et al. ³²	4.46 (3.27-6.65)	0	.00001	.48
≤ 24.9 kg/m ²	1	Kim et al. ¹⁵	6.30 (1.34-11.26)	0	< .01	
<i>Sex</i>						
Men	2	Rognmo et al., ³² Warburton et al. ²⁴	3.21 (-0.63-7.04)	0	.1	.71
Men and women	7	Cardozo et al., ¹¹ Conraads et al., ¹⁸ Currie et al., ⁹ Kim et al., ¹⁵ Madssen et al., ¹³ Moholdt et al., ³¹ Moholdt et al. ²¹	3.97 (2.74-5.20)	16	< .00001	
<i>Age, y</i>						
> 57	4	Currie et al., ⁹ Moholdt et al., ³¹ Moholdt et al., ²¹ Rognmo et al. ³²	3.97 (2.02-5.91)	0	< .00001	.86
≤ 57	4	Cardozo et al., ¹¹ Conraads et al., ¹⁸ Kim et al., ¹⁵ Warburton et al. ²⁴	3.97 (2.02-5.91)	43	< .00001	
<i>Methodological quality</i>						
> 7 points	5	Cardozo et al., ¹¹ Conraads et al., ¹⁸ Currie et al., ⁹ Madssen et al., ¹³ Moholdt et al. ³¹	3.72 (2.26-5.19)	36	< .00001	.66
≤ 7 points	4	Kim et al., ¹⁵ Madssen et al., ¹³ Moholdt et al., ²¹ Warburton et al. ²⁴	4.41 (1.69-7.13)	0	.001	

95%CI, 95% confidence interval; BMI, body mass index; HIT, high-intensity interval training groups; I², heterogeneity; MD, mean difference; peak VO₂, peak oxygen uptake. Certain studies were not included because they did not report the value used for subgroup analysis.

^a Number of subjects of the HIT group.

^b Test for overall effect.

^c Test for subgroup differences.

Table 4
Subgroup Analyses Assessing Potential Moderating Factors for VO₂ Peak Increase in Studies on HF Disease Included in the Meta-analysis by Population Characteristics

Group	Research studies		Peak VO ₂			
	HIT groups	References	MD (95%CI)	I ²	P ^b	P-difference ^c
<i>No. of participants^a</i>						
< 14	6	Benda et al., ²⁴ Dimopoulos et al., ²⁷ Freysson et al., ⁸ Koufaki et al., ³⁰ Roditis et al., ⁷ Smart et al. ³³	1.79 (0.40-3.19)	0	.01	.24
≥ 14	4	Chrysohoou et al., ⁶ Fu et al., ¹⁶ Huang et al., ¹⁹ Isaksen et al. ¹⁷	2.87 (1.75-4.00)	72	< .00001	
<i>Sex</i>						
Men	2	Benda et al., ²⁴ Smart et al. ³³	1.80 (-1.01-4.61)	0		.6
Men and women	8	Chrysohoou, ⁶ Dimopoulos et al., ²⁷ Freysson et al., ⁸ Fu et al., ¹⁶ Koufaki et al., ³⁰ Huang et al., ¹⁹ Isaksen et al., ¹⁷ Roditis et al. ⁷	2.59 (1.68-3.50)	58	< .00001	
<i>Age, y</i>						
≥ 62	5	Benda et al., ²⁴ Chrysohoou et al., ⁶ Fu et al., ¹⁶ Isaksen et al., ¹⁷ Roditis et al. ⁷	2.66 (0.21-5.11)	67	.03	.73
< 62	5	Dimopoulos et al., ²⁷ Freysson et al., ⁸ Huang et al., ¹⁹ Smart et al., ³³ Koufaki et al. ³⁰	2.22 (1.87-2.58)	0	< .00001	
<i>BMI</i>						
25-29.9 kg/m ²	7	Benda et al., ²⁴ Chrysohoou et al., ⁶ Dimopoulos et al., ²⁷ Isaksen et al., ¹⁷ Roditis et al., ⁷ Smart et al., ³³ Koufaki et al. ³⁰	2.04 (0.70-3.38)	14	.003	.36
≤ 24.9 kg/m ²	3	Freysson et al., ⁸ Fu et al., ¹⁶ Huang et al. ¹⁹	2.85 (1.72-3.99)	79	< .00001	
<i>Methodological quality</i>						
> 6 points	1	Chrysohoou et al. ⁶	5.00 (2.34-7.66)	—	.0002	.07
≤ 6 points	9	Benda et al., ²⁴ Dimopoulos et al., ²⁷ Freysson et al., ⁸ Fu et al., ¹⁶ Huang et al., ¹⁹ Isaksen et al., ¹⁷ Roditis et al., ⁷ Smart et al., ³³ Koufaki et al. ³⁰	2.41 (1.64-3.17)	40	< .00001	

95%CI, 95% confidence interval; BMI, body mass index; HIT, high-intensity interval training groups; I², heterogeneity; MD, mean difference; peak VO₂, peak oxygen uptake. Certain enrolled studies were not included because the value used for subgroup analysis was not reported in them.

^a Number of subjects of the HIT group.

^b Test for overall effect.

^c Test for subgroup differences.

peak VO₂ when the duration of the protocol was < 12 weeks, with the differences being significant between the 2 subgroups ($P = .05$).

Regarding age, there were no statistically significant differences between subgroups (≥ 57 years and < 57 years, CAD patients [56-65 years old], and ≥ 62 years and < 62 years [54-68 years], HF patients). This result indicated that age does not influence improvements in peak VO₂, although some research asserts that age is a determining factor for the occurrence of HF and CAD due to diseases associated with age.^{35,36} According to Amundsen et al.,¹² these results suggest that HIT induces changes in cardiac contractility and increases filling of the left ventricle. Thus, we found peak VO₂ improvements derived from improvements in left ventricular ejection fraction, regardless of age.

In relation to the HIT protocol, the studies suggested conducting a work ratio (work/recovery) ≤ 1.33 (0.66-1.33) for patients with CAD, as it provides the same benefits as ratios > 1.33. Moreover, it would be better to use work ratios < 1 (0.5-1.33) for patients with HF. These results support some researchers' arguments that patients prefer shorter or less-intense protocols,¹⁰ favoring adherence to the long-term protocol due to greater patient comfort.^{10,37}

Concerning work and recovery periods, there were no statistically significant differences regarding work interval duration (from 30 seconds to 4 minutes) in HF patients. Nevertheless, there were statistically significant differences in recovery intensity, as recoveries ≤ 40% peak VO₂ and passive recovery did not produce adaptations in peak VO₂. The reason may be that an active recovery at greater intensity allows for the optimization of phosphocreatine resynthesis, greater lactate oxidation, and optimization of lactate neoglucogenesis.³⁸ However, although some authors have

recommended passive recoveries,¹⁰ these were not as effective as active recoveries.²⁶ For patients with CAD, there were no statistically significant differences in the work and recovery interval duration, the type of recovery, or active recovery intensity. Thus, patients with CAD had faster recoveries than HF patients. This finding could be due to CAD patients being less affected at the cardiovascular level than patients with HF, therefore having a faster recovery within the parameters mentioned.³⁹ Consequently, to improve the cardiac rehabilitation process, the design of the HIT protocol for HF patients should include active recoveries ≥ 40% peak VO₂.

Regarding HIT frequency, there were no statistically significant improvements in the peak VO₂ of patients with HF when with protocols ≤ 2 d/wk ($P = .07$),²⁴ although an improvement was found in the 3 and 4 d/wk protocols ($P < .00001$),^{6,7,16,17,19,27,30,33} and ≥ 5 d/wk protocols ($P < .01$).⁸ Nevertheless, these results were not found in patients with CAD, whose peak VO₂ improved regardless of frequency (2-5 d/wk). Therefore, to obtain HIT-related peak VO₂ improvements, training frequency should be at least 3 sessions/wk for patients with HF and at least 2 sessions/wk for patients with CAD. The differences between diseases may be related to the cardiac muscle injury of HF patients, requiring a greater training frequency to obtain similar improvements compared with patients with CAD who did not have problems with the cardiac muscle.³⁷

Our systematic review and meta-analysis results indicate that peak VO₂ significantly increased ($P < .00001$) after HIT in patients with CAD regardless of the duration of the program. Nevertheless, there were significant differences between the protocol durations of > 12 and ≤ 12 weeks ($P = .05$). However, for patients with HF, even though the programs > 12 weeks did not produce significant

Document downloaded from <http://www.revespcardiol.org/>, day 29/03/2020. This copy is for personal use. Any transmission of this document by any media or format is strictly prohibited.

240

I. Ballesta García et al./Rev Esp Cardiol. 2019;72(3):233-243

Table 5
Subgroup Analyses Assessing Potential Moderating Factors for VO₂ Peak Increase in Studies on HF Disease Included in the Meta-analysis by Exercise Characteristics

Group	HIT groups	References	MD (95%CI)	Peak VO ₂		P-difference ^b
				I ²	P ^a	
Number of sessions						
≥ 36 sessions	8	Chrysohoou et al., ⁶ Dimopoulos et al., ²⁷ Freyssin et al., ⁸ Fu et al., ¹⁶ Huang et al., ¹⁹ Isaksen et al., ¹⁷ Koufaki et al., ³⁰ Smart et al., ³³	2.69 (1.78-3.60)	56	< .00001	.26
< 36 sessions	2	Benda et al., ²⁴ Roditis et al. ⁷	1.24 (-1.12-3.61)	0	< .00001	
Duration						
> 12 wks	2	Koufaki et al., ³⁰ Smart et al. ³³	2.45 (-0.48-5.37)	0	.1	.96
≤ 12 wks	8	Benda et al., ²⁴ Chrysohoou et al., ⁶ Dimopoulos et al., ²⁷ Freyssin et al., ⁸ Fu et al., ¹⁶ Huang et al., ¹⁹ Isaksen et al., ¹⁷ Roditis et al. ⁷	2.53 (1.62-3.44)	59	< .00001	
HIT frequency						
≥ 5 d/wk	1	Freyssin ⁸	2.90 (0.61-5.19)	—	.01	.77
3 or 4 d/wk	8	Chrysohoou et al., ⁶ Dimopoulos et al., ²⁷ Fu et al., ¹⁶ Huang et al., ¹⁹ Isaksen et al., ¹⁷ Koufaki et al., ³⁰ Roditis et al., ⁷ Smart et al. ³³	2.55 (1.59-3.50)	58	< .00001	
≤ 2 d/wk	1	Benda et al. ²⁴	1.30 (-2.38-4.98)	—	.49	
Session duration						
> 42 min	4	Chrysohoou et al., ⁶ Freyssin et al., ⁸ Koufaki et al., ³⁰ Smart et al. ³³	3.44 (1.95-4.94)	0	< .00001	.19
≤ 42 min	5	Benda et al., ²⁴ Fu et al., ¹⁶ Huang et al., ¹⁹ Isaksen et al., ¹⁷ Roditis et al. ⁷	2.23 (1.23-3.23)	62	< .00001	
Interval work						
> 45 sec	5	Benda et al., ²⁴ Fu et al., ¹⁶ Huang et al., ¹⁹ Isaksen et al., ¹⁷ Smart et al. ³³	2.53 (1.50-3.55)	34	.002	1.00
≤ 45 sec	5	Chrysohoou et al., ⁶ Dimopoulos et al., ²⁷ Freyssin et al., ⁸ Koufaki et al., ³⁰ Roditis et al. ⁷	2.52 (0.89-4.15)	63	< .00001	
Interval recovery						
> 1 min	4	Benda et al., ²⁴ Fu et al., ¹⁶ Huang et al., ¹⁹ Isaksen et al., ¹⁷	2.46 (1.35-3.58)	73	< .00001	.84
≤ 1 min	6	Chrysohoou et al., ⁶ Dimopoulos et al., ²⁷ Freyssin et al., ⁸ Koufaki et al., ³⁰ Roditis et al., ⁷ Smart et al. ³³	2.65 (1.27-4.03)	12	.0002	
HIT protocol						
HIT_L	4	Fu et al., ¹⁶ Huang et al., ¹⁹ Isaksen et al., ¹⁷ Roditis et al. ⁷	2.45 (1.22-3.69)	7	< .00001	.87
HIT_S	6	Benda et al., ²⁴ Chrysohoou et al., ⁶ Dimopoulos et al., ²⁷ Freyssin et al., ⁸ Koufaki et al., ³⁰ Smart et al. ³³	2.60 (1.37-3.82)	81	< .00001	
Type of recovery						
Active (≥ 20%)	7	Benda et al., ²⁴ Freyssin et al., ⁸ Fu et al., ¹⁶ Huang et al., ¹⁹ Isaksen et al., ¹⁷ Koufaki et al., ³⁰ Roditis et al. ⁷	2.51 (1.68-3.33)	49	< .00001	.91
Passive (< 20%)	3	Chrysohoou et al., ⁶ Dimopoulos et al., ²⁷ Smart et al. ³³	2.70 (-0.38-5.78)	60	.09	
Active recovery intensity						
≥ 40%	5	Freyssin et al., ⁸ Fu et al., ¹⁶ Huang et al., ¹⁹ Isaksen et al., ¹⁷ Roditis et al. ⁷	2.60 (1.68-3.51)	58	< .00001	.59
< 40%	2	Benda et al., ²⁴ Koufaki et al. ³⁰	1.81 (-0.88-4.50)	0	.19	
R (W/R)						
≥ 1	6	Chrysohoou et al., ⁶ Dimopoulos et al., ²⁷ Fu et al., ¹⁶ Huang et al., ¹⁹ Isaksen et al., ¹⁷ Roditis et al. ⁷	2.53 (1.45-3.62)	70	< .00001	.94
< 1	4	Benda et al., ²⁴ Freyssin et al., ⁸ Koufaki et al., ³⁰ Smart et al. ³³	2.45 (0.83-4.07)	0	< .00001	

HF, heart failure; HIT, high-intensity interval training groups; HIT_L, protocol of HIT with long work interval; HIT_S, protocol of HIT with short work interval; I², heterogeneity; MD, mean difference; peak VO₂, peak oxygen uptake; R (W/R), work-recovery ratio.

Certain studies were not included because they did not report the value used for subgroup analysis.

^a Test for overall effect.^b Test for subgroup differences.

improvements in peak VO₂ ($P = .1$), there were improvements with protocols ≤ 12 weeks ($P = .00001$), although there were no significant differences between them ($P = .96$). This finding suggests that, in both diseases, the exponential improvements in peak VO₂ were produced in the first 12 weeks, when the HIT protocol was more effective. These results were probably due to the nonincremental workload included in the design of their training session, which failed to adhere to the principle of progression.⁴⁰ This is explained by the fact that when a series of effective stimuli is applied, the organism generates adaptations,

such as an increase in the muscle cross-sectional area, adaptations of energy reserves, or increased synchronization of motor units. The unchanging variability of these stimuli were therefore no longer sufficient to generate heterostasis. Thus, a coherent and progressive increase of workloads is required.⁴¹

Likewise, there were no statistical differences between patients with CAD or HF in the number of sessions (≥ 36 sessions^{6,8,11,13,16-19,21,27,30,33,34} and < 36 sessions^{7,9,15,24,31,32} [18-156 sessions for CAD patients and 18-72 sessions for HF patients]) and session duration (≥ 28 minutes^{11,13,15,18,21,31,32} and < 28 minutes⁹ for

Document downloaded from <http://www.revespcardiol.org/>, day 29/03/2020. This copy is for personal use. Any transmission of this document by any media or format is strictly prohibited.

I. Ballesta García et al./Rev Esp Cardiol. 2019;72(3):233-243

241

Table 6
Subgroup Analyses Assessing Potential Moderating Factors for VO₂ Peak Increase in Studies on CAD Disease Included in the Meta-analysis by Exercise Characteristics

Group	HIT groups	References	Peak VO ₂			
			MD (95%CI)	I ²	P ^a	P-difference ^b
<i>Number of sessions</i>						
≥ 36 sessions	5	Cardozo et al., ¹¹ Conraads et al., ¹⁸ Madssen et al., ¹³ Moholdt et al., ²¹ Warburton et al., ³⁴	3.57 (1.86-5.28)	0	< .00001	.6
< 36 sessions	4	Currie et al., ⁹ Kim et al., ¹⁵ Moholdt et al., ²¹ Rognmo et al., ³²	4.25 (2.35-6.14)	35	< .00001	
<i>Duration</i>						
> 12 ws	3	Cardozo et al., ¹¹ Madssen et al., ¹³ Warburton et al., ³⁴	2.45 (0.62-4.29)	0	.009	.05
≤ 12 ws	6	Conraads et al., ¹⁸ Currie et al., ⁹ Kim, et al., ¹⁵ Moholdt et al., ³¹ Moholdt et al., ²¹ Rognmo et al., ³²	4.70 (3.44-5.96)	0	< .00001	
<i>HIT frequency</i>						
≥ 5 d/wk	1	Moholdt et al., ³¹	3.30 (0.67-5.93)	—	.01	.82
3 or 4 d/wk	7	Cardozo et al., ¹¹ Conraads et al., ¹⁸ Rognmo et al., ³² Warburton et al., ³⁴ Kim et al., ¹⁵ Madssen et al., ¹³ Moholdt et al., ²¹	3.91 (2.48-5.33)	16	< .00001	
≤ 2 d/wk	1	Currie et al., ⁹	4.70 (1.26-8.14)	—	.007	
<i>Session duration</i>						
≥ 28 min	7	Cardozo et al., ¹¹ Conraads et al., ¹⁸ Kim et al., ¹⁵ Madssen et al., ¹³ Moholdt et al., ³¹ Moholdt et al., ²¹ Rognmo et al., ³²	3.87 (2.71-5.02)	6	< .00001	.65
< 28 min	1	Currie et al., ⁹	4.70 (1.26-8.14)	—	.007	
<i>Interval work</i>						
≥ 4 min	7	Cardozo et al., ¹¹ Conraads et al., ¹⁸ Kim et al., ¹⁵ Madssen et al., ¹³ Moholdt et al., ³¹ Moholdt et al., ²¹ Rognmo et al., ³²	3.90 (2.59-5.22)	16	< .00001	.99
< 4 min	2	Currie et al., ⁹ Warburton et al., ³⁴	3.92 (1.28-6.55)	0	.004	
<i>Interval recovery</i>						
≥ 3 min	8	Cardozo et al., ¹¹ Conraads et al., ¹⁸ Kim et al., ¹⁵ Madssen et al., ¹³ Moholdt et al., ³¹ Moholdt et al., ²¹ Rognmo et al., ³² Warburton et al., ³⁴	3.87 (2.71-5.02)	6	< .00001	.65
< 3 min	1	Currie et al., ⁹	4.70 (1.26-8.14)	—	.007	
<i>HIT Protocol</i>						
HIT-L	7	Cardozo et al., ¹¹ Conraads et al., ¹⁸ Kim et al., ¹⁵ Madssen et al., ¹³ Moholdt et al., ³¹ Moholdt et al., ²¹ Rognmo et al., ³²	3.90 (2.59-5.22)	16	< .00001	.99
HIT-S	2	Currie et al., ⁹ Warburton et al., ³⁴	3.92 (1.28-6.55)	0	.004	
<i>Type of recovery</i>						
Active (≥20%)	8	Cardozo et al., ¹¹ Conraads et al., ¹⁸ Rognmo et al., ³² Warburton et al., ³⁴ Kim et al., ¹⁵ Moholdt et al., ²¹ Madssen et al., ¹³ Moholdt et al., ²¹	3.87 (2.71-5.02)	6	< .00001	.65
Passive (<20%)	1	Currie et al., ⁹	4.70 (1.26-8.14)	—	.007	
<i>Active recovery intensity</i>						
≥ 65%	4	Cardozo et al., ¹¹ Conraads et al., ¹⁸ Moholdt et al., ³¹ Moholdt et al., ²¹	4.44 (3.24-5.63)		< .00001	.27
< 65%	4	Kim et al., ¹⁵ Madssen et al., ¹³ Rognmo et al., ³² Warburton et al., ³⁴	2.86 (0.32-5.41)			
<i>R (W/R)</i>						
≥ 1.33	7	Cardozo et al., ¹¹ Conraads et al., ¹⁸ Kim et al., ¹⁵ Madssen et al., ¹³ Moholdt et al., ³¹ Moholdt et al., ²¹ Rognmo et al., ³²	3.87 (2.71-5.02)	6	< .00001	.65
< 1.33	2	Currie et al., ⁹ Warburton et al., ³⁴	4.70 (1.26-8.14)	—	.007	

CAD, coronary artery disease; HIT, high-intensity interval training groups; HIT_L, protocol of HIT with long work interval; HIT_S, protocol of HIT with short work interval; I², heterogeneity; MD, mean difference; peak VO₂: peak oxygen uptake; R (W/R), work-recovery ratio.

Certain studies were not included because they did not report the value used for subgroup analysis.

^a Test for overall effect.^b Test for subgroup differences.**Table 7**
Recommendations on HIT Protocol for HF and CAD Patients

Disease	Frequency, d-wk	Duration program, wks	Session duration, min	Intensity of recovery, peak VO ₂ , %	Ratio, work/recovery
HF	≥ 3 (2-5)	≥ 6 (6-24)	30-60 (28-60)	≥ 40% (40-70%)	≥ 1.33 (0.66-1.33)
CAD	≥ 2 (2-5)	≥ 6 (4-52)	30-60 (28-60)	≥ 40% (0-70%)	≥ 1 (0.5-1.33)

CAD, coronary artery disease; HF, heart failure; HIT, high-intensity interval training groups; peak VO₂: peak oxygen uptake.

patients with CAD [20–28 minutes] and > 42 minutes^{6,8,30,33} and ≤ 42 minutes^{7,16,17,19,24} for patients with HF [28–69 minutes]). These results implied that HIT interventions should not necessarily be composed of a high number of sessions or long session durations to achieve an improvement in peak VO₂ of patients with CAD or HF. The minimum frequency of training needed to produce significant adaptations in peak VO₂ was 6 weeks for both CAD¹⁸ and HF^{6,16,19} patients. These results, together with those obtained in this meta-analysis, suggest that the maximum benefits in peak VO₂ would be obtained between weeks 6 and 12. There is therefore a need to accomplish an adequate training period to perceive the effects produced in peak VO₂ by long-term training protocols. For this reason, it is important to optimize training through adherence to the general principles of training.

In relation to the HIT protocol, this meta-analysis confirms the results that both HIT protocols with short work intervals and protocol of HIT with long work intervals produce significant improvements in peak VO₂ in patients with CAD^{9,14,18} and in patients with HF.^{6,8,16,19} Likewise, no significant differences were found between performing an HIT protocol with short work interval or long work interval in either disease. These results may be due to the improvements in peak VO₂ of cardiovascular diseases being more closely related to the intensity rather than to the duration of the HIT protocol.⁵ This is because intensity is the parameter that produces greater adaptations in the cardiovascular system such as an increase in muscle cross-sectional area, adaptations of energy reserves, or increased synchronization of motor units.^{33,34} Therefore, the type of protocol is not as important in the peak VO₂ improvement as the training intensity and frequency, for CAD and HF patients.

According to our meta-analysis, HIT improved peak VO₂ in patients with CAD or HF, although there were statistically significant differences between these diseases with a greater improvement in patients with HF ($P = .03$). These results may be due to the initial differences in peak VO₂ (16.2–31.8 mL/kg/min⁻¹ in CAD patients and 10.7–19.1 mL/kg/min⁻¹ in HF patients), derived from the fact that HF patients have impaired cardiac function and the cardiac muscle was not able to pump enough blood to supply the tissues.³² However, CAD patients saw a lesser impact on their peak VO₂, as they probably had better myocardial contractility, particularly if they had undergone coronary intervention.⁴²

As has been previously suggested, this should allow the possibility of a higher increase in cardiac output because of a higher systolic volume, resulting in a greater increase in left ventricular ejection fraction in HF patients due to their having a lower threshold of adaptation to the stimulus.⁷ Similarly, this improvement could be caused by a larger relative increase in exercise-induced vasodilation, hemoglobin, the skeletal muscle oxidative capacity,^{5,8,18} or by the sum of all these factors.

Although it was not an objective of this study, there are studies that compare the effects on peak VO₂ between HIT and continuous training. Although most studies have suggested that HIT is superior to continuous exercise,^{15,16,21,23,43} some studies have reported that HIT was not superior to continuous exercise programs in relation to peak VO₂ in the 2 diseases.^{5,7,9,17–20,44,45}

The present study makes an important contribution to the understanding of the effectiveness of HIT training programs in heart diseases. Thus, this study provides evidence for the potential applicability of HIT training programs as part of the treatments used for CAD and HF.

Practical Application

The results of this study indicate that HIT positively affects peak VO₂ in people with HF or CAD, providing greater advantages in HF

patients. These findings could be used by physicians, physical conditioning trainers and heart rehabilitation teams to develop specific training programs in order to optimize the functioning of the patient's heart. However, other variables have to be taken into account, such as age, training frequency, the duration of program, and the type of recovery. The HIT program should therefore be adapted to the individual characteristics of each patient. The recommended dosage for each disease is shown in Table 7.

Limitations

The main limitations of this study are as follow: a) the randomized controlled trials did not use the same methods to control the intensity of the training sessions; b) the protocols and the age of the participants were widely heterogeneous; c) most of the included studies had a sample with few patients; and d) in HIT protocols, one aspect is the design and another the intensity that patients are capable of achieving. Therefore, the possibility that a patient has not been able to accomplish the planned intensities should be considered.

CONCLUSIONS

The results of this study show that HIT is an effective method for the treatment of HF and CAD by improving peak VO₂, with the increase being significantly higher in HF patients. To optimize these benefits, recovery intervals should be active at intensities between 40% to 60% of peak VO₂ for HF patients, and the frequency should be ≥ 2 d/wk for CAD patients and ≥ 3 d/wk for HF patients. This study opens a new line of research that could be used to optimize high-quality exercise training protocols in an effort to develop the most effective and efficient method for the treatment of heart disease and other diseases.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank all authors of the original works cited in the present study, who readily assisted us by either sharing their manuscripts or providing additional data required for this meta-analysis.

CONFLICTS OF INTEREST

None declared.

WHAT IS KNOWN ABOUT THE TOPIC?

- The HIT produces positive cardiovascular adaptations in HF and CAD patients.
- The HIT improves peak VO₂ in HF and CAD patients.

WHAT DOES THIS STUDY ADD?

- The HIT is more effective in improving peak VO₂ in HF patients than in CAD patients.
- To obtain improvements in peak VO₂ through HIT, ≥ 3 sessions per week for at least 6 weeks are needed for HF patients, and ≥ 2 sessions per week for at least 6 weeks for CAD patients.
- Active recovery at intensities between 40% to 60% of peak VO₂ should be used to improve peak VO₂ in HF patients.


REFERENCES

- World Health Organization. Cardiovascular diseases 2016. Available at: www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/es/. Accessed 22 Sep 2016.
- World Health Organization. The top 10 causes of death 2017. Available at: www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/en/. Accessed 29 May 17.
- Ferreira-González I. The epidemiology of coronary heart disease. *Rev Esp Cardiol*. 2014;67:139–144.
- Sayago-Silva I, García-López F, Segovia-Cubero J. Epidemiology of Heart Failure in Spain Over the Last 20 Years. *Rev Esp Cardiol*. 2013;66:649–656.
- Wisloff U, Støylen A, Loennechen JP, et al. Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. *Circulation*. 2007;115:3086–3094.
- Chrysohou C, Angelis A, Tsietsinakis G, et al. Cardiovascular effect of high-intensity interval aerobic training combined with strength exercise in patients with chronic heart failure. A randomized phase III clinical trial. *Int J Cardiol*. 2015;179:269–274.
- Roditis P, Dimopoulos S, Sakellariou D, et al. The effects of exercise training on the kinetics of oxygen uptake in patients with chronic heart failure. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*. 2007;14:304–311.
- Freyssin C, Verkindt C, Prieur F, Benaich P, Maunier S, Blanc P. Cardiac rehabilitation in chronic heart failure: effect of an 8-week, high-intensity interval training versus continuous training. *Arch Phys Med Rehabil*. 2012;93:1359–1364.
- Currie KD, Dubberley JB, McKelvie RS, MacDonald MJ. Low-volume, high-intensity interval training in patients with CAD. *Med Sci Sports Exerc*. 2013;45:1436–1442.
- Guiraud T, Juneau M, Nigam A, et al. Optimization of high intensity interval exercise in coronary heart disease. *Eur J Appl Physiol*. 2010;108:733–740.
- Cardozo CG, Oliveira RB, Farinatti PT. Effects of high intensity versus moderate continuous training on markers of ventilatory and cardiac efficiency in coronary heart disease patients. *ScientificWorldJournal*. 2015;2015:192479.
- Amundsen BH, Rognum Ø, Hatlen-Rebhan G, Slødahl SA. High-intensity aerobic exercise improves diastolic function in coronary artery disease. *Scand Cardiovasc J*. 2008;42:110–117.
- Madssen E, Arbo I, Granøien I, Walderhaug L, Moholdt T. Peak oxygen uptake after cardiac rehabilitation: a randomized controlled trial of a 12-month maintenance program versus usual care. *PLoS One*. 2014;9:1–8.
- Moholdt T, Madssen E, Rognum Ø, Aamot IL. The higher the better? *Interval training intensity in coronary heart disease J Sci Med Sports Med Aust*. 2014;17:506–510.
- Kim C, Choi HE, Lim MH. Effect of High Interval Training in Acute Myocardial Infarction Patients with Drug-Eluting Stent. *Am J Phys Med Rehabil Assoc Acad Physiatr*. 2015;94:879–886.
- Fu T-C, Wang C-H, Lin P-S, et al. Aerobic interval training improves oxygen uptake efficiency by enhancing cerebral and muscular hemodynamics in patients with heart failure. *Int J Cardiol*. 2013;167:41–50.
- Isaksen K, Munk PS, Valborgland T, Larsen AL. Aerobic interval training in patients with heart failure and an implantable cardioverter defibrillator: a controlled study evaluating feasibility and effect. *Eur J Prev Cardiol*. 2015;22:296–303.
- Conraads VM, Pattyn N, De Maeyer C, et al. Aerobic interval training and continuous training equally improve aerobic exercise capacity in patients with coronary artery disease: the SAINTEX-CAD study. *Int J Cardiol*. 2015;179:203–210.
- Huang S-C, Wong M-K, Lin P-J, et al. Modified high-intensity interval training increases peak cardiac power output in patients with heart failure. *Eur J Appl Physiol*. 2014;114:1853–1862.
- Iellamo F, Manzi V, Caminiti G, et al. Marched dose interval and continuous exercise training induce similar cardiorespiratory and metabolic adaptations in patients with heart failure. *Int J Cardiol*. 2013;167:2561–2565.
- Moholdt T, Aamot IL, Granøien I, et al. Aerobic interval training increases peak oxygen uptake more than usual care exercise training in myocardial infarction patients: a randomized controlled study. *Clin Rehabil*. 2012;26:33–44.
- Iellamo F, Caminiti G, Sposato B, et al. Effect of High-Intensity interval training versus moderate continuous training on 24-h blood pressure profile and insulin resistance in patients with chronic heart failure. *Intern Emerg Med*. 2014;9:547–552.
- Keteyian SJ, Hibner BA, Bronstein K, et al. Greater improvement in cardiorespiratory fitness using high-intensity interval training in the standar cardiac rehabilitation setting. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2014;34:98–105.
- Benda NM, Seeger JP, Stevens GG, et al. Effects of High-intensity Interval Training versus Continuous Training on Physical Fitness, Cardiovascular Function and Quality of Life in Heart Failure Patients. *PLoS One*. 2015;10:1–16.
- Rognmo Ø, Moholdt T, Bakken H, et al. Cardiovascular Risk of High- Versus Moderate-Intensity Aerobic Exercise in Coronary Heart Disease Patients. *Circulation*. 2012;126:1436–1440.
- Dupont G, Moalla W, Guinhoya C, Ahmadi S, Berthoin S. Passive versus active recovery during high-intensity intermittent exercises. *Med Sci Sports Exerc*. 2004;36:302–308.
- Dimopoulos S, Anastasiou-Nana M, Sakellariou D, et al. Effects of exercise rehabilitation program on heart rate recovery in patients with chronic heart failure. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*. 2006;13:67–73.
- Urrutia G, Bonfill X. PRISMA declaration: a proposal to improve the publication of systematic reviews and meta-analyses. *Med Clin (Barc)*. 2010;135:507–511.
- Review Manager (RevMan) [Computer program]. Version 5.2. Copenhagen: The Nordic Cochrane Centre, The Cochrane Collaboration; 2011. Available at: <http://community.cochrane.org/tools/review-production-tools/revman-5>. Accessed 19 Feb 2018.
- Koufaki P, Mercer TH, George KP, Nolan J. Low-volume high-intensity interval training vs continuous aerobic cycling in patients with chronic heart failure: a pragmatic randomised clinical trial of feasibility and effectiveness. *J Rehabil Med*. 2014;46:348–356.
- Moholdt TT, Amundsen BH, Rustad LA, et al. Aerobic interval training versus continuous moderate exercise after coronary artery bypass surgery: a randomized study of cardiovascular effects and quality of life. *Am Heart J*. 2009;158:1031–1037.
- Rognmo Ø, Hetland E, Helgerud J, Hoff J, Slødahl SA. High intensity aerobic interval exercise is superior to moderate intensity exercise for increasing aerobic capacity in patients with coronary artery disease. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*. 2004;11:216–222.
- Smart NA, Dieberg G, Giallauria F. Intermittent versus continuous exercise training in chronic heart failure: a meta-analysis. *Int J Cardiol*. 2013;166:352–358.
- Warburton DE, McKenzie DC, Haykowsky MJ, et al. Effectiveness of high-intensity interval training for the rehabilitation of patients with coronary artery disease. *Am J Cardiol*. 2005;95:1080–1084.
- Strait JB, Lakatta EG. Aging-associated cardiovascular changes and their relationship to heart failure. *Heart Fail Clin*. 2012;8:143–164.
- Nakazato R, Arsanjani R, Achenbach S, et al. Age-related risk of major adverse cardiac event risk and coronary artery disease extent and severity by coronary CT angiography: results from 15 187 patients from the International Multisite CONFIRM Study. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2014;15:586–594.
- Guiraud T, Nigam A, Gremeaux V, Meyer P, Juneau M, Bosquet L. High-intensity interval training in cardiac rehabilitation. *Sports Med Auckl NZ*. 2012;42:587–605.
- Gerber T. *The metabolic responses of high intensity intermittent exercise in healthy untrained adults*. Victoria University; 2013. Available at: <http://vuir.vu.edu.au/25066/>. Accessed 2 Feb 2017
- Purek L, Laule-Kilian K, Christ A, et al. Coronary artery disease and outcome in acute congestive heart failure. *Heart*. 2006;92:598–602.
- Heisz JJ, Tejada MG, Paolucci EM, Muir C. Disfrute por el Ejercicio de Intervalos de Alta Intensidad Aumenta Durante las Primeras Seis Semanas de Entrenamiento: Implicancias Para Promover la Adhesión del Ejercicio en Adultos Sedentarios. *PubliCE Prem*. Available at: <https://g-se.com/disfrute-por-el-ejercicio-de-intervalos-de-alta-intensidad-aumenta-durante-las-primeras-seis-semanas-de-entrenamiento-implicancias-para-promover-la-adhesion-del-ejercicio-en-adultos-sedentarios-2237-sa-v58935b9780e91>. Accessed 2 Feb 2017.
- García-Manso JM, Navarro M, Ruiz JA. *Planificación del entrenamiento deportivo*. Madrid: Gymnos; 1996.
- Segovia Cubero J, Alonso-Pulpón Rivera L, Peraira Moral R, Silva Melchor L. Heart Failure: Etiology and Approach to Diagnosis. *Rev Esp Cardiol*. 2004;57:250–259.
- Liou K, Ho S, Fildes J, Ooi SY. High intensity interval versus Moderate intensity continuous training in patients with Coronary Artery Disease: A meta-analysis of physiological and clinical parameters. *Heart Lung Circ*. 2016;25:166–174.
- Tschentscher M, Eichinger J, Egger A, Droese S, Schönfelder M, Niebauer J. High-intensity interval training is not superior to other forms of endurance training during cardiac rehabilitation. *Eur J Prev Cardiol*. 2016;23:14–20.
- Ellingsen Ø, Halle M, Conraads V, et al. High intensity interval training is Heart Failure patients with reduced ejection fraction. *Circulation*. 2017;135:839–849.



Article

High-Intensity Interval Circuit Training Versus Moderate-Intensity Continuous Training on Functional Ability and Body Mass Index in Middle-Aged and Older Women: A Randomized Controlled Trial

Ismael Ballesta-García ¹, Ignacio Martínez-González-Moro ^{1,2}, Jacobo Á. Rubio-Arias ³  and María Carrasco-Poyatos ^{4,*}

¹ Physical Exercise and Human Performance Research Group, Universidad de Murcia, 30002 Murcia, Spain; Ismael.b.g@um.es (I.B.-G.); igmartgm@um.es (I.M.-G.-M.)

² Department of Physiotherapy, Universidad de Murcia, 30002 Murcia, Spain

³ Department of Physical Activity and Sport Sciences, UCAM Research Centre for High Performance Sport. Department of Health and Human Performance, Universidad Politécnica de Madrid (UPM), 28040 Madrid, Spain; jararias@ucam.edu

⁴ Department of Education, Health and Public Administration Research Center, Universidad de Almería, 04120 Almería, Spain

* Correspondence: carrasco@ual.es; Tel.: +34-950-284-773

Received: 25 September 2019; Accepted: 29 October 2019; Published: 30 October 2019



Abstract: The literature suggests that high-intensity interval training (HIIT) is more effective than moderate-intensity continuous training (MICT) to improve functional ability. However, there is no evidence on including HIIT in a circuit programme (HIICT). Our objective was to determine what type of training (HIICT or MICT) induces greater adaptations in the functional ability and body mass index of middle-aged and older women. The study used a quasi-experimental randomized controlled trial with 54 participants (age = 67.8 ± 6.2 years). Participants were randomly allocated to HIICT ($n = 18$), MICT ($n = 18$) or a non-exercise control group (CG; $n = 18$). The participants in the HIICT or MICT groups trained twice a week (1 h/session) for 18 weeks. Forty-one subjects were analysed (HIICT; $n = 17$, MICT; $n = 12$, CG; $n = 12$). Five subjects presented adverse events during the study. Strength, gait, cardiorespiratory fitness, balance and body mass index were measured. A significant training × group interaction was found in the arm curl test, where HIICT was statistically better than MICT and CG. Likewise, HIICT was statistically better than the CG in the BMI interaction. In lower limb strength, gait/dynamic balance and cardiorespiratory fitness, both HIICT and MICT were statistically better than the CG. In conclusion, HIICT generated better adaptations in upper limb strength than MICT. Likewise, HIICT generated better adaptations in body mass index than CG. Finally, both HIICT and MICT had a similar influence on strength, cardiorespiratory fitness and gait/dynamic balance.

Keywords: high-intensity interval training; circuit training; older; middle-aged; women; functional ability

1. Introduction

The world population aged over 65 years has increased considerably in recent years [1]. Due to hormonal changes (i.e., menopause), the effect of ageing in women is resulting in chronic diseases, functional dependence, the prevalence of sarcopenia and frailty and the risk of falls and injuries,

increasing the risk of hospitalization and mortality [2–6]. This generates significant economic cost for health systems to prevent or treat age-related chronic diseases and dependency situations [1].

Recently, physical exercise has become relevant for the maintenance of health and functional ability in middle-aged and older women [4,7,8], functional ability being understood as the capacity to carry out activities of daily living [9]. This has been evidenced in recent studies indicating that maintaining high levels of strength, balance, gait and cardiorespiratory fitness are the main objectives for the optimal achievement of the basic and instrumental daily living activities for middle-aged and older women, as well as to delay the onset of sarcopenia and frailty [3,4,7,10]. Similarly, physical exercise also helps maintain healthy body mass index (BMI) values, which is an important factor in their relationship to chronic diseases that cause dependence in older women populations [11].

For these reasons, governments and the healthcare system are implementing physical exercise programmes for middle-aged and older people at day centres [12]. As the training sessions are usually in groups, circuit training is one of the most common types of training [13–15]. Circuit training consists of performing a series of exercises for all muscle groups, allowing strength and cardiorespiratory fitness to be influenced simultaneously [16,17]. Body weight-based circuit training can be considered a functional training method because they are based on the imitation of daily living activities in which only body weight is used (i.e., body weight squats and lunges).

Some research involving the elderly has shown that moderate-intensity circuit training (MICT) has positive effects on strength, cardiorespiratory fitness, balance, body composition and quality of life [18–22]. Furthermore, during recent years a new type of training called high-intensity interval training (HIIT) has been included as an alternative method of training in healthy people and as part of the treatment of pathologies, especially in cardiac rehabilitation programmes [23–25]. HIIT consists of intermittent short high-intensity work periods (85–100% of maximal oxygen uptake) and relative rest periods [26]. Some research has shown strong evidence that HIIT is an effective method for improving maximal oxygen uptake [23], strength [27,28], cardiorespiratory fitness [27,29], gait [27,30] and body composition [31] in older people with pathologies. In fact, there is a trend that indicates that health indices and markers are more favourable after HIIT than after MICT [26]. Otherwise, this is still not clear regarding other functional parameters [32–34].

However, although the benefits of HIIT are known, there is little evidence on including HIIT methodology in circuit training (HIICT) in healthy middle-aged and older women. In this sense, HIICT is an alternative form of training for improving physical condition and performance in daily living activities due to integrated multiplanar-based movements (squatting, pulling, etc.) performed at maximal speed, which makes it very functional and with high transfer in older adults [14,35].

For these reasons, the main objective of the present study was to determine what type of training (HIICT or MICT) induces greater adaptations in the functional ability and BMI of middle-aged and older women. Based on the previous research, our hypothesis was that HIICT would significantly improve the strength, gait, cardiorespiratory fitness, static and dynamic balance and BMI in middle-aged and older women. In addition, it was hypothesized that HIICT would induce greater adaptations in these variables than MICT.

2. Materials and Methods

2.1. Design

This was an 18-week quasi-experimental randomized controlled trial in which independent older women were assigned to an HIICT group ($n = 18$), an MICT group ($n = 18$) or a no-exercise control group (CG; $n = 18$). The trial design followed CONSORT guidelines and was approved by the University of Almería Bioethics Committee (UALBIO2019/006). The study was registered prospectively with ClinicalTrials.gov (NCT03840330).

2.2. Participants

A total of 90 older women (67.8 ± 6.2 years) were invited to participate in the study. Recruitment was from September to December of 2017 from elderly day care centres in Murcia (Spain). A general medical evaluation was performed to ensure the women were physically and mentally able to participate in the exercise programmes. The inclusion criteria were: 55–85-year-old women who were physically able to develop the activities of daily living according to the scales of Lawton and Brody [36] and Katz [37], with no positive answers in the physical activity readiness questionnaire or with a positive answer in Item 6, in order to include women with controlled hypertension and without cardiac, respiratory or joint diseases that could interfere in carrying out the exercise programmes. The exclusion criteria were: Women who were currently participating or had previously participated in a similar exercise programme in the past three months and women with uncontrolled hypertension. The participants also had to maintain at least 80% compliance with the exercise session. All participants signed a consent form before the beginning of the study and the data were collected at the daycare centres.

2.3. Interventions

The participants allocated to HIICT or MICT were required to train twice a week (1 h per session) for 18 weeks from January to May 2018. The women assigned to CG were encouraged to maintain their normal physical activity habits. The HIICT and MICT exercise programmes were conducted by the same accredited exercise expert who was certified in therapeutic physical activity.

The programmes were divided into a 2-week familiarization period and four 4-week mesocycles that were designed to be progressively more challenging. The sessions were given in three phases: (1) the warm-up, (2) the HIICT or MICT exercise programmes and (3) the cool-down. Both the MICT and HIICT were focused on the same movements of the lower limbs, combined with the movements of the upper limbs with or without external load. However, MICT involved moderate speeds, with the objective of working at 9–14 points of rating of perceived exertion (RPE) and HIICT involved high speeds with the aim of working at 14–18 point of RPE. An example of the training and exercise progression implemented is given in Tables 1 and 2, respectively.

Table 1. Training progression for HIICT and MICT group.

Mesocycle	Group	Volume (min)	Work Effect (min)	Intensity (p)	Density (w/r)
Mesocycle 1 (weeks 3–6)	HIICT	18–32 (6–8 intervals)	6–12	W: 14–15 Börg R: 7–8 Börg	0.5–1
	MICT	18–32	18–32	9–12 Börg	1
Mesocycle 2 (weeks 7–10)	HIICT	32–40 (9–10 intervals)	12–15	W: 15–16 Börg R: 7–8 Börg	0.5–0.6
	MICT	32–40	32–42	9–12 Börg	1
Mesocycle 3 (weeks 11–14)	HIICT	40 (8–10 intervals)	10–15	W: 16–18 Börg R: 9–10 Börg	0.6
	MICT	40	40	11–13 Börg	1
Mesocycle 4 (weeks 15–18)	HIICT	28–40 (8–12 intervals)	15–18	W: 16–18 Börg R: 10–11 Börg	0.6–0.75
	MICT	40–50	40–50	12–14 Börg	1

HIICT—High-Intensity Interval Circuit Training; MICT—Moderate-Intensity Circuit Training; Börg—Börg Scale of perceived exertion; p—points in Börg Scale; W/r—work/rest ratio.

Intensity was controlled using the Börg scale of perceived exertion. This scale establishes a numerical code ranging from 6 to 20 points, where 6 is “very, very light” and 20 is “maximal exertion”, to determine the level of effort and intensity of the exercise during a training session [7]. The first 2 weeks of the study were used to familiarize the participants with the scale. During these familiarization sessions, heart rate monitors were used to associate fatigue with the RPE values. From the first

mesocycle, in order to control that the participant worked at the established intensity, they were asked what their RPE were. This question was asked after each block of work and rest in HIICT and every 5 min in MICT. In the MICT group, the sessions began at a moderate intensity (6 or 7 points) and finished at a moderate-to-vigorous intensity (12–14 points). In the HIICT group, 6–12 intervals of moderate-to-vigorous intensity (12–14 points) and high intensity (16–18 points) were rotated in each session. In addition, the duration of the work intervals was 1–1.5 min and the duration of the rest intervals was 2–2.5 min.

Table 2. Exercise examples for HIICT and MICT groups in each mesocycle.

Mesocycle	HIICT	MICT
Mesocycle 1 (weeks 3–6)	work: grapevine; squat; step-touch; side step; swinging rest: gait; mambo cha-cha-cha	grapevine; squat; gait; step-touch; side step; mambo cha-cha-cha; swinging
Mesocycle 2 (weeks 7–10)	work: grapevine with shoulder and elbow flexion; step-touch with shoulder and elbow flexion; knee-up; chasse; squats with shoulder-up rest: gait; jogging	grapevine with shoulder and elbow flexion; step-touch with shoulder and elbow flexion; gait; knee-up; chasse; squats with shoulder-up; jogging
Mesocycle 3 (weeks 11–14)	work: grapevine with shoulder and elbow flexion and external load; jumping jack; step-touch with shoulder and elbow flexion and external load; chasse with shoulder-up. rest: jogging; fast walking	grapevine with shoulder and elbow flexion and external load; chasse; jogging; step-touch with shoulder and elbow flexion and external load; chasse with shoulder-up; walking
Mesocycle 4 (weeks 15–18)	work: jumping jack with external load; grapevine with shoulder and elbow flexion and external load; knee-up with shoulder and elbow flexion and external load; hamstring curl with shoulder and elbow flexion and external load rest: fast walking; hops	step-touch with shoulder and elbow flexion and external load; grapevine with shoulder and elbow flexion and external load; knee-up with shoulder and elbow flexion and external load; hamstring curl with shoulder and elbow flexion and external load; walking; hops

HIICT—High-Intensity Interval Circuit Training; MICT—Moderate-Intensity Circuit Training.

2.4. Outcomes

Functional ability, measured with the senior fitness test [38], was the primary outcomes of this study. Secondary outcomes were body mass index and handgrip strength. Testing was performed in all participants before and after the exercise intervention programmes. Pre-tests in January 2018 and post-tests in May 2018, were accomplished over a 1-week period.

Upper limb strength was determined by the 30-second arm curl test (ACT). The participants performed the greatest number of full flexions to extension elbow with a 2-kg dumbbell in 30 s. The test was realized twice with each arm [38].

The lower limb strength was determined by the 30-second sit-to-stand (STS-30). The participants were seated, feet resting on the floor and hands on the opposite shoulder. They were asked to stand up and sit down as many times as possible in 30 s. This test was only performed once [38].

The timed up and go test (TUG) was administered to evaluate the gait. This requires the participant to get up from a chair without armrests, walk 3 m, turn around a cone, walk back to the chair and sit back down. Timing started upon the instructor's "go" and stopped when the participant returned to the initial position. The test was executed twice, in addition to an untimed trial. The best time was recorded [38].

The 6-minute walk test (6MWT) was performed to evaluate the cardiorespiratory fitness. The patients were asked to walk as far as possible in a 42-metre indoor corridor. They were allowed to stop during the test if necessary. The distance walked and the heart rate at the beginning and at the end of the test were recorded. The pre–post difference in heart rate during the 6MWT was registered [38].

Balance was assessed using the one-leg standing test (OLS). This test measures the time a participant is able to stand on one leg without support. The time was stopped when 30 s had elapsed

or when the standing foot shifted or the lifted foot was placed on the ground. The OLS was realized twice with each leg. The best value for each one was considered in the analysis [38].

The maximal handgrip strength was measured on a Takei dynamometer (TKK 5001). The participants were standing with the arm fully stretched and the wrist in neutral position. The maximal value from three trials from both hand was recorded [39].

Height and weight were measured using an electronic balance and a height rod (Seca 768), respectively, and body mass index (BMI) was calculated according to the formula: $BMI = \text{kg}/\text{m}^2$.

2.5. Sample Size and Power

The calculations to establish the sample size were performed using Rstudio 3.15.0 software (Boston, United States). The significance level was set at $p \leq 0.05$. According to the mean standard deviation established for the 6MWT in a previous study [40] ($SD = 53.3$ m) and an estimated error (d) of 14.2 m, a valid sample size for a 95% confidence interval (CI) was 54 ($n = CI^2 \times d^2 / SD^2$). A total of 54 women completed the trial. The final sample size for each group obtained in our study (HIICT = 17, MICT = 12, CG = 12) will provide powers of 81%, 65% and 65%, respectively, if between and within a variance of 1.

2.6. Randomization and Blinding

A block randomization method was chosen to allocate participants to the groups in equal sample sizes (HIICT, MICT and CG, $n = 18$). The block size was determined according to the statistical power provided. The blocks were chosen randomly to determine the participants' assignment into the groups. Following Kim [41], a randomization sequence was created using Excel 2016 (Microsoft, Redmond, WA, USA), with a 1:1 allocation via a random number table. Owing to the difficulty of blinding participants and instructors in the exercise trials, only the research staffs performing the assessment and statistical analysis were blinded to group assignment. The chosen allocation concealment method selected was central allocation.

2.7. Statistical methods

The statistical analyses were conducted using Jamovi (Jamovi Project 2018, version 0.9.1.7; <https://www.jamovi.org>) and Rstudio 3.15.0 software (Boston, United States). Prior to the data analysis, the Kolmogorov-Smirnov test was used to determine the normal distribution of the variables. Levene's test was also performed to determine the homogeneity of variance. The descriptive data are presented as the mean \pm SD and range. The intention-to-treat analysis using the last observation for missing data was conducted. To compare variables before the intervention, the analysis of variance (ANOVA) for repeated measures was calculated (general linear model). To compare variables after the intervention, the analysis of covariance (ANCOVA) was used, with baseline values included as co-variables in order to adjust for potential baseline differences in the dependent variables. The age was also included as a co-variable because of the wide range considered in the present study (55–85 years). The standardized mean differences (Cohen's effect size) were calculated together with the 95% confidence intervals [39]. An effect size (ES) value of 0.20 indicates a small effect, 0.60 a moderate effect, 1.2 a large effect, 2.0 a very large effect and 4.0 a near-perfect effect [42]. The level of significance was set to $p \leq 0.05$.

3. Results

Figure 1 illustrates the participant flow during the protocol. Twenty-nine women did not meet the inclusion criteria and seven declined to participate. In total, 54 women were actually enrolled in the study and randomly distributed into HIICT, MICT and CG. Finally, 41 participants (HICT, $n = 17$; MICT, $n = 12$; GC, $n = 12$) completed the study. The participants completed 84% and 87% of the training in the HIICT and MICT groups, respectively. The trial ended in May 2018. The baseline characteristics of the participants in the three groups are shown in Table 3.

Table 3. Characteristics at baseline ($n = 56$).

Group	n	Mean	SD	Min	Max	p
Age (years)						
CG	18	67.4	5.71	59	75	0.370
MICT	18	70	8.76	55	86	
HIICT	18	66.3	5.44	57	76	
Body Mass Index (kg/m ²)						
CG	18	31.2	4.89	20.9	38.4	0.689
MICT	18	30.1	3.08	24.3	35.9	
HIICT	18	30.4	4.13	35.2	37.7	
Arm Curl Test (rep)						
CG	18	20.6	2.96	17.5	28.0	0.102
MICT	18	25.6	5.20	15.5	35.5	
HIICT	18	28.9	5.17	18.5	40.0	
30 Sit-To-Stand (rep)						
CG	18	16.8	2.90	11	22	0.140
MICT	18	13.7	3.38	6	18	
HIICT	18	15.1	2.69	10	19	
Timed Up and Go test (s)						
CG	18	5.89	0.74	4.94	7.46	0.070
MICT	18	6.40	1.23	4.73	9.30	
HIICT	18	6.08	1.31	4.51	9.30	
6-Minute Walking Test (m)						
CG	18	510	59.0	410	590	0.135
MICT	18	502	72.3	355	636	
HIICT	18	564	41.0	455	625	
One Leg Stand test with right leg (s)						
CG	18	19.6	9.09	5.89	30	<0.001
MICT	18	21.6	11.20	3.00	30	
HIICT	18	26.9	7.75	2.00	30	
One Leg Stand test with left leg (s)						
CG	18	15.1	9.10	1.98	30	<0.001
MICT	18	19.9	10.00	2.00	30	
HIICT	18	27.4	6.87	2.00	30	
Right Handgrip Strength (kg)						
CG	18	23.0	4.21	16.0	31.0	0.345
MICT	18	23.6	5.10	16.0	36.0	
HIICT	18	25.8	3.77	20.0	34.5	
Left Handgrip Strength (kg)						
CG	18	21.4	4.06	14.0	29.0	0.904
MICT	18	22.3	4.01	16.5	31.0	
HIICT	18	25.0	3.49	20.0	32.5	
Heart Rate during 6-Minute Walking Test (bpm)						
CG	18	34.9	14.8	15	57	0.684
MICT	18	26.7	14.7	5	59	
HIICT	18	34.8	17.1	−15	65	

CG—Control Group; MICT—Moderate-Intensity Circuit Training; HIICT—High-Intensity Interval Circuit Training. Statistically significant differences at $p \leq 0.05$ are given in bold.

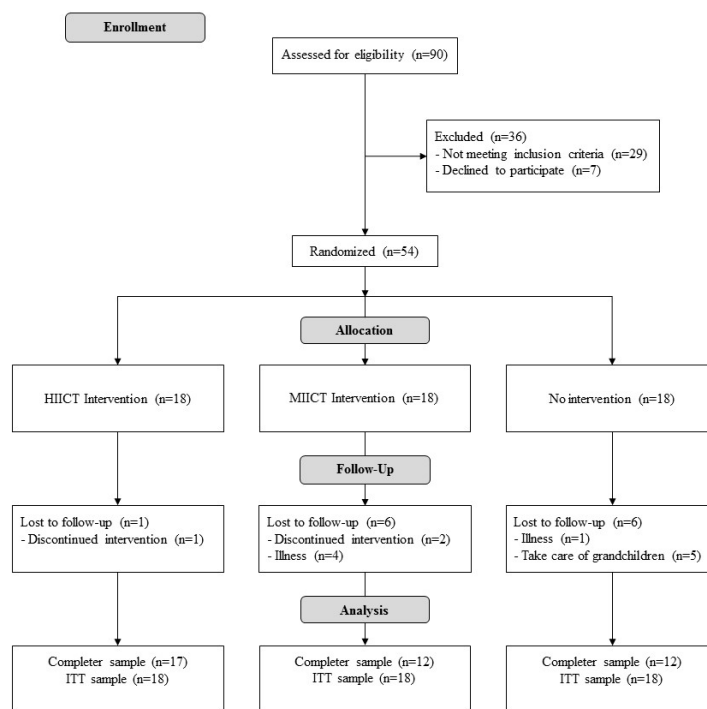


Figure 1. Flow diagram of the progress of the randomized trial.

3.1. Inter-group results

The inter-group results in the primary and secondary outcomes are presented in Tables 4 and 5. The main analysis of these outcomes indicates that there was a significant training x group interaction ($p < 0.001$) in the ACT, STS-30, TUG, 6MWT and BMI.

- In the ACT, HIICT was statistically better than MICT (dif = 6.6 rep, $t = -3.905$) and CG (dif = 9.3 rep, $t = -2.986$).
- In the 30-STS, HIICT was statistically better than CG (dif = 5.6 rep, $t = -5.84$) and MICT was also statistically better than CG (dif = 3.2 rep, $t = -3.87$).
- In the TUG, HIICT was statistically better than CG (dif = -0.78 sec, $t = 4.03$) and MICT was also statistically better than CG (dif = -0.23 sec, $t = 4.244$).
- In the 6MWT, HIICT was statistically better than CG (dif = 43 m, $t = -3.631$) and MICT was also statistically better than CG (dif = 55 m, $t = -3.719$).
- Regarding the BMI, HIICT was statistically better than CG (dif = -1.4 kg/m², $t = 3.58$).

3.2. Intra-Group Results

The additional intra-group analysis (Tables 6 and 7) shows a significant improvement ($p < 0.001$) in the STS-30, TUG and 6MWT for both HIICT and MICT. Regarding the ACT, either HIICT or CG showed significant improvements ($p = 0.022$ and $p < 0.001$, respectively). On the other hand, a significant decrease was obtained in the STS-30 and TUG for CG ($p < 0.001$ and $p = 0.016$, respectively), and in the right OLS ($p = 0.024$) for HIICT. With regard to the BMI, HIICT showed a significant reduction ($p = 0.035$), whereas CG showed a significant increase ($p = 0.019$).

Table 4. ANCOVA adjustments for the primary outcomes on HIICT, MICT and CG.

Group	Increment				ANCOVA Interactions (F, p, ES η^2)									
	n (ITT)	n (Treated)	Mean	SD	Training \times Group			Training \times Baseline			Training \times Age			
					F	p	ES η^2	F	p	ES η^2	F	p	ES η^2	
Arm Curl Test (rep)														
CG	18	12	1.80	-0.10										
MICT	18	12	-0.50	-1.14	8.1	8.99 $\times 10^{-4}$ ^{2,3}	0.192	18.3	5.51 $\times 10^{-5}$	0.217	9.85 $\times 10^{-3}$	0.921	0.000	
HIICT	18	17	2.80	0.28										
30 Sit-To-Stand (rep)														
CG	18	12	-1.90	-0.05										
MICT	18	12	3.80	1.47	17.42	1.81 $\times 10^{-6}$ ^{1,2}	0.381	6.54	1.36 $\times 10^{-2}$	0.072	0.353	0.555	0.004	
HIICT	18	17	5.60	0.47										
Timed Up and Go Test (s)														
CG	18	12	0.36	0.16										
MICT	18	12	-0.87	0.05	11.41	8.30 $\times 10^{-5}$ ^{1,2}	0.281	8.45	5.42 $\times 10^{-3}$	0.104	0.274	0.603	0.004	
HIICT	18	17	-0.78	-0.51										
6-Minute Walking Test (m)														
CG	18	12	-16	-9.50										
MICT	18	12	43	0.30	9.34	3.57 $\times 10^{-4}$ ^{1,2}	0.256	4.42	4.05 $\times 10^{-2}$	0.060	0.274	0.603	0.004	
HIICT	18	17	36	33.9										
One Leg Stand Test with Right Leg (s)														
CG	18	12	1.70	1.91										
MICT	18	12	1.10	-1.32	2.38	0.102	0.086	4.03	0.050	0.07	2.48	0.122	0.044	
HIICT	18	17	-1.60	1.12										
One Leg Stand Test with Left Leg (s)														
CG	18	12	-3.40	1.80										
MICT	18	12	0.90	1.00	1.9	0.160	0.069	4.07	0.049	0.067	0.017	0.895	0.000	
HIICT	18	17	-2.60	1.87										

ITT—Intention to treat; SD—Standard deviation; ANCOVA—Covariance analysis; F—estimated variance; CG—Control Group; MICT—Moderate-Intensity Circuit Training; HIICT—High-Intensity Interval Circuit Training. ¹ Denotes significant difference in MICT compared to CG; ² denotes significant differences in HIICT compared to CG; ³ denotes significant differences in HIICT compared to MICT; Statistically significant differences at $p \leq 0.05$ are given in bold.

Table 5. ANCOVA adjustments for the secondary outcomes on HIICT, MICT and CG.

Group	n (ITT)	n (Treated)	Increment		ANCOVA Interactions (F, p, ES η^2)									
			Mean	SD	Training \times Group			Training \times Baseline			Training \times Age			
					F	p	ES η^2	F	p	ES η^2	F	p	ES η^2	
Body Mass Index (kg/m ²)														
CG	18	12	0.30	−0.05										
MICT	18	12	−0.10	1.47	6.99	0.002 ²	0.215	3.02	0.088	0.046	0.217	0.643	0.003	
HIICT	18	17	−0.30	0.47										
Right Handgrip Strength (kg)														
CG	18	12	0.60	−0.86										
MICT	18	12	−0.40	0.49	0.881	0.420	0.033	9.72	3.02 $\times 10^{-3}$	0.155	1.45	0.233	0.028	
HIICT	18	17	0.60	−0.68										
Left Handgrip Strength (kg)														
CG	18	12	0.90	0.04										
MICT	18	12	−0.20	0.74	1.46	0.243	0.054	1.39	0.244	0.026	1.13	0.293	0.021	
HIICT	18	17	0.60	0.87										
Heart Rate during 6-Minute Walking Test (bpm)														
CG	18	12	−3	−9.50										
MICT	18	12	2	0.30	1	0.375	0.038	13.39	6.08 $\times 10^{-4}$	0.197	1.74	0.193	0.032	
HIICT	18	17	6	33.90										

ITT—Intention to treat; SD—Standard deviation; ANCOVA—Covariance analysis; F—estimated variance; CG—Control Group; MICT—Moderate-Intensity Circuit Training; HIICT—High-Intensity Interval Circuit Training. ² Denotes significant differences in HIICT compared to CG; Statistically significant differences at $p \leq 0.05$ are given in bold.

Table 6. Intra-group differences for the primary outcomes on HIICT, MICT and CG.

Group	Pre-Training			Post-Training			<i>p</i>	95% CI for MD		Cohen's <i>d</i>
	<i>n</i>	Mean	SD	<i>n</i>	Mean	SD		Lower	Upper	
Arm Curl Test (rep)										
CG	18	20.6	2.96	12	22.4	2.86	2.04 × 10⁻⁴	-2.61	-0.99	0.57
MICT	18	25.6	5.20	12	25.1	4.06	0.575	-1.34	2.34	0.09
HIICT	18	28.9	5.17	17	31.7	5.45	0.022	-5.09	-0.45	0.52
30 Sit-To-Stand (rep)										
CG	18	16.8	2.90	12	14.9	2.85	1.40 × 10⁻⁴	1.07	2.70	0.61
MICT	18	13.7	3.38	12	17.5	4.85	3.20 × 10⁻⁴	-5.65	-2.01	1.05
HIICT	18	15.1	2.69	17	20.7	3.16	1.00 × 10⁻⁶	-7.13	-4.08	1.98
Timed Up and Go Test (s)										
CG	18	5.89	0.74	12	6.25	0.89	0.016	-0.64	-0.07	0.46
MICT	18	6.40	1.23	12	5.53	1.28	0.001	0.38	1.34	0.66
HIICT	18	6.08	1.31	17	5.30	0.80	0.009	0.21	1.35	0.57
6-Minute Walking Test (m)										
CG	18	510	59.0	12	494	49.5	0.058	-0.60	33.39	0.25
MICT	18	502	72.3	12	545	72.6	3.09 × 10⁻⁴	-61.94	-22.46	0.55
HIICT	18	564	41.0	17	600	74.9	0.036	-8.65	-2.57	0.84
One Leg Stand Test with Right Leg (s)										
CG	18	19.6	9.09	12	21.3	11.00	0.233	-4.57	1.19	0.17
MICT	18	21.6	11.20	12	22.7	9.88	0.237	-3.06	0.81	0.99
HIICT	18	26.9	7.75	17	25.3	8.87	0.024	0.24	3.10	0.20
One Leg Stand Test with Left Leg (s)										
CG	18	15.1	9.1	12	11.7	10.90	0.129	-1.08	7.79	0.35
MICT	18	19.9	10.0	12	20.80	11.00	0.486	-3.54	1.75	0.08
HIICT	18	27.4	6.87	17	24.80	8.74	0.124	-0.80	6.05	0.36

SD—Standard deviation; CG—Control Group; MICT—Moderate-Intensity Circuit Training; HIICT—High-Intensity Interval Circuit Training; Statistically significant differences at $p \leq 0.05$ are given in bold.

Table 7. Intra-group differences for the secondary outcomes on HIICT, MICT and CG.

Group	Pre-Training			Post-Training			<i>p</i>	95% CI for MD		Cohen's <i>d</i>
	<i>n</i>	Mean	SD	<i>n</i>	Mean	SD		Lower	Upper	
Body Mass Index (kg/m ²)										
CG	18	31.2	4.89	12	31.5	5.05	0.019	−0.52	−0.53	0.06
MICT	18	30.1	3.08	12	30.0	3.15	0.140	−0.02	0.29	0.03
HIICT	18	30.4	4.13	17	30.1	4.24	0.035	0.02	0.60	0.07
Right Handgrip Strength (kg)										
CG	18	23.0	4.21	12	23.6	3.35	0.155	−1.54	0.26	0.13
MICT	18	23.6	5.1	12	23.2	5.59	0.650	−1.38	2.16	0.07
HIICT	18	25.8	3.77	17	26.4	3.09	0.397	−1.80	0.75	0.15
Left Handgrip Strength (kg)										
CG	18	21.4	4.06	12	22.3	4.10	0.219	−2.28	0.56	0.21
MICT	18	22.3	4.01	12	22.1	4.75	0.656	−0.91	1.41	0.05
HIICT	18	25	3.49	17	25.6	4.36	0.229	−1.64	0.42	0.16
Heart Rate during 6-Minute Walking Test (bpm)										
CG	18	34.90	14.80	12	31.7	12.30	0.303	−3.179	9.624	0.21
MICT	18	26.70	14.70	12	28.7	12.30	0.565	−9.184	5.184	0.13
HIICT	18	34.80	17.10	17	40.6	14.20	0.137	−13.582	2.027	0.32

SD—Standard deviation; CG—Control Group; MICT—Moderate-Intensity Circuit Training; HIICT—High-Intensity Interval Circuit Training; Statistically significant differences at $p \leq 0.05$ are given in bold.

Regarding safety, there were registered adverse events in MICT and CG groups. Four women in the MICT group and one in CG were lost to follow-up due to eye surgery, foot surgery, clavicle fracture and two hip fractures after a fall. These adverse events did not occur during the exercise classes.

4. Discussion

The present study investigated what type of training (HIICT or MICT) induces greater adaptations in strength, gait, cardiorespiratory fitness, static balance and BMI of middle-aged and older women. The main finding of this study was that HIICT was more effective than MICT for improving upper limb strength in healthy middle-aged and older women. In addition, both HIICT and MICT were also effective for improving lower limb strength, gait and cardiorespiratory fitness. The secondary analyses suggest that HIICT is an effective training method to reduce BMI after 18 weeks of training. To the best of the authors' knowledge, this is the first randomized controlled trial that has evaluated the effects of HIICT on the functional ability in healthy middle-aged and older women.

In relation to muscle strength, the present study shows a significant improvement in the ACT and STS-30 after the 18-week training period in both the HIICT and MICT groups, with significant differences between them and CG. There were also significant differences between HIICT and MICT in the ACT. On the other hand, although HIICT and MICT were not significantly different in the STS-30, a large effect size in HIICT ($ES = 1.98$) and a moderate effect size in MICT ($ES = 1.05$) were obtained. In line with our results, Boukabous et al. [43] obtained significant differences in the ACT between HIIT and MICT after 8 weeks of training in older women. In the same way, García-Pinillos et al. [44] and Adamson et al. [45] obtained significant improvements in lower limb strength after 12 weeks of concurrent high-intensity interval and endurance training and a high-intensity interval cycling programme, respectively, in samples composed by men and women. However, these last two studies did not compare the groups with different training intensity.

The upper limb strength results in this study could be associated with the training methodology conducted in HIICT. Although HIICT and MICT contained similar movements in the exercises, execution speed was superior in HIICT, which could lead to neural adaptations (i.e., a greater recruitment of motor units and ST muscle fibres and a decrease in the co-activation) and consequently, a better gain in muscle strength [26]. This is in the line with Correa et al. [46], who compared three types of training in older women, concluding that rapid strength training could be more effective than other types of training for the rapid-force development of muscle. Likewise, it is important to emphasize the importance of the results because the strength of the upper body has been related to the quality of life for women over 60 years of age [47].

On the other hand, it is not clear why there were no significant differences in lower limb strength between HIICT and MICT. The lack of differences could be influenced by the standing position during the sessions in both groups. Likewise, with the duality of the movement and the complexity of the tasks, it is possible that a higher speed during HIICT was not achieved in this case. However, even though MICT improved the strength of the lower limbs, in order to gain strength benefits in the upper and lower limbs from both training methods, this study suggests that HIICT may be used as a time-efficient intervention to increase the strength of both upper and lower limbs.

Regarding the analysis results for gait and dynamic balance, the present study showed a significant improvement in the TUG for both HIICT and MICT groups, with significant differences between them and CG. Although there has not been any research comparing these training methods in older women, these findings are in accordance with several other studies relating both HIIT [45,48,49] and MICT [50–52] interventions with improvements on gait. For example, García-Pinillos et al. [44] noted a decreased of 9% in the time to walk 10 m after a 12-week concurrent high-intensity interval strength and endurance training programme in healthy older people. In contrast to our results, a study oriented to suspension training obtained significant differences in the performance of the TUG in HIIT compared to MICT [49]. One possible reason for our results may be precisely the increase in lower limb strength and the nervous system adaptations [53]. The execution of exercise when standing could contribute

to assist neural adaptation and thus generate a positive transfer to dynamic balance, gait and lower limb strength [48,54]. The improvement shown in this test has special relevance because it is related to avoiding falls in healthy elderly people. The literature reflects that postural balance during gait is one of the most relevant variables in relation to falls [55]. Similarly, gait speed seems to be a predictor of autonomy in the activities of daily living [56].

For cardiorespiratory fitness, significant improvements were obtained on the 6MWT for both HIICT and MICT, with a moderate effect size in HIICT ($ES = 0.84$) versus a small effect size in MICT ($ES = 0.55$). Furthermore, this result is powered by a small effect size in the mean heart rates on HIICT ($ES = 0.32$) versus a trivial effect size in MICT ($ES = 0.13$). In line with our results, Boukabous et al. [43] showed that both types of training provided similar improvements in the performance of the 6MWT, even though the HIIT protocol was designed to represent half the duration of MICT (and energy expenditure). On the other hand, Jaureguizar et al. [57] compared the performance on 6MWT after HIIT or MICT, obtaining significant differences in favour of HIIT. The relevance of this improvement is due to the relation of cardiorespiratory fitness with the autonomy to perform daily life activities and prevent or delay frailty in older people [58]. In addition, Fraga et al. [59] showed positive influences of cardiorespiratory fitness on the quality of life of the elderly after 16 weeks of aerobic training.

Finally, a recent meta-analysis by de Nardi et al. [60] evaluated BMI in a total of 120 prediabetic participants without significant differences between HIIT and MICT. Contrary to our results, the meta-analysis refers to a decrease in BMI after the HIIT and MICT programmes. In the same way, a study with cycling did not find a significant decrease in BMI after HIIT in postmenopausal women with diabetes [61]. Similarly, Ramos et al. [62], in a recent study involving overweight participants with and without diabetes, described no significant improvements in BMI after 16 weeks of two different HIIT interventions, without any significant difference between these and MICT.

The strength of this study was the positive effects of HIICT on the functional ability and BMI of healthy middle-aged and older women. The clinical implications of the present study are related to the importance that HIICT could have as an effective method to improve the functional ability and BMI of middle-aged and older women and, consequently, the autonomy to carry out daily living activities and an improved quality of life. Moreover, the feasibility of this kind of circuit training provides the possibility to be easily implemented and with a low-cost material.

Although this study has demonstrated that 18 weeks of HIICT can produce the improvements in strength, gait speed and cardiorespiratory fitness, as well as BMI, it is not without its limitations. Firstly, the non-blinding of participants and instructors and the broad age range of the sample should be considered limitations of this study. Secondly, this trial involved a small number of participants and a larger sample size would have helped to quantify more accurately the changes using this exercise training. Finally, the Borg scale was used to assess exercise intensity. Although the heart rate is more accurate, it was only used during the familiarization phase because the Borg scale is a more useful and practical tool to guide exercise intensity in daily practice.

5. Conclusions

The main results obtained in the present research indicate that both HIICT and MICT similarly influenced the strength, cardiorespiratory fitness and gait/dynamic balance variables analysed, except for: (1) the upper limb strength, where the HIICT generated better adaptations than MICT; (2) the BMI, where the HIICT generated better adaptations than CG. These results contribute to improved autonomy in the development of daily living activities as well as to prevent the risk of sarcopenia, frailty and cardiovascular diseases in older women.

Author Contributions: Conceptualization, M.C.-P.; Data curation, I.B.-G., M.C.-P. and J.Á.R.-A.; Formal analysis, I.B.-G., M.C.-P. and J.Á.R.-A.; Investigation, I.B.-G. and M.C.-P.; Methodology, M.C.-P. and I.B.-G.; Project administration, M.C.-P. and I.B.-G.; Supervision, I.M.-G.-M.; Writing—original draft, I.B.-G. and M.C.-P.; Writing—review & editing, M.C.-P., J.Á.R.-A. and I.M.-G.-M.

Funding: This research received no external funding.

Acknowledgments: We are grateful to all participants for their invaluable collaboration in this study, as well as to the City Hall of Murcia and Alcantarilla (Murcia) for carrying out the exercise programme at their facilities. I also thank Iniciativas Locales S.L. for supporting the implementation of the programme. The present study was carried out within the framework of the Doctorate in Education Programme of the University of Almería (UAL).

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

References

- Blain, H.; Masud, T.; Dargent-Molina, P.; Martin, F.C.; Rosendahl, E.; van der Velde, N.; Bousquet, J.; Benetos, A.; Cooper, C.; Kanis, J.A.; et al. A comprehensive fracture prevention strategy in older adults: The European Union Geriatric Medicine Society (EUGMS) statement. *Aging Clin. Exp. Res.* **2016**, *28*, 797–803. [CrossRef] [PubMed]
- de Carvalho, E.D.; Valadares, A.L.R.; da Costa-Paiva, L.H.; Pedro, A.O.; Morais, S.S.; Pinto-Neto, A.M. Physical activity and quality of life in women aged 60 or older: Associated factors. *Rev. Bras. Ginecol. E Obstet.* **2010**, *32*, 433–440. [CrossRef]
- Cruz-Jentoft, A.J.; Bahat, G.; Bauer, J.; Boirie, Y.; Bruyère, O.; Cederholm, T.; Cooper, C.; Landi, F.; Rolland, Y.; Sayer, A.A.; et al. Sarcopenia: Revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing* **2019**, *48*, 16–31. [CrossRef] [PubMed]
- Clegg, A.; Young, J.; Iliffe, S.; Rikkert, M.O.; Rockwood, K. Frailty in elderly people. *Lancet* **2013**, *381*, 752–762. [CrossRef]
- Bergman, H.; Ferrucci, L.; Guralnik, J.; Hogan, D.B.; Hummel, S.; Karunananthan, S.; Wolfson, C. Frailty: An emerging research and clinical paradigm—issues and controversies. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **2007**, *62*, 731–737. [CrossRef]
- Guadalupe-Grau, A.; Carnicero, J.A.; Losa-Reyna, J.; Tresguerres, J.; Gómez-Cabrera, M.D.C.; Castillo, C.; Alfaro-Acha, A.; Rosado-Artalejo, C.; Rodríguez-Mañas, L.; García-García, F.J. Endocrinology of Aging from a Muscle Function Point of View: Results from the Toledo Study for Healthy Aging. *J. Am. Med. Dir. Assoc.* **2017**, *18*, 234–239. [CrossRef]
- Cesari, M.; Vellas, B.; Hsu, F.-C.; Newman, A.B.; Doss, H.; King, A.C.; Manini, T.M.; Church, T.; Gill, T.M.; Miller, M.E.; et al. A physical activity intervention to treat the frailty syndrome in older persons—results from the LIFE-P study. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **2015**, *70*, 216–222. [CrossRef]
- Goodpaster, B.H.; Park, S.W.; Harris, T.B.; Kritchevsky, S.B.; Nevitt, M.; Schwartz, A.V.; Simonsick, E.M.; Tylavsky, F.A.; Visser, M.; Newman, A.B. The loss of skeletal muscle strength, mass, and quality in older adults: The health, aging and body composition study. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **2006**, *61*, 1059–1064. [CrossRef]
- World Health Organization. World Report on Ageing and Health. Available online: <https://population.un.org/wpp/> (accessed on 13 September 2019).
- Benítez-Porres, J.; Blanco, J.M.; Vázquez, R.F.; Alvero-Cruz, J.R. Sarcopenia y ejercicio físico. In *Longevidad y Salud. Innovación en la Actividad Física*, 1st ed.; Área de Cultura y Deportes de la Diputación de Málaga: Málaga, Spain, 2005; pp. 700–708.
- Bhaskaran, K.; dos-Santos-Silva, I.; Leon, D.A.; Douglas, I.A. Association of BMI with overall and cause-specific mortality: A population-based cohort study of 3.6 million adults in the UK. *Lancet Diabetes Endocrinol.* **2018**, *6*, 944–953. [CrossRef]
- Mazo, G.Z.; Liposcki, D.B.; Ananda, C.; Prevê, D. Health conditions, incidence of falls and physical activity levels among the elderly. *Braz. J. Phys. Ther.* **2007**, *11*, 437–442. [CrossRef]
- Arenas, S.R.; Gómez, J.P.; Ramón, P.E.A. Entrenamiento en circuitos. ¿Una herramienta útil para prevenir los efectos del envejecimiento? *Cult. Cienc. Deporte* **2011**, *6*, 185–192.
- Laredo-Aguilera, J.A.; Carmona-Torres, J.M.; García-Pinillos, F.; Latorre-Román, P.Á. Effects of a 10-week functional training programme on pain, mood state, depression, and sleep in healthy older adults. *Psychogeriatr. Off. J. Jpn. Psychogeriatr. Soc.* **2018**, *18*, 292–298. [CrossRef] [PubMed]
- Chin, A.; Paw, M.J.; van Poppel, M.N.; Twisk, J.W.; van Mechelen, W. Effects of resistance and all-round, functional training on quality of life, vitality and depression of older adults living in long-term care facilities: A ‘randomized’ controlled trial. *BMC Geriatr.* **2004**, *4*, 1–9. [CrossRef]

16. Kaikkonen, H.; Yrjämä, M.; Siljander, E.; Byman, P.; Laukkanen, R. The effect of heart rate controlled low resistance circuit weight training and endurance training on maximal aerobic power in sedentary adults. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2000**, *10*, 211–215. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
17. Muñoz-Martínez, F.A.; Rubio-Arias, J.Á.; Ramos-Campo, D.J.; Alcaraz, P.E. Effectiveness of Resistance Circuit-Based Training for Maximum Oxygen Uptake and Upper-Body One-Repetition Maximum Improvements: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med. Auckl. NZ* **2017**, *47*, 2553–2568. [[CrossRef](#)]
18. Rosety, M.A.; Pery, M.T.; Rodríguez-Pareja, M.A.; Diaz, A.; Rosety, J.; Garcia, N.; Brenes-Martin, F.; Rosety-Rodríguez, M.; Toro, R.; Ordoñez, F.J.; et al. A Short-Term Circuit Resistance Programme Reduced Epicardial Fat in Obese Aged Women. *Nutr. Hosp.* **2015**, *32*, 2193–2197. [[CrossRef](#)]
19. Romero-Arenas, S.; Blazevich, A.J.; Martínez-Pascual, M.; Pérez-Gómez, J.; Luque, A.J.; López-Román, F.J.; Alcaraz, P.E. Effects of high-resistance circuit training in an elderly population. *Exp. Gerontol.* **2013**, *48*, 334–340. [[CrossRef](#)]
20. Giné-Garriga, M.; Guerra, M.; Unnithan, V.B. The effect of functional circuit training on self-reported fear of falling and health status in a group of physically frail older individuals: A randomized controlled trial. *Aging Clin. Exp. Res.* **2013**, *25*, 329–336. [[CrossRef](#)]
21. Venturelli, M.; Cè, E.; Limonta, E.; Schena, F.; Caimi, B.; Carugo, S.; Veicteinas, A.; Esposito, F. Effects of endurance, circuit, and relaxing training on cardiovascular risk factors in hypertensive elderly patients. *Age Dordr. Neth.* **2015**, *37*, 101. [[CrossRef](#)]
22. Whitehurst, M.A.; Johnson, B.L.; Parker, C.M.; Brown, L.E.; Ford, A.M. The benefits of a functional exercise circuit for older adults. *J. Strength Cond. Res.* **2005**, *19*, 647–651. [[CrossRef](#)]
23. García, I.B.; Arias, J.Á.R.; Campo, D.J.R.; González-Moro, I.M.; Poyatos, M.C. High-intensity Interval Training Dosage for Heart Failure and Coronary Artery Disease Cardiac Rehabilitation. A Systematic Review and Meta-analysis. *Rev. Espanola. Cardiol. Engl. Ed.* **2019**, *72*, 233–243. [[CrossRef](#)]
24. Wisløff, U.; Støylen, A.; Loennechen, J.P.; Bruvold, M.; Rognum, Ø.; Haram, P.M.; Tjønnå, A.E.; Helgerud, J.; Slørdahl, S.A.; Lee, S.J.; et al. Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: A randomized study. *Circulation* **2007**, *115*, 3086–3094. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
25. Moholdt, T.T.; Amundsen, B.H.; Rustad, L.A.; Wahba, A.; Løvø, K.T.; Gullikstad, L.R.; Bye, A.; Skogvoll, E.; Wisløff, U.; Slørdahl, S.A. Aerobic interval training versus continuous moderate exercise after coronary artery bypass surgery: A randomized study of cardiovascular effects and quality of life. *Am. Heart J.* **2009**, *158*, 1031–1037. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
26. Chicharro, J.L.; Campos, D.V. *HIIT de la Teoría a la Práctica*; Exercise Physiology & Training: Madrid, Spain, 2018.
27. Adamson, S.; Lorimer, R.; Copley, J.N.; Lloyd, R.; Babraj, J. High intensity training improves health and physical function in middle aged adults. *Biology* **2014**, *3*, 333–344. [[CrossRef](#)]
28. Bruseghini, P.; Calabria, E.; Tam, E.; Milanese, C.; Oliboni, E.; Pezzato, A.; Pogliaghi, S.; Salvagno, G.L.; Schena, F.; Mucelli, R.P.; et al. Effects of eight weeks of aerobic interval training and of isoinertial resistance training on risk factors of cardiometabolic diseases and exercise capacity in healthy elderly subjects. *Oncotarget* **2015**, *6*, 16998–17015. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
29. De Lorenzo, A.; Van Bavel, D.; de Moraes, R.; Tibiriça, E.V. High-intensity interval training or continuous training, combined or not with fasting, in obese or overweight women with cardiometabolic risk factors: Study protocol for a randomised clinical trial. *BMJ Open* **2018**, *8*, e019304. [[CrossRef](#)]
30. Coetsee, C.; Terblanche, E. The effect of three different exercise training modalities on cognitive and physical function in a healthy older population. *Eur. Rev. Aging Phys. Act.* **2017**, *14*, 13. [[CrossRef](#)]
31. Alvarez, C.; Ramirez-Campillo, R.; Martínez-Salazar, C.; Mancilla, R.; Flores-Opazo, M.; Cano-Montoya, J.; Ciolac, E.G. Low-Volume High-Intensity Interval Training as a Therapy for Type 2 Diabetes. *Int. J. Sports Med.* **2016**, *37*, 723–729. [[CrossRef](#)]
32. Hannan, A.L.; Hing, W.; Simas, V.; Climstein, M.; Coombes, J.S.; Jayasinghe, R.; Byrnes, J.; Furness, J. High-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training within cardiac rehabilitation: A systematic review and meta-analysis. *Open Access J. Sports Med.* **2018**, *9*, 1–17. [[CrossRef](#)]

33. Araujo, B.T.S.; Leite, J.C.; Furazo, H.K.B.; de Souza, R.J.P.; Remígio, M.I.; de Andrade, A.D.; Campos, S.L.; Brandão, D.C. Influence of High-Intensity Interval Training Versus Continuous Training on Functional Capacity in Individuals with Heart Failure: A Systematic Review and Meta-analysis. *J. Cardiopulm. Rehabil. Prev.* **2019**, *39*, 293–298. [[CrossRef](#)]
34. Liou, K.; Ho, S.; Fildes, J.; Ooi, S. High Intensity Interval versus Moderate Intensity Continuous Training in Patients with Coronary Artery Disease: A Meta-analysis of Physiological and Clinical Parameters. *Heart Lung Circ.* **2016**, *25*, 166–174. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
35. Aragão-Santos, J.C.; de Resende-Neto, A.G.; Nogueira, A.C.; Feitosa-Neta, M.L.; Brandão, L.H.; Chaves, L.M.; da Silva-Grogoletto, M.E. The effects of functional and traditional strength training on different strength parameters of elderly women: A randomized and controlled trial. *J. Sports Med. Phys. Fit.* **2019**, *59*, 380–386. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
36. Lawton, M.P.; Brody, E.M. Assessment of Older People: Self-Maintaining and Instrumental Activities of Daily Living. *Gerontologist* **1969**, *9*, 179–186. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
37. Katz, S.; Ford, A.B.; Moskowitz, R.W.; Jackson, B.A.; Jaffe, M.W. Studies of Illness in the Aged: The Index of ADL: A Standardized Measure of Biological and Psychosocial Function. *JAMA J. Am. Med. Assoc.* **1963**, *185*, 914–919. [[CrossRef](#)]
38. Rikli, R.E.; Jones, C.J. *Senior Fitness Test Manual*, 2nd ed.; Human Kinetics: Champaign, IL, USA, 2013.
39. Khalil, N.; Faulkner, K.A.; Greenspan, S.L.; Cauley, J.A. Osteoporotic Fractures in Men Research Group. Associations between bone mineral density, grip strength, and lead body burden in older men. *J. Am. Geriatr. Soc.* **2014**, *62*, 141–146. [[CrossRef](#)]
40. Blain, H.; Jaussent, A.; Picot, M.-C.; Maimoun, L.; Coste, O.; Masud, T.; Bousquet, J.; Bernard, P.L. Effect of a 6-Month Brisk Walking Program on Walking Endurance in Sedentary and Physically Deconditioned Women Aged 60 or Older: A Randomized Trial. *J. Nutr. Health Aging* **2017**, *21*, 1183–1189. [[CrossRef](#)]
41. Kim, J.; Shin, W. How to Do Random Allocation (Randomization). *Clin. Orthop. Surg.* **2014**, *6*, 103–109. [[CrossRef](#)]
42. Hopkins, W.G.; Marshall, S.W.; Batterham, A.M.; Hanin, J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2009**, *41*, 3–13. [[CrossRef](#)]
43. Boukabous, I.; Marcotte-Chénard, A.; Amamou, T.; Boulay, P.; Brochu, M.; Tessier, D.; Dionne, I.; Riesco, E. Low-Volume High-Intensity Interval Training (HIIT) versus Moderate-Intensity Continuous Training on Body Composition, Cardiometabolic Profile and Physical Capacity in Older Women. *J. Aging Phys. Act.* **2019**, *29*, 1–34. [[CrossRef](#)]
44. García-Pinillos, F.; Laredo-Aguilera, J.A.; Muñoz-Jiménez, M.; Latorre-Román, P.A. Effects of 12-Week Concurrent High-Intensity Interval Strength and Endurance Training Program on Physical Performance in Healthy Older People. *J. Strength Cond. Res.* **2019**, *33*, 1445–1452. [[CrossRef](#)]
45. Adamson, S.B.; Lorimer, R.; Cobley, J.N.; Babraj, J.A. Extremely Short-Duration High-Intensity Training Substantially Improves the Physical Function and Self-Reported Health Status of Elderly Adults. *J. Am. Geriatr. Soc.* **2014**, *62*, 1380–1381. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
46. Correa, C.S.; LaRoche, D.P.; Cadore, E.L.; Reischak-Oliveira, A.; Bottaro, M.; Kruegel, L.F.M.; Tartaruga, M.P.; Radaelli, R.; Wilhelm, E.N.; Lacerda, F.C.; et al. 3 Different Types of Strength Training in Older Women. *Int. J. Sports Med.* **2012**, *33*, 962–969. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
47. Nawrocka, A.; Polechoński, J.; Garbaciak, W.; Mynarski, W. Functional Fitness and Quality of Life among Women over 60 Years of Age Depending on Their Level of Objectively Measured Physical Activity. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2019**, *16*, 972. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
48. Sayers, S.P.; Gibson, K.; Mann, J.B. Improvement in functional performance with high-speed power training in older adults is optimized in those with the highest training velocity. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2016**, *116*, 2327–2336. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
49. Jiménez-García, J.D.; Martínez-Amat, A.; De la Torre-Cruz, M.J.; Fábrega-Cuadros, R.; Cruz-Díaz, D.; Aibar-Almazán, A.; Achalandabaso-Ocho, A.; Hita-Contreras, F. Suspension Training HIIT Improves Gait Speed, Strength and Quality of Life in Older Adults. *Int. J. Sports Med.* **2019**, *40*, 116–124. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]



50. Denison, H.J.; Syddall, H.E.; Dodds, R.; Martin, H.J.; Finucane, F.M.; Griffin, S.J.; Wareham, N.J.; Sayer, A.A. Effects of Aerobic Exercise on Muscle Strength and Physical Performance in Community-dwelling Older People from the Hertfordshire Cohort Study: A Randomized Controlled Trial. *J. Am. Geriatr. Soc.* **2013**, *61*, 1034–1036. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
51. Sousa, N.; Mendes, R.; Silva, A.; Oliveira, J. Combined exercise is more effective than aerobic exercise in the improvement of fall risk factors: A randomized controlled trial in community-dwelling older men. *Clin. Rehabil.* **2017**, *31*, 478–486. [[CrossRef](#)]
52. Shigematsu, R. Dance-based aerobic exercise may improve indices of falling risk in older women. *Age Ageing* **2002**, *31*, 261–266. [[CrossRef](#)]
53. Carrasco-Poyatos, M.; Rubio-Arias, J.A.; Ballesta-García, I.; Ramos-Campo, D.J. Pilates vs. muscular training in older women. Effects in functional factors and the cognitive interaction: A randomized controlled trial. *Physiol. Behav.* **2019**, *201*, 157–164. [[CrossRef](#)]
54. Charlton, K.; Batterham, M.; Langford, K.; Lateo, J.; Brock, E.; Walton, K.; Lyons-Wall, P.; Eisenhauer, K.; Green, N.; McLean, C. Lean Body Mass Associated with Upper Body Strength in Healthy Older Adults While Higher Body Fat Limits Lower Extremity Performance and Endurance. *Nutrients* **2015**, *7*, 7126–7142. [[CrossRef](#)]
55. Granacher, U.; Muehlbauer, T.; Gruber, M. A qualitative review of balance and strength performance in healthy older adults: Impact for testing and training. *J. Aging Res.* **2012**, *2012*, 708905. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
56. Makizako, H.; Shimada, H.; Doi, T.; Tsutsumimoto, K.; Lee, S.; Hotta, R.; Nakakubo, S.; Harada, K.; Lee, S.; Bae, S.; et al. Cognitive Functioning and Walking Speed in Older Adults as Predictors of Limitations in Self-Reported Instrumental Activity of Daily Living-Prospective Findings from the Obu Study of Helath Promotion for the Elderly. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2015**, *12*, 3002–3013. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
57. Jaureguizar, K.V.; Vicente-Campos, D.; Bautista, L.R.; de la Peña, C.H.; Gómez, M.J.A.; Rueda, M.J.C.; Fernández-Maillo, I. Effect of High-Intensity Interval Versus Continuous Exercise Training on Functional Capacity and Quality of Life in Patients with Coronary Artery Disease: A Randomized Clinical Trial. *J. Cardiopulm. Rehabil. Prev.* **2016**, *36*, 96–105. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
58. Fleg, J.L. Aerobic exercise in the elderly: A key to successful aging. *Discov. Med.* **2012**, *13*, 223–228.
59. Fraga, M.J.; Cader, S.A.; Ferreira, M.A.; Giani, T.S.; Dantas, E.H.M. Aerobic resistance, functional autonomy and quality of life (QoL) of elderly women impacted by a recreation and walking program. *Arch. Gerontol. Geriatr.* **2011**, *52*, e40–e43. [[CrossRef](#)]
60. De Nardi, A.T.; Tolves, T.; Lenzi, T.L.; Signori, L.U.; Silva, A.M.V.D. High-intensity interval training versus continuous training on physiological and metabolic variables in prediabetes and type 2 diabetes: A meta-analysis. *Diabetes Res. Clin. Pract.* **2018**, *137*, 149–159. [[CrossRef](#)]
61. Maillard, F.; Rousset, S.; Pereira, B.; Traore, A.; de Pradel, D.A.P.; Boirie, Y.; Duclos, M.; Boisseau, N. High-intensity interval training reduces abdominal fat mass in postmenopausal women with type 2 diabetes. *Diabetes Metab.* **2016**, *42*, 433–441. [[CrossRef](#)]
62. Ramos, J.S.; Dalleck, L.C.; Borrani, F.; Beetham, K.S.; Wallen, M.P.; Mallard, A.R.; Clark, B.; Gomersall, S.; Keating, S.E.; Coombes, J.S. Low-Volume High-Intensity Interval Training Is Sufficient to Ameliorate the Severity of Metabolic Syndrome. *Metab. Syndr. Relat. Disord.* **2017**, *15*, 319–328. [[CrossRef](#)]





Article

High-Intensity Interval Circuit Training Versus Moderate-Intensity Continuous Training on Cardiorespiratory Fitness in Middle-Aged and Older Women: A Randomized Controlled Trial

Ismael Ballesta-García ¹, Ignacio Martínez-González-Moro ^{1,2}, Domingo J Ramos-Campo ³  and María Carrasco-Poyatos ^{4,*} 

¹ Physical Exercise and Human Performance Research Group, University of Murcia, 30003 Murcia, Spain; Ismael.b.g@um.es (I.B.-G.); igmartgm@um.es (I.M.-G.-M.)

² Department of Physiotherapy, University of Murcia, 30003 Murcia, Spain

³ Department of Physical Activity and Sport Sciences, UCAM Research Centre for High Performance Sport, Catholic University of San Antonio de Murcia, 30107 Murcia, Spain; djramos@ucam.edu

⁴ Department of Education, Health and Public Administration Research Center, University of Almeria, 04120 Almeria, Spain

* Correspondence: carrasco@ual.es; Tel.: +34-950-284-773

Received: 30 January 2020; Accepted: 7 March 2020; Published: 10 March 2020



Abstract: High-intensity interval training (HIIT) has similar or better effects than moderate-intensity continuous training (MICT) in increasing peak oxygen consumption (VO_{2max}), however, it has not been studied when HIIT is applied in a circuit (HIICT). The aim of this study was to compare the effects of a HIICT versus MICT on VO_{2max} estimated (VO_{2max} -ES), heart rate (HR) and blood pressure (BP) of middle-aged and older women. A quasi-experimental randomized controlled trial was used. Fifty-four women (67.8 ± 6.2 years) were randomized to either HIICT ($n = 18$), MICT ($n = 18$) or non-exercise control group (CG; $n = 18$) for 18 weeks. Participants in HIICT and MICT trained two days/week (one hour/session). Forty-one participants were assessed (HIICT; $n = 17$, MICT; $n = 12$, CG; $n = 12$). Five adverse events were reported. Cardiorespiratory fitness, HR and BP were measured. The tests were performed before and after the exercise intervention programs. VO_{2max} -ES showed significant training \times group interaction, in which HIICT and MICT were statistically superior to CG. Moreover, HIICT and MICT were statistically better than CG in the diastolic blood pressure after exercise (DBP_{ex}) interaction. For the systolic blood pressure after exercise (SBP_{ex}), HIICT was statistically better than CG. In conclusion, both HIICT and MICT generated adaptations in VO_{2max} -ES and DBP_{ex} . Furthermore, only HIICT generated positive effects on the SBP_{ex} . Therefore, both training methods can be considered for use in exercise programs involving middle-aged and older women.

Keywords: high-intensity interval circuit training; peak oxygen consumption; middle-aged; older; women

1. Introduction

The over-65-year-old population has increased rapidly in recent years [1]. Aging is accompanied by the development of chronic diseases, which makes it necessary to give greater attention to the elderly population [2]. Maximal oxygen consumption (VO_{2max}) is recognized as one of the most important indicators in the prognosis of good health in older people [3] and it is used to predict survival in patients with cardiovascular disease [4–8]. A decrease in VO_{2max} is one of the clearest consequences of aging since, from the age of 30, it decreases by 10% every 10 years in people with

a sedentary lifestyle [9]. In addition, from the age of 60, this decrease in VO_{2max} is associated with reduced functional ability, a component related to the autonomy to carry out activities in daily life (i.e., walking or climbing stairs) [2]. Because of hormonal changes (i.e., menopause), it is more difficult to control this decrease in VO_{2max} in middle-aged and older women [9].

Nowadays, it is known that aerobic exercise is essential for maintaining health and functional capacity in this population [10–12]. In fact, many studies indicate that maintaining good cardiorespiratory fitness should be one of the main goals in women's exercise programs [13–15]. Consequently, governments and healthcare systems are significantly increasing the number of physical exercise programs directed at this population. One of the principal characteristics of these programs is that the training is done on a circuit. Circuit training consists of exercises involving all the muscle groups and it aims to simultaneously improve strength and cardiorespiratory fitness [16,17].

Research has indicated that moderate-intensity circuit training (MICT) improves VO_2 peak [18], blood pressure (BP) [19], and heart rate (HR) [20] in middle-aged and older people. However, high-intensity interval training (HIIT) has emerged as an alternative training method, remarkably in cardiac rehabilitation programs [21]. HIIT includes intervals of high-intensity aerobic exercise (85%–100% of VO_{2max}) interspersed with periods of relative rest (0%–40% of VO_{2max}) [22]. In fact, much research has shown strong evidence that HIIT is an effective method for improving VO_2 peak [21,23], BP [24,25] and post-exercise HR recovery [18,26] in people with cardiovascular diseases. Indeed, the literature shows a more favorable trend for HIIT than for MICT in improving health indices and markers [22].

Nonetheless, although the literature supports the benefits of HIIT in healthy middle-aged and older women, HIIT methodology (HIICT) has never been applied to circuit training in this population. HIICT may be an alternative training method for improving cardiorespiratory fitness and performance in daily activities due to integrated global multiplanar-based movements (squatting, pulling, etc.) performed at high speed, which makes it functional and highly transferable in older adults [27,28].

Therefore, our main objective was to compare the effects of HIICT versus MICT on the maximal oxygen consumption (VO_{2max}), heart rate (HR), and blood pressure (BP) of middle-aged and older women. Based on previous research, our hypothesis was that both HIICT and MICT would significantly improve the VO_{2max} , HR parameters, and BP in this population, with greater adaptations in the HIICT group.

2. Materials and Methods

2.1. Design

This 18-weeks quasi-experimental randomized controlled trial was registered prospectively with ClinicalTrials.gov (NCT03840330). The participants who qualified to participate in the study were randomly allocated to either a HIICT group ($n = 18$), a MICT group ($n = 18$), or a no-exercise control group (CG; $n = 18$). The trial design followed CONSORT guidelines and was approved by the University of Almería Bioethics Committee (UALBIO2019/006).

2.2. Participants

Ninety middle-aged and older women (67.8 ± 6.2 years) were invited to participate in the study. Recruitment took place between September 2017 and December 2017 from elderly day-care centers in Murcia (Spain). Prior to the beginning of the study, invited participants signed a consent form and performed a general medical evaluation to ensure that they were physically and mentally capable of following the training programs. As inclusion criteria, participants had to be women aged between 55 and 85 years, have full autonomy in their daily activities in accordance with the Lawton and Brody [29] and Katz [30] scales, have given no positive responses in the Physical Activity Readiness Questionnaire or a positive response to Item 6. This, therefore, included women with controlled hypertension but not women with cardiac, respiratory or joint diseases. Women who were participating or had previously

participated in a training program with similar exercises over the last three months, and women with uncontrolled hypertension, were also excluded. Participants had to complete at least 80% of the training sessions.

2.3. Interventions

Women in the intervention groups (HIICT and MICT) were required to train twice a week for 18 weeks, with each session lasting one hour. The intervention was implemented from January to May 2018. Participants assigned to the CG were encouraged to maintain their normal physical-activity habits. A graduate in Physical Activity and Sport Sciences directed all training sessions.

After a two-week familiarization period, the training programs were divided into four four-week mesocycles designed to be progressively more challenging. Each session was divided into (1) a warm-up period, (2) the main HIICT or MICT exercise programs, and (3) a cool-down period. The 6- to 20-points Borg scale of perceived exertion was used to control the training intensity [11]. The HIICT group exercises were performed at high speeds with the objective of reaching a 12–18-point rating of perceived exertion (RPE), while the MICT group exercises were performed at moderate speeds, the objective being to reach a 6–14 points RPE rating. An example of the training sessions and intensity progression that was implemented is given by Ballesta-García et al. [31].

2.4. Outcomes

The estimation of VO_{2max} (VO_{2max} -ES) was the primary outcome of this study, while the BP, HR, and maximal speed reached during the treadmill test were the secondary outcomes. The tests were performed on all participants before and after the exercise intervention programs. The pre-tests were done in January (2018) and the post-test was carried out in May (2018) over a one-week period.

The cardiorespiratory fitness test was performed on a treadmill (RUN 7411 Elite-PC, Runner, Cavezzo, Italy). A modified Bruce protocol graded exercise was used [32]. This is a triangular test in which the load was gradually increased every three minutes. The participants were encouraged to perform maximal exercise. Their maximal effort was verified when the maximum HR exceeded 85% of their theoretical maximum ($220 - \text{age}$). The test continued until the participants were exhausted, which was generally due to muscle and/or respiratory fatigue. Recovery was performed at 40% of the maximum peak exercise velocity and at a gradient of 0° . The VO_{2max} -ES was calculated from the formula described in the ACSM guidelines [33]. The maximal speeds reached were recorded.

HR parameters were monitored with a 12-lead electrocardiograph (Cardioline RealClick PC-based ECG, Trento, Italy). They were taken: 1) Every minute during the treadmill test and 2) a minute after finishing the treadmill test (HR_{rec}).

BP was checked with a sphygmomanometer (NCD Medical, Prestige medical 80, Dublin, Ireland) and a stethoscope at two different points in time: (1) Just after the end of treadmill test (BP_{ex}) and (2) one minute after the treadmill test (BP_{rec}).

Height and weight were measured using an electronic balance and a height rod (Seca 768), respectively, and body mass index (BMI) was calculated according to the formula: $BMI = \text{kg}/\text{m}^2$.

2.5. Sample size and Power

Rstudio 3.15.0 software was used for calculating sample size. The significance level was accepted at $p \leq 0.05$. According to the mean standard deviation established for the VO_{2max} test in previous studies [34,35] ($SD = 5.4 \text{ ml}/\text{kg}/\text{min}$) and an estimated error (d) of $1.45 \text{ mL}/\text{kg}/\text{min}$, a valid sample size for a 95% confidence interval (CI) was 53 ($n = CI^2 \times d^2/SD^2$). Forty-one women completed the study. The final sample size obtained for each group in our study (HIICT = 17, MICT = 12, CG = 12) gave powers of 81%, 65%, and 65%, respectively, if between and within a variance of 1.

2.6. Randomization and Blinding

All participants were assigned randomly into the groups in equal sample sizes (HIICT, MICT and CG, $n = 18$), with a block randomization method. Block size was determined based on the statistical power provided. Following Kim and Shin [36], Excel 2016 (Microsoft, Redmond, WA, USA) was used to create a randomization sequence. Randomization was performed in a 1:1 allocation via a random number table. Owing to the difficulty of blinding participants and instructors in the exercise trials, only the research staff performing the assessment and statistical analysis were blinded to the group assignment. Central allocation was the allocation concealment method selected.

2.7. Statistical Analysis

Jamovi 1.2.5 software (Jamovi Project 2018) and Rstudio 3.15.0 software (Rstudio inc., Boston, MA, USA) were used for data analysis. The normality of distribution was tested using the Kolmogorov-Smirnov test. Levene's test was performed to determine the homogeneity of variance. The statistical analysis was performed according to the intention-to-treat (ITT) principle (last observation carried forward). Descriptive data are reported as mean \pm SD and range. To compare variables before the intervention, analysis of variance (ANOVA) for repeated measures was calculated (the general linear model). The analysis of covariance (ANCOVA) was used to compare variables after the intervention. Baseline values were included as co-variables in order to adjust for potential baseline differences in the dependent variables. The age was also included as a co-variable because of the wide range considered in the present study (55–85 years). Cohen's effect size (ES) statistic and 95% confidence intervals (CI) were calculated to determine an ES difference [37]. Statistical significance was accepted at $p \leq 0.05$.

3. Results

The flow diagram is shown in Figure 1. Thirty-six women were not included in the study. A total of fifty-four participants were enrolled in the study and randomly distributed into HIICT, MICT, and CG. Finally, forty-one women (HIICT, $n = 17$; MICT, $n = 12$; GC, $n = 12$) completed the study. The study was completed in May 2018. Table 1 summarizes the baseline characteristics of the participants.

3.1. Inter-group Results

The inter-group results for the primary and secondary outcomes are presented in Table 2. The principal analysis of these results indicated that there was a significant training \times group interaction in the VO_{2max} -ES ($p = 0.002$, $F = 7.36$, $ES = 0.224$), the SBP_{ex} ($p = 0.038$, $F = 3.48$, $ES = 0.120$), the DBP_{ex} ($p = <0.001$, $F = 17.4$, $ES = 0.405$) and the maximal speed reached during treadmill test ($p = 0.001$).

- For VO_{2max} -ES, HIICT was statistically superior to the CG (dif = 3.4 ml/kg/min, $t = -3.73$) and MICT was also statistically superior to the CG (dif = 1.9 ml/kg/min, $t = -2.65$).
- For SBP_{ex} , HIICT was statistically better than the CG (dif = -6,39 mmHg, $t = -0.122$).
- For DBP_{ex} , HIICT was statistically better than the CG (dif = -5,00 mmHg, $t = -3.933$) and MICT was also statistically better than the CG (dif = -7,50 mmHg, $t = 3.989$).
- Finally, for maximal speed reached during treadmill test, HIICT was statistically superior to the CG (dif = 0.2 m/s, $t = -1.96$) and MICT was also statistically superior to the CG (dif = 0.57 m/s, $t = -2.96$).

3.2. Intra-group Results

The intra-group analysis (Table 3) showed a significant improvement in the VO_{2max} -ES, and the maximal speed reached during the treadmill test for both HIICT ($p < 0.001$) and MICT ($p < 0.010$ and $p < 0.015$, respectively). Regarding the SBP_{ex} , either MICT or the CG indicated a significant decrease ($p = 0.015$ and $p = 0.015$, respectively). Instead, a significant increase was observed in the SBP_{ex} for HIICT and MICT ($p < 0.003$ and $p = 0.002$, respectively), as well as a significant decrease for the CG ($p = 0.002$).

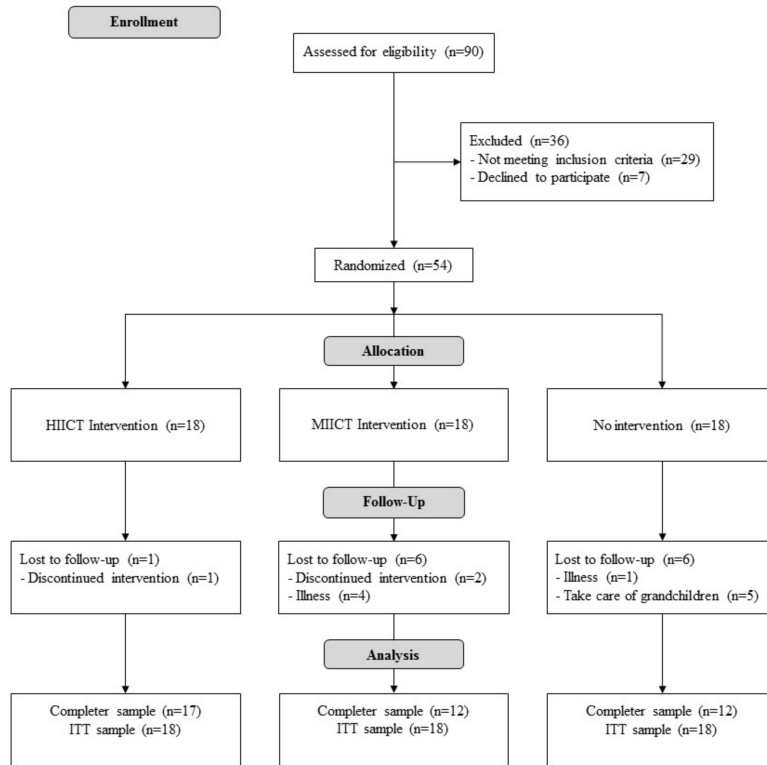


Figure 1. Study flow chart.

Table 1. Characteristics at baseline (n = 54).

Group	n	Mean	SD	Min	Max	p
Age (years)						
CG	18	67.4	5.71	59	75	0.370
MICT	18	70	8.76	55	86	
HIICT	18	66.3	5.44	57	76	
Body Mass Index (kg/m²)						
CG	18	31.2	4.89	20.9	38.4	0.689
MICT	18	30.1	3.08	24.3	35.9	
HIICT	18	30.4	4.13	35.2	37.7	
Maximal Oxygen Consumption estimated (ml/kg/min)						
CG	18	26.8	5.17	15.5	39.0	0.065
MICT	18	25.0	5.57	15.5	33.1	
HIICT	18	26.1	5.63	18.4	36.1	
Heart Rate peak (bpm)						
CG	18	144.94	15.4	108	170	0.719
MICT	18	150.78	22.6	119	193	
HIICT	18	148.83	17.7	93	173	
Heart Rate recovery (bpm)						
CG	18	79.5	8.1	68.2	91.3	<0.001
MICT	18	85	14.3	60.5	121	
HIICT	18	100	53.0	54.8	296	
Systolic Blood Pressure exercise (mmHg)						
CG	18	184	23.50	146	210	0.008
MICT	18	185	10.80	170	210	
HIICT	18	179	9.67	160	200	
Diastolic Blood Pressure exercise (mmHg)						
CG	18	76.9	13.2	50	95	0.003
MICT	18	56.9	9.3	40	75	
HIICT	18	58.3	6.9	50	75	
Systolic Blood Pressure recovery (mmHg)						
CG	18	152	16.2	120	175	0.042
MICT	18	156	13.6	140	190	
HIICT	18	151	11.7	135	180	
Diastolic Blood Pressure recovery (mmHg)						
CG	18	73.3	7.28	65	90	0.001
MICT	18	73.9	7.19	60	85	
HIICT	18	73.9	5.02	65	80	
Maximal speed reached during treadmill test (m/s)						
CG	18	4.94	0.809	3.2	6.7	0.054
MICT	18	4.66	0.899	3.2	5.9	
HIICT	18	4.86	0.910	3.7	6.4	

CG—Control Group, MICT—Moderate-Intensity Circuit Training, HIICT—High-Intensity Interval Circuit Training.

Table 2. ANCOVA interactions on HIICT, MICT, and CG.

Group	Increment				ANCOVA interactions (F, p, ES η^2)									
	n (ITT)	n (treated)	Mean	SD	Training x Group			Training x Baseline			Training x Age			
					F	p	ES η^2	F	p	ES η^2	F	p	ES η^2	
Maximal Oxygen Consumption estimated (ml/kg/min)														
CG	18	12	-0.80	-0.31										
MICT	18	12	1.90	-0.85	7.36	0.002 ^{1,2}	0.224	13.60	<0.001	0.171	0.11	0.742	0.002	
HIICT	18	17	3.40	0.12										
Heart Rate peak (bpm)														
CG	18	12	-4.33	-0.06										
MICT	18	12	-0.72	-4.70	3.26	0.074	0.002	2.56	0.115	0.043	8.18	0.006	0.070	
HIICT	18	17	-4.72	2.61										
Heart Rate recovery (bpm)														
CG	18	12	0.81	0.00										
MICT	18	12	-0.34	-3.65	1.92	0.156	0.070	37.844	<0.001	0.426	0.039	0.844	0.001	
HIICT	18	17	-19.85	-40.18										
Systolic Blood Pressure exercise (mmHg)														
CG	18	12	-15.40	-7.75										
MICT	18	12	-6.39	0.24	3.48	0.038 ²	0.120	37.66	<0.001	0.394	6.24	0.016	0.098	
HIICT	18	17	-3.06	-3.52										
Diastolic Blood Pressure exercise (mmHg)														
CG	18	12	-12.78	-5.10										
MICT	18	12	7.50	0.28	17.4	<0.001 ^{1,2}	0.405	8.37	<0.001	0.086	1.19	0.281	0.014	
HIICT	18	17	5.00	-0.68										
Systolic Blood Pressure recovery (mmHg)														
CG	18	12	-6.39	-4.70										
MICT	18	12	-5.84	-6.86	0.0587	0.943	0.002	76.01	<0.001	0.589	13.332	<0.001	0.207	
HIICT	18	17	-6.95	-6.21										
Diastolic Blood Pressure recovery (mmHg)														
CG	18	12	1.39	-2.00										
MICT	18	12	1.11	-2.04	0.0540	0.947	0.002	73.137	<0.001	0.592	5.3698	0.025	0.097	
HIICT	18	17	2.22	-0.30										
Maximal speed reached during treadmill test (m/s)														
CG	18	12	-0.08	-0.01										
MICT	18	12	0.51	-0.14	7.68	0.001 ^{1,2}	0.231	10.28	0.023	0.134	0.317	0.575	0.005	
HIICT	18	17	0.20	0.07										
Body Mass Index (kg/m²)														
CG	18	12	0.30	-0.05										
MICT	18	12	-0.10	1.47	6.99	0.002 ²	0.215	3.02	0.088	0.046	0.217	0.643	0.003	
HIICT	18	17	-0.30	0.47										

ITT—Intention to treat, SD—Standard deviation, CG—Control Group, MICT—Moderate-Intensity Circuit Training, HIICT—High-Intensity Interval Circuit Training. ¹ denotes significant differences in MICT compared to CG, ² denotes significant differences in HIICT compared to CG, Statistically significant differences at $p \leq 0.05$ are given in bold.

Regarding safety, five women (four in MICT and one in the CG) presented adverse events. None of these adverse events occurred during the training sessions (one eye surgery, foot surgery, clavicle fracture, and two hip fractures after a fall).

Table 3. Intra-group differences on HIICT, MICT, and CG.

Variables	Pre-training			Post-Training			p	95% CI for MD		Cohen's d
	n	Mean	SD	n	Mean	SD		Lower	Upper	
Maximal Oxygen Consumption estimated (mL/kg/min)										
CG	18	26.8	5.17	12	26.00	4.86	0.288	−0.753	2.386	0.14
MICT	18	25.0	5.57	12	26.90	4.72	0.010	−3.378	−0.541	0.32
HIICT	18	26.1	5.63	17	29.50	5.75	<0.001	−3.968	−0.441	0.58
Heart Rate peak (bpm)										
CG	18	144.94	15.41	12	140.61	15.35	0.066	−0.316	8.983	0.26
MICT	18	150.78	22.64	12	150.06	17.94	0.770	−4.408	5.853	0.03
HIICT	18	148.83	17.76	17	144.11	20.37	0.125	−1.444	10.888	0.25
Heart Rate recovery (bpm)										
CG	18	79.54	8.13	12	80.35	8.13	0.669	−4.737	3.117	0.09
MICT	18	85.01	14.32	12	84.67	10.67	0.916	−6.204	6.871	0.02
HIICT	18	100.16	52.98	17	80.31	12.80	0.105	−4.629	44.327	0.36
Systolic Blood Pressure exercise (mmHg)										
CG	18	184.28	23.52	12	168.88	15.77	0.002	6.335	24.442	0.58
MICT	18	185.00	10.84	12	178.61	11.08	0.015	1.430	11.347	0.55
HIICT	18	178.61	9.67	17	175.55	6.15	0.213	−1.927	8.038	0.30
Diastolic Blood Pressure exercise (mmHg)										
CG	18	76.94	13.18	12	64.16	8.08	0.002	5.186	20.368	0.90
MICT	18	56.94	9.25	12	64.44	9.53	0.002	−11.699	−3.300	0.75
HIICT	18	58.33	6.86	17	63.33	6.18	0.003	−8.075	−1.925	0.69
Systolic Blood Pressure recovery (mmHg)										
CG	18	151.94	16.19	12	145.55	11.49	0.020	1.145	11.632	0.37
MICT	18	155.56	13.60	12	149.72	6.74	0.019	1.065	10.600	0.40
HIICT	18	151.11	11.70	17	144.16	5.49	0.028	0.845	13.043	0.57
Diastolic Blood Pressure recovery (mmHg)										
CG	18	73.33	7.27	12	74.72	5.27	0.462	−5.279	2.501	0.18
MICT	18	73.89	7.18	12	75.00	5.14	0.570	−2.258	2.703	0.14
HIICT	18	73.89	5.01	17	76.11	4.71	0.215	−5.862	1.418	0.42
Maximal speed reached during treadmill test (m/s)										
CG	18	4.94	0.80	12	4.86	0.79	0.448	−0.143	0.309	0.09
MICT	18	4.47	0.90	12	4.98	0.77	0.015	−0.544	−0.067	0.53
HIICT	18	5.21	0.82	17	5.41	0.89	0.001	−0.685	−0.203	0.23
Body Mass Index (kg/m²)										
CG	18	31.2	4.89	12	31.5	5.05	0.019	−0.52	−0.53	0.06
MICT	18	30.1	3.08	12	30.0	3.15	0.140	−0.02	0.29	0.03
HIICT	18	30.4	4.13	17	30.1	4.24	0.035	0.02	0.60	0.07

SD—Standard deviation, CG—Control Group, MICT—Moderate-Intensity Circuit Training, HIICT—High-Intensity Interval Circuit Training, Statistically significant differences at $p \leq 0.05$ are given in bold.

4. Discussion

The aim of this trial was to investigate what type of training (HIICT or MICT) produces improved adaptations in VO_{2max} -ES, HR parameters and BP of middle-aged and older women. The findings regarding the primary outcome suggest that both high- and moderate-intensity circuit training led to significant adaptations in the VO_{2max} -ES. In addition, both the HR_{ex} and the one-minute HR recovery after the treadmill test remained unchanged in all groups. Moreover, SBP_{ex} and DBP_{ex} were better in HIICT than in the control group. Finally, the maximal speed reached in the treadmill test was higher in HIICT and MICT than in the control group. These results highlight that HIICT and MICT could play a leading role in the maintenance of good health in middle-aged and older women, although the differentiating effect of HIICT relies on the need to apply a lower total workload, as evidenced by Ballesta et al. [31].

According to VO_{2max} -ES results, our study showed a significant improvement in the treadmill test after the 18-week training period for both the HIICT and MICT groups, with significant differences to the CG. Although there were no significant differences between HIICT and MICT, a higher effect size was obtained in HIICT (ES = 0.58) compared to MICT (ES = 0.32). Therefore, there seems to be a greater trend for VO_{2max} -ES improvement in HIIT than in MICT. Our results are in accordance with various studies showing that the application of both HIICT and MICT succeeded in increasing the VO_{2max} values for subjects with cardiovascular diseases [4,24], as well as in healthy elderly and middle-aged people [38]. Similarly, in line with the better trend shown by HIICT, a meta-analysis showed that HIIT improved VO_{2max} more than MICT in overweight or obese adults [39]. Despite the fact that our study measured the VO_{2max} estimated, the tendency of the results was in the same line. It is not clear why there was no significant difference in VO_{2max} -ES between HIICT and MICT in our study. The absence of differences might be due to the fact that the HIICT group did not manage to reach a higher lower limbs speed during training due to the duality of movement and complexity of tasks. This manifested in a similar strength gain to that reported by Ballesta-García et al. [31]. On the other hand, in a recently published meta-analysis, Muñoz-Martínez et al. [16] also cite the effectiveness of circuit training on VO_{2max} . On this matter, Chicharro et al. [22] and Muñoz-Martínez et al. [16] indicated that both HIIT and circuit training increase VO_{2max} as a consequence of central and peripheral adaptations, mainly due to increased cardiac output. Therefore, the training methodology carried out in our study could be the cause of the results obtained for VO_{2max} -ES.

Consequently, given that there were no significant changes in the HR peak, we could say that the increase in VO_{2max} -ES could be related to changes in the stroke volume. These results are in line with those shown by different studies. For example, Wisløff et al. [8] obtained a significant increase in cardiac output, stroke volume, and VO_2 peak after a 12-week period of HIIT, with no changes in the HR peak. However, Connolly et al. [40] showed that HIIT, not MICT, was effective at increasing the HR peak achieved during a treadmill test in healthy premenopausal women. An animal study concludes that this response appears to be linked to cellular adaptations, such as the rate of Ca^{2+} cycle and the Ca^{2+} sensitivity of cardiomyocytes, produced by HIIT [41]. The relevance of our results on HR peak parameters comes from the fact that different studies have identified its reduction as being the mechanism that causes a decrease in VO_{2max} with aging [9]. Indeed, our results showed that age had an influence on the VO_{2max} -ES, with less variation in the group that had older participants (MICT group). With regard to the HR recovery rate, our results are in line with those reflected in the literature, since no intervention group obtained significant changes. In contrast to our results, Villedaiteia-Jaureguizar et al. [18] achieved faster recoveries in coronary heart-disease patients undergoing HIIT at one and two minutes after a treadmill test. However, this did not happen in the MICT group. This result could be associated with both improved endothelial function and decreased pro-inflammatory response during exercise. One study suggests that, unlike in young people, physical exercise is not able to maintain correct autonomic nervous system activation in middle-aged and older women [42]. In this regard, our results went further because there is a relationship between HR recovery and mortality risk [43,44]. Akyüz et al. [45] state that when ≤ 21 bpm is recovered after the first minute of the treadmill test, it is an indicator of the coronary artery disease (CAD) risk. Considering our results in terms of HR peak and HR recovery, we could say that physical exercise could contribute to better cardiovascular health. However, HR results must be treated with caution. Their interpretation is complex because the variable can be influenced by both internal and external factors [20].

Regarding the analysis results for BP_{ex} , HIICT was significantly different from CG both SBP_{ex} and DBP_{ex} , while the MICT group only obtained significant differences with respect to CG at DBP_{ex} . In accordance with our results, Tanaka et al. [46] suggest that endurance-trained subjects manage to achieve higher maximal SBP values. Similarly, Villedaiteia-Jaureguizar et al. [18] showed significant differences between HIIT and MICT after an eight-week training program in CAD patients. Although the mechanisms for increasing SBP during exercise are not clear, a possible explanation for the results obtained might be the workload achieved by the HIIT group during the treadmill test. Tanaka et al. [46]

suggest that achieving higher SBP values is a normal adaptive response to increased cardiac output in subjects trained in aerobic endurance, which would be consistent with our VO_{2max} -ES results. Regarding the MICT results, and according to the significant interaction of age obtained in this variable, the fact that this was the oldest group may be the reason for the significant decrease in their SBP_{ex} values [47,48]. With regard to the DBP_{ex} , Chicharro et al. [49] argue that a decrease in peripheral vascular resistance caused by vasodilation can reduce maximal DBP within certain physiological limits even though this is an anomalous response. Given that all our groups presented maximal DBP hypotension during the treadmill test, the significant increase obtained by the HIICT and MICT groups is a positive effect because the participants maintained a more stable DBP_{ex} . Likewise, the significant decrease obtained by the CG could be a consequence of their effort. These results are highly relevant since abnormal DBP response during exercise is associated with an increase in cardiovascular events and mortality [50].

Even though there were no significant differences in SBP or DBP post-exercise recovery between the groups, there was a significant decrease in SBP post-exercise recovery for all of them. However, hypotension below the initial test values did not occur in any of the groups. As indicated by Chicharro et al. [49], there is a rapid drop in both SBP and DBP after exercise. Le et al. [51], on the other hand, indicate that when SBP falls below rest levels, it is a predictive indicator of cardiovascular events. Therefore, although there is a significant reduction in SBP following exercise, it is not an abnormal response. In short, the BP results obtained indicate the positive effect on the cardiovascular health of aerobic physical exercise (especially high-intensity exercise) in middle-aged and older women.

Finally, the maximal speed reached on the treadmill test increased significantly in both HIICT and MICT groups ($p = 0.001$ and $p = 0.015$, respectively). These results are in line with the increase in VO_{2max} -ES. Furthermore, these results could be related to an improved acid-base balance at maximal intensities, as pointed out by Villedaiteia-Jauregizar et al. [18]. On the other hand, in the same line as Ayabe et al. [52], our results showed no interaction between maximal speed reached on the treadmill test and BMI.

The force of this research was demonstrating the positive effects of HIICT and MICT on VO_{2max} -ES and DBP_{ex} in healthy middle-aged and older women. The clinical implications of the present study relate to the importance of HIICT and MICT as potentially effective methods for improving cardiovascular health in middle-aged and older women, and consequently, on their autonomy to carry out daily activities and on their improved quality of life. In addition, the feasibility of this kind of circuit training means that it can be easily implemented and requires only low-cost materials.

There are several limitations of this study that are worth mentioning—firstly, the use of the estimation of VO_{2max} by ACSM's equation, since we did not have a gas analyzer to measure it directly, secondly, the wide age range of the sample and the non-blinding of participants and instructors, thirdly, this trial included only a small number of participants, whereas a larger sample size would have helped to quantify the changes resulting from this exercise training more accurately, fourthly, the difficulty that our methodology faced in controlling that all the participants were successfully encouraged to achieve the planned intensity, and finally, the use of the Borg scale to assess exercise intensity. Although the HR is more accurate, it was only used during the familiarization phase because the Borg scale is a more useful and practical tool to guide exercise intensity in daily practice.

5. Conclusions

The results of this study suggest that both HIICT and MICT are an effective training method for improving VO_{2max} -ES, DBP_{ex} , and maximal speed reached on the treadmill test. On the other hand, HIICT generated better adaptations for the SBP_{ex} than did CG. These results contribute to improved autonomy in carrying out daily activities as well as in preventing the risk of cardiovascular diseases in middle-aged and older women. Our results also reflect the importance of HIICT and MICT in maintaining the health and quality of life of this population.

Author Contributions: Formal analysis, I.B.-G.; investigation, I.M.-G.-M., D.J.R.-C. and M.C.-P.; methodology, I.B.-G., I.M.-G.-M., and M.C.-P.; project administration, M.C.-P.; supervision, M.C.-P.; writing—original draft, I.B.-G. and D.J.R.-C.; writing—review & editing, I.M.-G.-M. and M.C.-P. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Acknowledgments: Our appreciation is extended to the women who participated in this study, as well as to the Town Halls of Murcia and Alcantarilla (Murcia) for allowing us to carry out the training intervention programs at their facilities. We would also like to thank Iniciativas Locales S.L. for supporting the program's implementation. This research was realized within the Doctorate in Education Program framework of the University of Almería (UAL).

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Blain, H.; Masud, T.; Dargent-Molina, P.; Martin, F.C.; Rosendahl, E.; van der Velde, N.; Bousquet, J.; Benetos, A.; Cooper, C.; Kanis, J.A.; et al. A comprehensive fracture prevention strategy in older adults: The European Union Geriatric Medicine Society (EUGMS) statement. *Ageing Clin. Exp. Res.* **2016**, *28*, 797–803. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
2. World Health Organization. World Report on Ageing and Health. Available online: <https://population.un.org/wpp/> (accessed on 13 September 2019).
3. Murias, J.M.; Paterson, D.H. Slower VO₂ Kinetics in Older Individuals: Is It Inevitable? *Med. Sci. Sports Exerc.* **2015**, *47*, 2308–2318. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
4. Amundsen, B.H.; Rognmo, Ø.; Hatlen-Rebhan, G.; Slørdahl, S.A. High-intensity aerobic exercise improves diastolic function in coronary artery disease. *Scand. Cardiovasc. J. SCJ.* **2008**, *42*, 110–117. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
5. Cardozo, G.G.; Oliveira, R.B.; Farinatti, P.T.V. Effects of high intensity interval versus moderate continuous training on markers of ventilatory and cardiac efficiency in coronary heart disease patients. *Sci. World J.* **2015**, *2015*, 1–8. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
6. Guiraud, T.; Juneau, M.; Nigam, A.; Gayda, M.; Meyer, P.; Mehary, S.; Paillard, F.; Bosquet, L. Optimization of high intensity interval exercise in coronary heart disease. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2010**, *108*, 733–740. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
7. Madssen, E.; Arbo, I.; Granøien, I.; Walderhaug, L.; Moholdt, T. Peak oxygen uptake after cardiac rehabilitation: A randomized controlled trial of a 12-month maintenance program versus usual care. *PLoS ONE* **2014**, *9*, 733–740. [[CrossRef](#)]
8. Wisløff, U.; Støylen, A.; Loennechen, J.P.; Bruvold, M.; Rognmo, Ø.; Haram, P.M.; Tjønnå, A.E.; Helgerud, J.; Slørdahl, S.A.; Lee, S.J.; et al. Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: A randomized study. *Circulation* **2007**, *115*, 3086–3094. [[CrossRef](#)]
9. Hawkins, S.; Wiswell, R. Rate and mechanism of maximal oxygen consumption decline with aging: Implications for exercise training. *Sports Med. Auckl. NZ.* **2003**, *33*, 877–888. [[CrossRef](#)]
10. Clegg, A.; Young, J.; Iliffe, S.; Rikkert, M.O.; Rockwood, K. Frailty in elderly people. *Lancet Lond. Engl.* **2013**, *381*, 752–762. [[CrossRef](#)]
11. Cesari, M.; Vellas, B.; Hsu, F.-C.; Newman, A.B.; Doss, H.; King, A.C.; Manini, T.M.; Church, T.; Gill, T.M.; Miller, M.E.; et al. A physical activity intervention to treat the frailty syndrome in older persons—results from the LIFE-P study. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **2015**, *70*, 216–222. [[CrossRef](#)]
12. Goodpaster, B.H.; Park, S.W.; Harris, T.B.; Kritchevsky, S.B.; Nevitt, M.; Schwartz, A.V.; Simonsick, E.M.; Tylavsky, F.A.; Visser, M.; Newman, A.B. The loss of skeletal muscle strength, mass, and quality in older adults: The health, aging and body composition study. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **2006**, *61*, 1059–1064. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
13. Laddu, D.R.; Wertheim, B.C.; Garcia, D.O.; Brunner, R.; Groessl, E.; Shadyab, A.H.; Going, S.B.; LaMonte, M.J.; Cannell, B.; LeBroff, M.S.; et al. Associations between self-reported physical activity and physical performance measures over time in postmenopausal women: The women's health initiative. *J. Am. Geriatr. Soc.* **2017**, *65*, 2176–2181. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
14. Masley, S.C.; Roetzheim, R.; Clayton, G.; Presby, A.; Sundberg, K.; Masley, L.V. Lifestyle markers predict cognitive function. *J. Am. Coll. Nutr.* **2017**, *36*, 617–623. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

15. Bunout, D.; Barrera, G.; Hirsch, S.; Jimenez, T.; de la Maza, M.P. Association between activity energy expenditure and peak oxygen consumption with sarcopenia. *BMC Geriatr.* **2018**, *18*, 298–306. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
16. Muñoz-Martínez, F.A.; Rubio-Arias, J.Á.; Ramos-Campo, D.J.; Alcaraz, P.E. Effectiveness of resistance circuit-based training for maximum oxygen uptake and upper-body one-repetition maximum improvements: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med. Auckl. NZ.* **2017**, *47*, 2553–2568. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
17. Ramos-Campo, D.L.; Martínez-Guardado, I.; Olcina, G.; Marín-Pagán, C.; Martínez-Noguera, F.J.; Carlos-Vivas, J.; Alcaraz, P.E.; Rubio-Arias, J.Á. Effect of high-intensity resistance circuit-based training in hypoxia on aerobic performance and repeat sprint ability. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2018**, *28*, 2135–2143. [[CrossRef](#)]
18. Villelabeitia-Jaureguizar, K.; Vicente-Campos, D.; Senen, A.B.; Jiménez, V.H.; Garrido-Lestache, M.E.B.; López Chicharro, J.L. Effects of high-intensity interval versus continuous exercise training on post-exercise heart rate recovery in coronary heart-disease patients. *Int. J. Cardiol.* **2017**, *244*, 17–23. [[CrossRef](#)]
19. Molisz, A.; Schmederer, Z.; Siebert, J.; Kadamani, T.; Glasner, P.; Rostlonkiewicz, K.; Nowicka-Sauer, K.; Gutknecht, P.; Trzeciak, B.; Suchanowski, A. Haemodynamic parameters in postmenopausal women—beneficial effect of moderate continuous exercise training. *Ann. Agric. Environ. Med.* **2019**, *26*, 425–428. [[CrossRef](#)]
20. Huang, G.; Shi, X.; Davis-Brezette, J.A.; Osness, W.H. Resting heart rate changes after endurance training in older adults: A meta-analysis. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2005**, *37*, 1381–1386. [[CrossRef](#)]
21. Ballesta-García, I.; Rubio Arias, J.Á.; Ramos Campo, D.J.; Martínez González-Moro, I.; Carrasco Poyatos, M. High-intensity interval training dosage for heart failure and coronary artery disease cardiac rehabilitation: A systematic review and meta-analysis. *Rev. Espanola Cardiol. Engl. Ed.* **2019**, *72*, 233–243. [[CrossRef](#)]
22. López Chicharro, J.; Vicente Campos, D. *HIIT de la teoría a la práctica*; Exercise Physiology & Training; Madrid, Spain, 2018.
23. Hwang, C.-L.; Yoo, J.-K.; Kim, H.-K.; Hwang, M.-H.; Handberg, E.M.; Petersen, J.W.; Christou, D.D. Novel all-extremity high-intensity interval training improves aerobic fitness, cardiac function and insulin resistance in healthy older adults. *Exp. Gerontol.* **2016**, *82*, 112–119. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
24. Costa, E.C.; Hay, J.L.; Kehler, D.S.; Bokesie, K.F.; Arora, R.C.; Umpierre, D.; Szwajcer, A.; Duhamel, T.A. Effects of high-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training on blood pressure in adults with pre- to established hypertension: A systematic review and meta-analysis of randomized trials. *Sports Med. Auckl. NZ.* **2018**, *48*, 2127–2142. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
25. Olea, M.A.; Mancilla, R.; Martínez, S.; Díaz, E. Effects of high intensity interval training on blood pressure in hypertensive subjects. *Rev. Med. Chil.* **2017**, *145*, 1154–1159. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
26. Grace, F.; Herbert, P.; Elliott, A.D.; Richards, J.; Beaumont, A.; Sculthorpe, N.F. High intensity interval training (HIIT) improves resting blood pressure, metabolic (MET) capacity and heart rate reserve without compromising cardiac function in sedentary aging men. *Exp. Gerontol.* **2018**, *109*, 75–81. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
27. Laredo-Aguilera, J.A.; Carmona-Torres, J.M.; García-Pinillos, F.; Latorre-Román, P.Á. Effects of a 10-week functional training programme on pain, mood state, depression, and sleep in healthy older adults. *Psychogeriatr. Off. J. Psychogeriatr. Soc.* **2018**, *18*, 292–298. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
28. Araújo-Santos, J.C.; De Resende-Neto, A.G.; Nogueira, A.C.; de Feitosa-Neta, M.L.; Brandão, L.H.; Chaves, L.M.; da Silva-Grigoletto, M.E. The effects of functional and traditional strength training on different strength parameters of elderly women: A randomized and controlled trial. *J. Sports Med. Phys. Fitness* **2019**, *59*, 380–386. [[CrossRef](#)]
29. Lawton, M.P.; Brody, E.M. Assessment of older people: Self-maintaining and instrumental activities of daily living. *Gerontologist* **1969**, *9*, 179–186. [[CrossRef](#)]
30. Katz, S.; Ford, A.B.; Moskowitz, R.W.; Jackson, B.A.; Jaffe, M.W. Studies of illness in the aged. The index of ADL: A standardized measure of biological and psychosocial function. *JAMA* **1963**, *185*, 914–919. [[CrossRef](#)]
31. Ballesta-García, I.; Martínez-González-Moro, I.; Rubio-Arias, J.Á.; Carrasco-Poyatos, M. High-Intensity Interval Circuit Training Versus Moderate-Intensity Continuous Training on Functional Ability and Body Mass Index in Middle-Aged and Older Women: A Randomized Controlled Trial. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2019**, *16*, 4205. [[CrossRef](#)]
32. Fielding, R.A.; Frontera, W.R.; Hughes, V.A.; Fisher, E.C.; Evans, W.J. The reproducibility of the Bruce protocol exercise test for the determination of aerobic capacity in older women. *Med. Sci. Sports Exerc.* **1997**, *29*, 1109–1113. [[CrossRef](#)]

33. Kenney, W.L.; Humphrey, R.H.; Bryant, C.X.; Mahler, D.A. *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*; Williams & Wilkins: Baltimore, MD, USA, 1995.
34. Nugent, S.F.; Jung, M.E.; Bourne, J.E.; Loeppky, J.; Arnold, A.; Little, J.P. The influence of high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training on sedentary time in overweight and obese adults. *Appl. Physiol. Nutr. Metab. Physiol. Appl. Nutr. Metab.* **2018**, *43*, 747–750. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
35. Dünwald, T.; Melmer, A.; Gatterer, H.; Salzmann, K.; Ebenbichler, C.; Burtscher, M.; Schobersberger, W.; Grandner, W. Supervised Short-term High-intensity Training on Plasma Irisin Concentrations in Type 2 Diabetic Patients. *Int. J. Sports Med.* **2019**, *40*, 158–164. [[CrossRef](#)]
36. Kim, J.; Shin, W. How to Do Random Allocation (Randomization). *Clin. Orthop. Surg.* **2014**, *6*, 103–109. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
37. Hopkins, W.G.; Marshall, S.W.; Batterham, A.M.; Hanin, J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2009**, *41*, 3–13. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
38. Boukabous, I.; Marcotte-Chénard, A.; Amamou, T.; Boulay, P.; Brochu, M.; Tessier, D.; Riesco, E. Low-Volume High-Intensity Interval Training (HIIT) versus Moderate-Intensity Continuous Training on Body Composition, Cardiometabolic Profile and Physical Capacity in Older Women. *J. Aging Phys. Act.* **2019**, *27*, 1–34.
39. Su, L.; Fu, J.; Sun, S.; Zhao, G.; Cheng, W.; Dou, C.; Quan, M. Effects of HIIT and MICT on cardiovascular risk factors in adults with overweight and/or obesity: A meta-analysis. *PLoS ONE* **2019**, *14*, e0210644. [[CrossRef](#)]
40. Connolly, L.J.; Bailey, S.J.; Krstrup, P.; Fulford, J.; Smietanka, C.; Jones, A.M. Effects of self-paced interval and continuous training on health markers in women. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2017**, *117*, 2281–2293. [[CrossRef](#)]
41. Kemi, O.J.; Ellingsen, Ø.; Ceci, M.; Grimaldi, S.; Smith, G.L.; Condorelli, G.; Wisløff, U. Aerobic interval training enhances cardiomyocyte contractility and Ca²⁺ cycling by phosphorylation of CaMKII and Thr-17 of phospholamban. *J. Mol. Cell Cardiol.* **2007**, *43*, 354–361. [[CrossRef](#)]
42. Njemanze, H.; Warren, C.; Eggett, C.; MacGowan, G.A.; Bates, M.G.D.; Siervo, M.; Ivkovic, S.; Trenell, M.I.; Jakovljevic, D.G. Age-related decline in cardiac autonomic function is not attenuated with increased physical activity. *Oncotarget* **2016**, *7*, 76390–76397. [[CrossRef](#)]
43. Qiu, Z.; Zheng, K.; Zhang, H.; Feng, J.; Wang, L.; Zhou, H. Physical Exercise and Patients with Chronic Renal Failure: A Meta-Analysis. *BioMed Res. Int.* **2017**, *2017*, 7191826. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
44. Arbit, B.; Azarbal, B.; Hayes, S.W.; Gransar, H.; Germano, G.; Friedman, J.D.; Thomson, L.; Berman, D.S. Prognostic Contribution of Exercise Capacity, Heart Rate Recovery, Chronotropic Incompetence, and Myocardial Perfusion Single-Photon Emission Computerized Tomography in the Prediction of Cardiac Death and All-Cause Mortality. *Am. J. Cardiol.* **2015**, *116*, 1678–1684. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
45. Akyüz, A.; Alpsoy, S.; Akkoyun, D.Ç.; Degirmenci, H.; Güler, N. Heart rate recovery may predict the presence of coronary artery disease. *Anadolu. Kardiyol. Derg.* **2014**, *14*, 351–356. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
46. Tanaka, H.; Bassett, D.R.; Turner, M.J. Exaggerated blood pressure response to maximal exercise in endurance-trained individuals. *Am. J. Hypertens* **1996**, *9*, 1099–1103. [[CrossRef](#)]
47. Martin, W.H.; Ogawa, T.; Kohrt, W.M.; Malley, M.T.; Korte, E.; Kieffer, P.S.; Schechtman, K.B. Effects of aging, gender, and physical training on peripheral vascular function. *Circulation* **1991**, *84*, 654–664. [[CrossRef](#)]
48. Daida, H.; Allison, T.G.; Squires, R.W.; Miller, T.D.; Gau, G.T. Peak exercise blood pressure stratified by age and gender in apparently healthy subjects. *Mayo. Clin. Proc.* **1996**, *71*, 445–452. [[CrossRef](#)]
49. López Chicharro, J.L.; Vaquero, A.F. *Physiology of Exercise*; Editorial Médica Panamericana: Madrid, Spain, 2006.
50. Bermúdez, C. Valoración de la presión arterial en la ergometría. *Rev. Urug. Cardiol.* **2012**, *27*, 399–404.
51. Le, V.-V.; Mitiku, T.; Sungar, G.; Myers, J.; Froelicher, V. The blood pressure response to dynamic exercise testing: A systematic review. *Prog. Cardiovasc. Dis.* **2008**, *51*, 135–160. [[CrossRef](#)]
52. Ayabe, M.; Aoki, J.; Kumahara, H.; Ishii, K.; Yonei, Y.; Tanaka, H. Effects of Age and Body Mass Index on Accuracy of Simple Moderate Vigorous Physical Activity Monitor Under Controlled Condition. *Anti Aging Med.* **2011**, *8*, 31–47. [[CrossRef](#)]

