

Artículo original

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



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

^aDepartamento de Educación, Facultad de Educación, Universidad de Almería, Almería, España

^bDepartamento de Actividad Física y Ciencias del Deporte, Facultad del Deporte, Universidad Católica San Antonio, Murcia, España

^cCentro de Investigación en Alto Rendimiento, Universidad Católica San Antonio, Murcia, España

^dDepartamento de Fisioterapia, Facultad de Medicina, Universidad de Murcia, Murcia, España

Historia del artículo:

Recibido el 12 de septiembre de 2017

Aceptado el 19 de febrero de 2018

On-line el 4 de julio de 2018

Palabras clave:

Ejercicio interválico de alta intensidad

Ejercicio interválico

VO_{2máx}

Insuficiencia cardiaca

Enfermedad arterial coronaria

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 ($p = 0,1$).

Conclusiones: El EIAI 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.

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

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

ABSTRACT

Introduction and objectives: High-intensity interval 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 ($P = .1$).

Keywords:

High-intensity interval training

Interval training

Peak VO₂

Heart failure

Coronary artery disease

* Autor para correspondencia: Facultad de Educación, Universidad de Almería, Carretera Sacramento s/n, 04120 La Cañada, Almería, España.
Correo electrónico: carrasco@ual.es (M. Carrasco Poyatos).

Conclusions: The HIT is an effective method for improving peak VO_2 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 VO_2 in HF patients. Training frequency should be ≥ 2 d/wk for CAD patients and ≥ 3 d/wk for HF patients.

Full English text available from: www.revespcardiol.org/en

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

Abreviaturas

EAC: enfermedad arterial coronaria
EIAI: ejercicio interválico de alta intensidad
IC: insuficiencia cardíaca
 $\text{VO}_{2\text{máx}}$: consumo máximo de oxígeno

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 año¹. La cardiopatía isquémica y la insuficiencia cardíaca (IC) crónica son enfermedades mortales y causan 8,76 millones de muertes en todo el mundo² y un mayor gasto al sistema de asistencia sanitaria³. Esta EAC reduce la tolerancia al ejercicio o el consumo máximo de oxígeno ($\text{VO}_{2\text{máx}}$), lo cual acaba desembocando en una disfunción cardíaca, respiratoria y endotelial⁴. Además, la IC es el estadio final de todas las enfermedades cardiovasculares, puesto que afecta tanto a la función cardíaca como a la circulación cardiovascular⁵. 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 ejercicio⁴.

Actualmente, está ampliamente demostrado que uno de los efectos beneficiosos del ejercicio aeróbico es el aumento del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ ^{6–9}, que es uno de los más importantes indicadores de supervivencia de las personas con EAC^{5,10–13} o IC⁵. Se ha estudiado el entrenamiento de ejercicio aeróbico continuo para los programas de rehabilitación cardíaca. Consiste en realizar ejercicio durante un tiempo largo mediante una actividad aeróbica de intensidad moderada y no variable (un 60–80% del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ ^{5,9,11,12,14}). Sin embargo, los actuales protocolos de ejercicio interválico de alta intensidad (EIAI) están generando mejores resultados en el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ en menos tiempo^{9,13–16}. Estos protocolos consisten en cortos periodos de ejercicio de alta intensidad (un 85–100% del $\text{VO}_{2\text{máx}}$) y periodos de descanso relativo^{10,15}. Una sesión habitual de EIAI consiste en un precalentamiento de 10 min a un 50–70% del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ seguido de una serie de 4 rondas de 3–4 min^{5,10–13,15–23} (protocolo de EIAI con un intervalo de trabajo largo) o de una serie de 10 rondas de 30–60 s^{6–9,24} (protocolo de EIAI con un intervalo de trabajo corto) a un 85–95% del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ separados por pausas activas a un 50–70% del $\text{VO}_{2\text{máx}}$. El protocolo termina con una vuelta a la calma a un 50–70% del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ ²⁵ (figura 1). Sin embargo, aunque se sabe que el EIAI produce su máximo efecto en el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ de los pacientes con EAC o IC^{5,13,15,16,21}, ha habido muchas diferencias en los protocolos de ejercicio propuestos en este ámbito, que afectan a la frecuencia (2–5 días/semana)^{8,11,14,24}, la duración (30–60 min/sesión)^{15,24,26}, la intensidad de la recuperación (de 0 al 70% del $\text{VO}_{2\text{máx}}$)^{6,9,17,21}, el número de sesiones (> 100 sesiones)¹³, la duración del periodo de aplicación (4–50 semanas)^{8,13,16,18} e incluso las características de los pacientes^{11,17,21}. Identificar la influencia de estas variables en el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ podría ser útil para optimizar los programas de rehabilitación cardíaca para los pacientes con IC o EAC.

Además, otros estudios se han centrado en la identificación de qué tipo de intervención de EIAI 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^{10,27}. Sin embargo, hoy no se sabe cuál es el mejor protocolo de EIAI para una u otra enfermedad ni cuál es la mejor cantidad de este tipo de ejercicio para mejorar el programa de rehabilitación cardíaca en cada enfermedad.

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

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*)²⁸. Realizaron la búsqueda 2 de los autores (I. Ballesta García y J.A. 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 EIAI para pacientes con EAC o IC y se midiera el $\text{VO}_{2\text{máx}}$. Se excluyeron los estudios basados en programas de EIAI acuáticos, los que combinaran el EIAI con un entrenamiento de resistencia, los de EIAI domiciliario, los que consideraran los resultados de $\text{VO}_{2\text{máx}}$ 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.

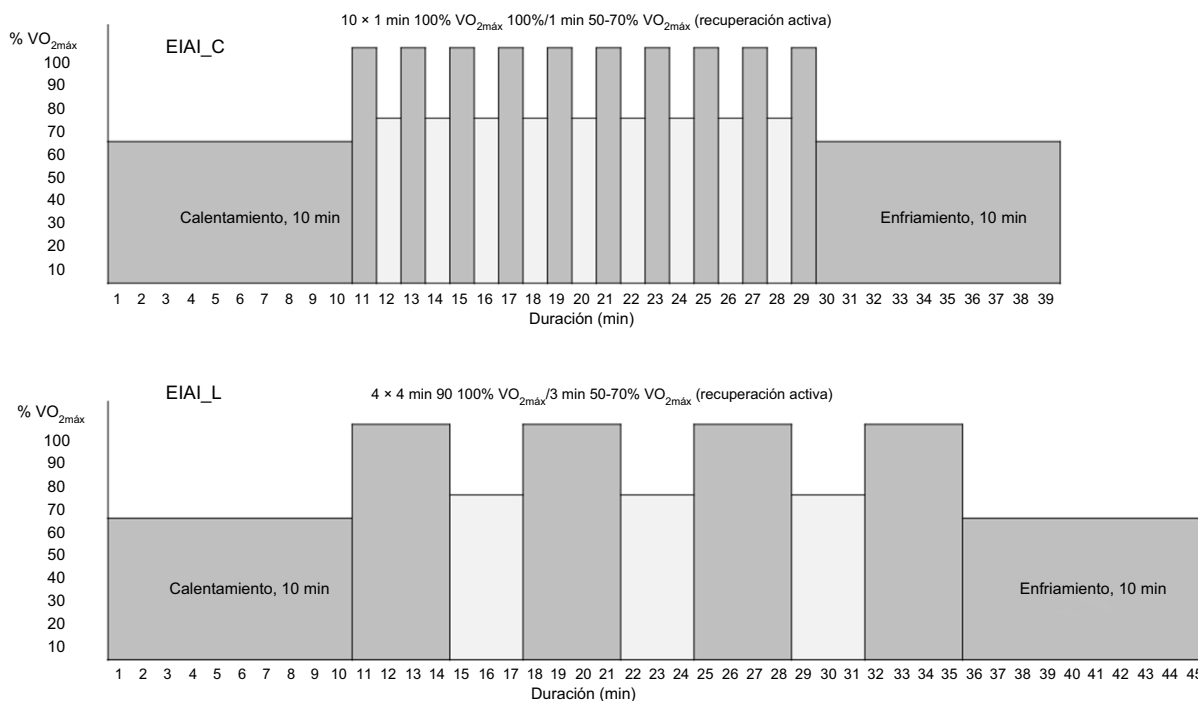


Figura 1. Representación esquemática de los EIAI_C y los EIAI_L. EIAI: grupos de ejercicio interválico de alta intensidad; EIAI_C: protocolo de EIAI con intervalos de ejercicio cortos; EIAI_L: protocolo de EIAI con intervalos de ejercicio largos.

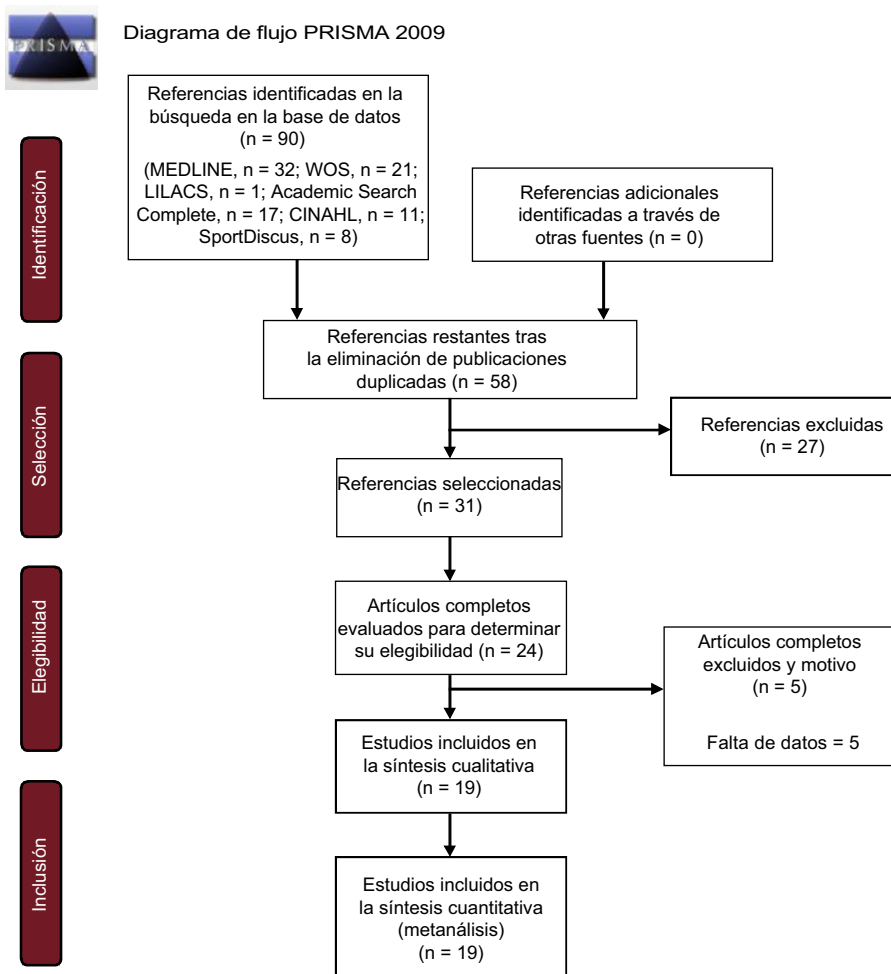


Figura 2. Diagrama de flujo de la revisión sistemática y el metanálisis. WOS: Web of Science.

Tabla 1

Características generales de los estudios incluidos en el metanálisis

Estudios de investigación	Ubicación del estudio, país	Enfermedad	n_EIAI	Varones, %	Edad (años)	IMC
Benda et al. ²⁴	Nimega, Países Bajos	IC	10	100	63,0 ± 8	28,1 ± 7,5
Cardozo et al. ¹¹	Río de Janeiro, Brasil	EAC	23	63	56,0 ± 12	27,5 ± 5,9
Chrysohoou et al. ⁶	Río de Janeiro, Brasil	IC	33	88	63,0 ± 9	28,8 ± 4,2
Conraads et al. ¹⁸	Atenas, Grecia	EAC	100	85	57,0 ± 8,8	28 ± 4,4
Currie et al. ⁹	Hamilton, Canadá	EAC	11	91	67,2 ± 6	27,9 ± 4,9
Dimopoulos et al. ²⁷	Atenas, Grecia	IC	10	90	59,2 ± 12,2	26,5 ± 4,1
Freyssin et al. ⁸	Isla Reunión, Francia	IC	13	50	54,0 ± 9	24,8 ± 4
Fu et al. ¹⁶	Keelung, Taiwán	IC	14	61	67,5 ± 1,8	
Huang et al. ¹⁹	Taoyuan, Taiwán	IC	33	78	60,0 ± 3	
Isaksen et al. ¹⁷	Stavanger, Noruega	IC	24	88	65,0 ± 9	27,8 ± 4
Kim et al. ¹⁵	Seúl, Corea	EAC	14	86	57,0 ± 11,5	24,2 ± 2,9
Koufaki et al. ³⁰	Staffordshire, Reino Unido	IC	16	87	59,8 ± 7,4	28,9 ± 4,7
Madssen et al. ¹³	Trondheim, Noruega	EAC	24	75	64,4 (47-78)	28 ± 3,9
Moholdt et al. ³¹	Trondheim, Noruega	EAC	28	86	60,2 ± 6,9	26 ± 6,2
Moholdt et al. ²¹	Trondheim, Noruega	EAC	11	83	57,7 ± 9,3	26,6 ± 3
Roditis et al. ⁷	Atenas, Grecia	IC	11	90	63,0 ± 2	25,9 ± 2,8
Rognmo et al. ³²	Trondheim, Noruega	EAC	8	75	62,9 ± 11,2	26,7 ± 4,1
Smart et al. ³³	Atenas, Grecia	IC	10	100	59,1 ± 11	28,9 ± 6,1
Warburton et al. ³⁴	Vancouver, Canadá	EAC	7	100	55,0 ± 7	

EAC: enfermedad arterial coronaria; IC: insuficiencia cardiaca; IMC: índice de masa corporal; n_EIAI: número de participantes en grupos de ejercicio interválico de alta intensidad.

Salvo otra indicación, los valores expresan media ± desviación estándar o media (intervalo).

Análisis estadístico

El metanálisis y el análisis estadístico se llevaron a cabo con el programa informático Review Manager (RevMan 5.2, Cochrane Collaboration; Oxford, Reino Unido)²⁹ 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 EIAI y si había diferencias entre los protocolos de EIAI 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.

Dada la heterogeneidad del protocolo (tabla 1), se utilizaron las diferencias medias, dividiendo los valores medios entre 2 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 $VO_{2\text{máx}}$ extraídos. Se utilizaron las medianas de las variables continuas para agrupar los estudios. A continuación, se expresaron las diferencias de EIAI 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 5 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).

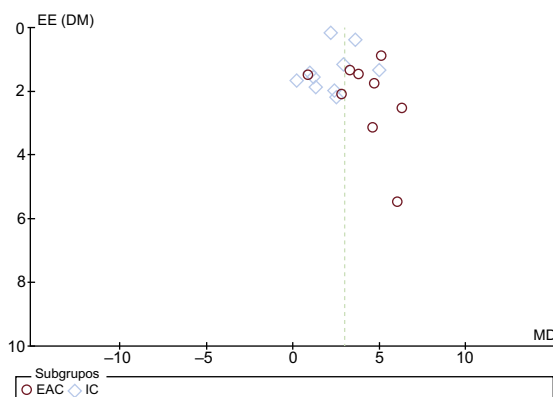


Figura 3. Gráfico de embudo de la comparación EAC frente a IC. DM: diferencia media; EAC: enfermedad arterial coronaria; EE: error estándar; IC: insuficiencia cardiaca.

RESULTADOS

Según nuestros criterios de inclusión, se incluyeron en este metanálisis 19 estudios, 10 de ellos en la IC y 9 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.

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

Los efectos del EIAI que se analizaron en el metanálisis en ambas enfermedades fueron favorables ($p < 0,000001$) para el $VO_{2\text{máx}}$: 3,98 (IC95%, 2,94-5,02) ml/kg/min en los pacientes con

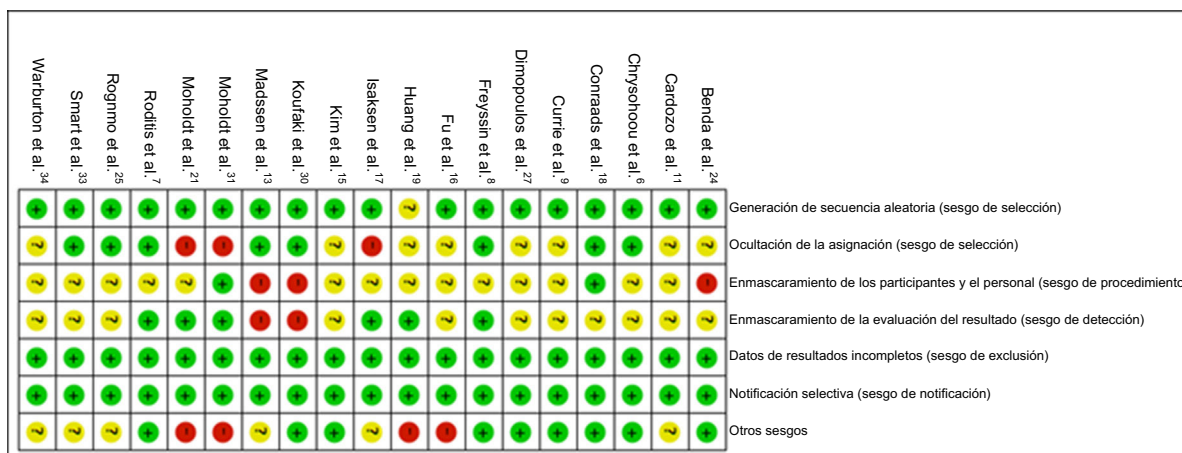


Figura 4. Evaluación del riesgo de sesgo en los ensayos controlados y aleatorizados incluidos.

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_{2máx} entre las 2 enfermedades, favorables a los pacientes con IC (p = 0,03) (figura 5).

Con las variables moderadoras, los resultados mostraron mejoras estadísticas del VO_{2máx} en cada subgrupo analizado para ambas enfermedades (p < 0,05) (tabla 3 y tabla 4). No hubo diferencias estadísticamente significativas entre los subgrupos según las características de la población en la EAC ni en la IC (tabla 3 y tabla 4).

Por lo que respecta a las características del ejercicio, hubo mejoras estadísticamente significativas del VO_{2máx} en cada uno de los subgrupos de pacientes con EAC analizados (p < 0,05). No obstante, en los pacientes con IC no se observaron mejoras del VO_{2máx} cuando la intensidad de la recuperación era ≤ 40% del VO_{2máx}

(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)^{9,24} (tabla 5).

En lo relativo a la duración del protocolo, hubo diferencias significativas en los pacientes con EAC, que mostraron una mejora del VO_{2máx} 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_{2máx} de los pacientes con IC (p = 0,1; I² = 0) (tabla 5).

De igual modo, no hubo diferencias significativas entre los protocolos de EIAI con intervalos de ejercicio cortos y los protocolos con intervalos de ejercicio largos en ninguna de las 2 enfermedades (p = 0,87), si bien ambas mostraron mejoras significativas del VO_{2máx} (p < 0,000001). En cambio, hubo

Tabla 2

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

Estudios	Enfermedad	Tipo	Frecuencia (semanas)	Duración de las sesiones (min)	Intervalo de trabajo (min)	Intervalo de recuperación (min)	Duración (semanas)	Número de sesiones	Intensidad de ejercicio (% de VO _{2máx}) ^a	R	Aumento de VO _{2máx} (%) ^b
Benda et al. ²⁴	IC	EIAI_C	2	30	1	2	12	24	90	0,5	6,8
Cardozo et al. ¹¹	EAC	EIAI_L	3	28	4	3	16	48	90	1,33	18,44
Chrysohoou et al. ⁶	IC	EIAI_C	3	45	0,5	0,5	12	36	100	1	31,25
Conraads et al. ¹⁸	EAC	EIAI_L	3	28	4	3	12	36	90-95	1,33	21,7
Currie et al. ⁹	EAC	EIAI_C	2	20	1	1	12	24	80-100	1	23,73
Dimopoulos et al. ²⁷	IC	EIAI_C	3	36	0,5	0,5	12	36	100	1	7,79
Freyssin et al. ⁸	IC	EIAI_C	5	69	0,5	1	8	40	80-95	0,5	27,1
Fu et al. ¹⁶	IC	EIAI_L	3	30	3	3	12	36	80	1	22,5
Huang et al. ¹⁹	IC	EIAI_L	3	42	3	3	12	36	80	1	13,41
Isaksen et al. ¹⁷	IC	EIAI_L	3	28	4	3	12	36	85	1,33	5,74
Kim et al. ¹⁵	EAC	EIAI_L	3	28	4	3	6	18	85-95	1,33	22,16
Koufaki et al. ³⁰	IC	EIAI_C	3	—	0,5	1	24	72	100	0,5	15,68
Madssen et al. ¹³	EAC	EIAI_L	3	28	4	3	52	156	85-95	1,33	3,22
Moholdt et al. ³¹	EAC	EIAI_L	5	28	4	3	4	20	90	1,33	12,17
Moholdt et al. ²¹	EAC	EIAI_L	3	28	4	3	12	36	85-95	1,33	14,55
Roditis et al. ⁷	IC	EIAI_C	3	40	0,5	0,5	6	18	100	1	8,45
Rognmo et al. ³²	EAC	EIAI_L	3	28	4	3	10	30	80-90	1,33	18,86
Smart et al. ³³	IC	EIAI_C	3	60	1	1	48	16	70	0,5	20,49
Warburton et al. ³⁴	EAC	EIAI_C	3	—	2	3	16	48	85-95	0,66	17,28

EAC: enfermedad arterial coronaria; EIAI: grupos de ejercicio interválico de alta intensidad; EIAI_C: protocolo de EIAI con intervalos de ejercicio cortos; EIAI_L: protocolo de EIAI con intervalos de ejercicio largos; IC: insuficiencia cardiaca; 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

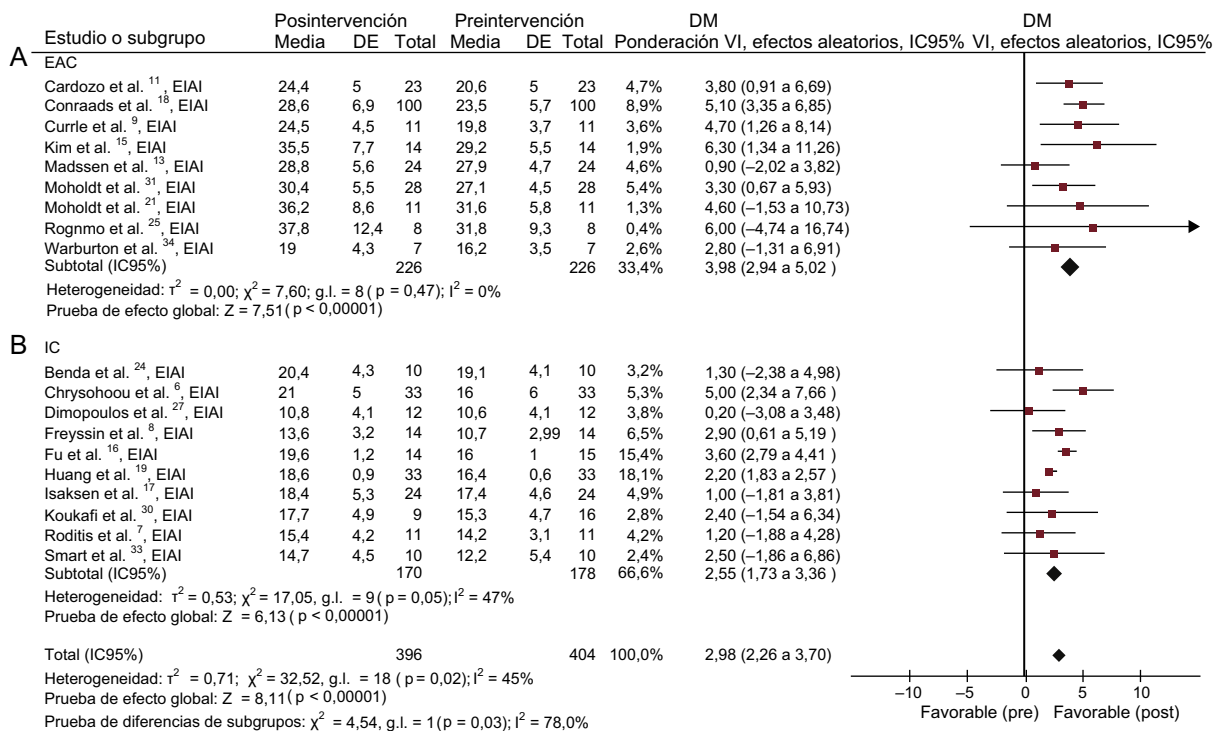


Figura 5. A: DM entre el VO₂máx (ml/kg/min) anterior y posterior a la intervención de EIAI en los pacientes con EAC. B: DM entre el VO₂máx (ml/kg/min) anterior y posterior a la intervención de EIAI en los pacientes con IC. Los cuadrados indican la DM de cada ensayo. El rombo indica la DM combinada de todos los ensayos. La ponderación determina en qué medida contribuye cada uno de los estudios a la estimación general³⁵. El total es el número de participantes de los grupos de EIAI. DE: desviación estándar; DM: diferencia media; EAC: enfermedad arterial coronaria; EIAI: grupos de ejercicio interválico de alta intensidad; IC: insuficiencia cardíaca; IC95%: intervalo de confianza del 95%; VI: varianza inversa.

Tabla 3

Análisis de subgrupos para evaluar los posibles factores moderadores del aumento de VO₂máx en los estudios de la EAC incluidos en el metanálisis según las características de la población

Grupo	Estudios de investigación		VO ₂ máx			
	Grupos de EIAI	Bibliografía	DM (IC95%)	I ²	p ^b	Diferencia de p ^c
Número de participantes^a						
< 14	4	Currie et al. ⁹ , Moholdt et al. ²¹ , Rognmo et al. ³² , Warburton et al. ³⁴	4,12 (1,75-6,48)	0	0,0006	0,81
≥ 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	< 0,00001	
IMC						
25-29,9	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	0,00001	0,48
≤ 24,9	1	Kim et al. ¹⁵	6,30 (1,34-11,26)	0	< 0,01	
Sexo						
Varones	2	Rognmo et al. ³² , Warburton et al. ³⁴	3,21 (-0,63-7,04)	0	0,1	0,71
Varones y mujeres	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	< 0,00001	
Edad						
> 57 años	4	Currie et al. ⁹ , Moholdt et al. ³¹ , Moholdt et al. ²¹ , Rognmo et al. ³²	3,97 (2,02-5,91)	0	< 0,00001	0,86
≤ 57 años	4	Cardozo et al. ¹¹ , Conraads et al. ¹⁸ , Kim et al. ¹⁵ , Warburton et al. ³⁴	3,97 (2,02-5,91)	43	< 0,00001	
Calidad metodológica						
> 7 puntos	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	< 0,00001	0,66
≤ 7 puntos	4	Kim et al. ¹⁵ , Madssen et al. ¹³ , Moholdt et al. ²¹ , Warburton et al. ³⁴	4,41 (1,69-7,13)	0	0,001	

DM: diferencia media; EIAI: grupos de ejercicio interválico de alta intensidad; I²: heterogeneidad; IC95%: intervalo de confianza del 95%; IMC: índice de masa corporal; VO₂máx: consumo máximo de oxígeno.

Ciertos estudios no se incluyeron porque no indicaban el valor utilizado para el análisis de los subgrupos.

^a Número de individuos del grupo de EIAI.

^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		VO _{2máx}			Diferencia de p ^c
	Grupos de EIAI	Bibliografía	DM (IC95%)	I ²	p ^b	
<i>Número de participantes^a</i>						
< 14	6	Benda et al. ²⁴ , Dimopoulos et al. ²⁷ , Freyssin et al. ⁸ , Koufaki et al. ³⁰ , Roditis et al. ⁷ , Smart et al. ³³	1,79 (0,40-3,19)	0	0,01	0,24
≥ 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	< 0,00001	
<i>Sexo</i>						
Varones	2	Benda et al. ²⁴ , Smart et al. ³³	1,80 (-1,01-4,61)	0		0,6
Varones y mujeres	8	Chrysohoou ⁶ , Dimopoulos et al. ²⁷ , Freyssin 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	< 0,00001	
<i>Edad</i>						
≥ 62 años	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	0,03	0,73
< 62 años	5	Dimopoulos et al. ²⁷ , Freyssin et al. ⁸ , Huang et al. ¹⁹ , Smart et al. ³³ , Koufaki et al. ³⁰	2,22 (1,87-2,58)	0	< 0,00001	
<i>IMC</i>						
25-29,9	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	0,003	0,36
≤ 24,9	3	Freyssin et al. ⁸ , Fu et al. ¹⁶ , Huang et al. ¹⁹	2,85 (1,72-3,99)	79	< 0,00001	
<i>Calidad metodológica</i>						
> 6 puntos	1	Chrysohoou et al. ⁶	5,00 (2,34-7,66)	—	0,0002	0,07
≤ 6 puntos	9	Benda et al. ²⁴ , Dimopoulos et al. ²⁷ , Freyssin 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	< 0,00001	

DM: diferencia media; EIAI: 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.

Ciertos estudios seleccionados no se incluyeron porque en ellos no se indicaba el valor utilizado para el análisis de los subgrupos.

^a Número de individuos del grupo de EIAI.

^b Prueba del efecto general.

^c Prueba de las diferencias en los subgrupos.

diferencias significativas del VO_{2máx} entre las 2 enfermedades, favorables a los pacientes con IC (p = 0,03) (figura 5).

DISCUSIÓN

Este metanálisis determina de qué manera diferentes protocolos de EIAI modifican el VO_{2máx} de los pacientes con IC o EAC y describe las dosis más eficaces de EIAI para optimizar el entrenamiento. El principal resultado del estudio es que el EIAI resulta más eficaz en la mejora del VO_{2máx} de los pacientes con IC que en la de los pacientes con EAC. Sin embargo, el máximo beneficio en cuanto al VO_{2máx} es el obtenido entre las semanas 6 y 12 en ambas enfermedades. Además, los pacientes con IC no obtuvieron mejoras significativas del VO_{2máx} cuando el protocolo de EIAI era > 12 semanas. Es posible que este resultado se deba al hecho de que solo 2 estudios^{30,33} siguieron un protocolo > 12 semanas, mientras que 8 estudios^{6-8,16,17,19,24,27} siguieron protocolos ≤ 12 semanas. De hecho, no se observaron diferencias significativas entre los 2 subgrupos (p = 0,96). De igual modo, los pacientes con EAC alcanzaron una mejora superior del VO_{2máx} cuando la duración del protocolo era < 12 semanas, y con diferencias significativas entre los 2 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_{2máx}, 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 con la edad^{35,36}. Según Amundsen et al.¹², estos resultados indican que el EIAI induce cambios de la

contractilidad cardiaca y aumenta el llenado del ventrículo izquierdo. Así pues, se observan mejoras del VO_{2máx} derivadas de las mejoras en la fracción de eyección del ventrículo izquierdo, con independencia de la edad.

En relación con el protocolo de EIAI, 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 intensos¹⁰, que favorecen la adherencia en comparación con los protocolos de larga duración porque son más cómodos para los pacientes^{10,37}.

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 s y 4 min) de los pacientes con IC. No obstante, hubo diferencias significativas en cuanto a la intensidad de la recuperación, puesto que las recuperaciones ≤ 40% del VO_{2máx} y la recuperación pasiva no produjeron adaptaciones del VO_{2máx}. 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 lactato³⁸. Sin embargo, aunque algunos autores han recomendado una recuperación pasiva¹⁰, esta no fue tan eficaz como la recuperación activa²⁶. 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

Tabla 5
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 del ejercicio

Grupo	Grupos de EIAI	Bibliografía	VO _{2máx}			Diferencia de p ^b
			DM (IC95%)	I ²	p ^a	
<i>Número de sesiones</i>						
≥ 36	8	Chrysohoou et al. ⁶ , Dimopoulos et al. ²⁷ , Freyssin et al. ⁸ , Fu ¹⁶ , Huang et al. ¹⁹ , Isaksen et al. ¹⁷ , Koufaki et al. ³⁰ , Smart et al. ³³	2,69 (1,78-3,60)	56	< 0,00001	0,26
< 36	2	Benda et al. ²⁴ , Roditis et al. ⁷	1,24 (-1,12-3,61)	0	< 0,00001	
<i>Duración</i>						
> 12 semanas	2	Koufaki et al. ³⁰ , Smart et al. ³³	2,45 (-0,48-5,37)	0	0,1	0,96
≤ 12 semanas	8	Benda et al. ²⁴ , Chrysohoou et al. ⁶ , Dimopoulos et al. ²⁷ , Freyssin ⁸ , Fu et al. ¹⁶ , Huang et al. ¹⁹ , Isaksen et al. ¹⁷ , Roditis et al. ⁷	2,53 (1,62-3,44)	59	< 0,00001	
<i>Frecuencia de EIAI</i>						
≥ 5 días/semana	1	Freyssin ⁸	2,90 (0,61-5,19)	—	0,01	0,77
3 o 4 días/semana	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	< 0,00001	
≤ 2 días/semana	1	Benda et al. ²⁴	1,30 (-2,38-4,98)	—	0,49	
<i>Duración de la sesión</i>						
> 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	< 0,00001	0,19
≤ 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	< 0,00001	
<i>Intervalo de trabajo</i>						
> 45 s	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	0,002	1
≤ 45 s	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	< 0,00001	
<i>Intervalo de recuperación</i>						
> 1 min	4	Benda et al. ²⁴ , Fu et al. ¹⁶ , Huang ¹⁹ , Isaksen et al. ¹⁷	2,46 (1,35-3,58)	73	< 0,00001	0,84
≤ 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	0,0002	
<i>Protocolo de EIAI</i>						
EIAI_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	< 0,00001	0,87
EIAI_C	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	< 0,00001	
<i>Tipo de recuperación</i>						
Activa (≥ 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	< 0,00001	0,91
Pasiva (< 20%)	3	Chrysohoou et al. ⁶ , Dimopoulos et al. ²⁷ , Smart et al. ³³	2,70 (-0,38-5,78)	60	0,09	
<i>Intensidad de recuperación activa</i>						
≥ 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	< 0,00001	0,59
< 40%	2	Benda et al. ²⁴ , Koufaki et al. ³⁰	1,81 (-0,88-4,50)	0	0,19	
<i>R (W/R)</i>						
≥ 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	< 0,00001	0,94
< 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	< 0,00001	

DM: diferencia media; EIAI: grupos de ejercicio interválico de alta intensidad; EIAI_C: protocolo de EIAI con intervalos de ejercicio cortos; EIAI_L: protocolo de EIAI con intervalos de ejercicio largos; I²: heterogeneidad; IC: insuficiencia cardiaca; R (W/R): densidad (cociente ejercicio/recuperación); VO_{2máx}: 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.

menos afectado el sistema cardiovascular que los pacientes con IC, con lo que tendrían una recuperación más rápida con los parámetros mencionados³⁹. Por consiguiente, para mejorar el proceso de rehabilitación cardiaca, el diseño del protocolo de EIAI para los pacientes con IC debe incluir una recuperación activa ≥ 40% del VO_{2máx}.

En lo relativo a la frecuencia del EIAI, no hubo mejoras estadísticamente significativas del VO_{2máx} de los pacientes con IC cuando se usaron protocolos ≤ 2 días/semana (p = 0,07)²⁴, aunque sí se observó una mejora en los protocolos de 3 y 4 días/semana (p < 0,00001)^{6,7,16,17,19,27,30,33} y ≥ 5 días/semana (p < 0,01)⁸. No obstante, estos resultados no se observaron en los pacientes con EAC, cuyo VO_{2máx} mejoró con independencia de la frecuencia utilizada

(2-5 días/semana). Así pues, para obtener mejoras del VO_{2máx} en relación con el EIAI, la frecuencia de las sesiones debe ser de como mínimo 3/semana para los pacientes con IC y al menos 2/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 cardiaco³⁷.

Los resultados de nuestra revisión sistemática y metanálisis indican que el VO_{2máx} aumentó de forma significativa (p < 0,00001) tras el EIAI 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,

Tabla 6

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 del ejercicio

Grupo	Grupos de EIAI	Bibliografía	DM (IC95%)	VO _{2máx}		Diferencia de p ^b
				I ²	p ^a	
<i>Número de sesiones</i>						
≥ 36	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	< 0,00001	0,6
< 36	4	Currie et al. ⁹ , Kim et al. ¹⁵ , Moholdt et al. ³¹ , Rognmo et al. ³²	4,25 (2,35-6,14)	35	< 0,00001	
<i>Duración</i>						
> 12 semanas	3	Cardozo et al. ¹¹ , Madssen et al. ¹³ , Warburton et al. ³⁴	2,45 (0,62-4,29)	0	0,009	0,05
≤ 12 semanas	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	< 0,00001	
<i>Frecuencia de EIAI</i>						
≥ 5 días/semana	1	Moholdt et al. ³¹	3,30 (0,67-5,93)	-0,01		0,82
3 o 4 días/semana	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	< 0,00001	
≤ 2 días/semana	1	Currie et al. ⁹	4,70 (1,26-8,14)	-	0,007	
<i>Duración de la sesión</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	< 0,00001	0,65
< 28 min	1	Currie et al. ⁹	4,70 (1,26-8,14)	-	0,007	
<i>Intervalo de trabajo</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	< 0,00001	0,99
< 4 min	2	Currie et al. ⁹ , Warburton et al. ³⁴	3,92 (1,28-6,55)	0	0,004	
<i>Intervalo de recuperación</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	< 0,00001	0,65
< 3 min	1	Currie et al. ⁹	4,70 (1,26-8,14)	-	0,007	
<i>Protocolo de EIAI</i>						
EIAI-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	< 0,00001	0,99
EIAI-C	2	Currie et al. ⁹ , Warburton et al. ³⁴	3,92 (1,28-6,55)	0	0,004	
<i>Tipo de recuperación</i>						
Activa (≥ 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. ³¹ , Madssen et al. ¹³ , Moholdt et al. ²¹	3,87 (2,71-5,02)	6	< 0,00001	0,65
Pasiva (< 20%)	1	Currie et al. ⁹	4,70 (1,26-8,14)	-	0,007	
<i>Intensidad de recuperación activa</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)		< 0,00001	0,27
< 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	< 0,00001	0,65
< 1,33	2	Currie et al. ⁹ , Warburton et al. ³⁴	4,70 (1,26-8,14)	-	0,007	

DM: diferencia media; EAC: enfermedad arterial coronaria; EIAI: grupos de ejercicio interválico de alta intensidad; EIAI_C: protocolo de EIAI con intervalos de ejercicio cortos; EIAI_L: protocolo de EIAI con intervalos de ejercicio largos; I²: heterogeneidad; R (W/R): densidad (cociente ejercicio/recuperación); VO_{2máx}: 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 7

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

Enfermedad	Frecuencia (días/semana)	Duración del programa (semanas)	Duración de las sesiones (min)	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)

EAC: enfermedad arterial coronaria; EIAI: grupos de ejercicio interválico de alta intensidad; IC: insuficiencia cardiaca; VO_{2máx}: consumo máximo de oxígeno.

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 EIAI 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 progresión⁴⁰. 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 trabajo⁴¹.

De igual modo, no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los pacientes con EAC y con IC en cuanto al número de sesiones (≥ 36 sesiones^{6,8,11,13,16-19,21,27,30,33,34} y < 36 sesiones^{7,9,15,24,31,32}; 18-156 sesiones para los pacientes con EAC y 18-72 para los pacientes con IC) y la duración de estas (≥ 28 ^{11,13,15,18,21,31,32} y < 28 min⁹ para los pacientes con EAC [20-28 min] y > 42 ^{6,8,30,33} y ≤ 42 min^{7,16,17,19,24} para los pacientes con IC [28-69 min]). Estos resultados implican que las intervenciones de EIAI no deben estar formadas necesariamente por un gran número de sesiones ni con sesiones largas para alcanzar una mejora del $VO_{2m\acute{a}x}$ 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 EAC¹⁸ como para aquellos con IC^{6,16,19}. 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 EIAI, este metanálisis confirma los resultados que indican que tanto los protocolos de EIAI con intervalos de ejercicio cortos como el de EIAI con intervalos de ejercicio largos producen mejoras significativas en el $VO_{2m\acute{a}x}$ de los pacientes con EAC^{9,14,18} y con IC^{6,8,16,19}. De igual modo, no se observaron diferencias significativas de aplicar un protocolo de EIAI con un intervalo de trabajo corto o largo en ninguna de las 2 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 EIAI⁵. 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^{33,34}. Así pues, el tipo de protocolo no es tan 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 EIAI mejoró el $VO_{2m\acute{a}x}$ de los pacientes con EAC y con IC, si bien hubo diferencias estadísticamente significativas entre estas 2 enfermedades, con una mejoría superior en los pacientes con IC ($p = 0,03$). Estos resultados pueden deberse a las diferencias iniciales del $VO_{2m\acute{a}x}$ (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 cardíaca y el músculo cardíaco no es capaz de bombear una cantidad de sangre suficiente para irrigar los tejidos³². Sin embargo, los pacientes con EAC mostraron una menor influencia en su $VO_{2m\acute{a}x}$, ya que probablemente tenían una mejor contractilidad miocárdica, en especial si se les había practicado una intervención coronaria⁴².

Como ya se ha señalado, esto debería hacer que existiera la posibilidad de un mayor aumento del gasto cardíaco 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 bajo⁷. 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^{5,8,18} o la suma de todos estos factores.

Aunque no era un objetivo del presente trabajo, existen estudios que comparan los efectos del EIAI y el entrenamiento continuo en el $VO_{2m\acute{a}x}$. Aunque la mayoría de los estudios señalan que el EIAI es superior al ejercicio continuo^{15,16,21,23,43}, algunos han descrito que el EIAI no fue superior a los programas de ejercicio continuo por lo que respecta al $VO_{2m\acute{a}x}$ en las 2 enfermedades^{5,7,9,17-20,44,45}.

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

Aplicación práctica

Los resultados de este estudio indican que el EIAI afecta positivamente al $VO_{2m\acute{a}x}$ 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 cardíaca 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 EIAI debe adaptarse a las características individuales de cada paciente. La dosis recomendada en cada enfermedad se indica en la [tabla 7](#).

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 EIAI, 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 EIAI 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.

AGRADECIMIENTOS

A los autores de los trabajos originales mencionados en el presente estudio, que nos ayudaron proporcionándonos sus manuscritos o datos adicionales necesarios para este metanálisis.

CONFLICTO DE INTERESES

No se declara ninguno.

¿QUÉ SE SABE DEL TEMA?

- El EIAI produce adaptaciones cardiovasculares favorables en los pacientes con IC o EAC.
- El EIAI mejora el $VO_{2\text{máx}}$ de los pacientes con IC o EAC.

¿QUÉ APORTA DE NUEVO?

- El EIAI es más eficaz para mejorar el $VO_{2\text{máx}}$ de los pacientes con IC que el de aquellos con EAC.
- Para alcanzar una mejora del $VO_{2\text{máx}}$ a través del EIAI, son necesarias al menos 3 sesiones por semana durante un mínimo de 6 semanas para los pacientes con IC y al menos 2 sesiones por semana durante un mínimo de 6 semanas para los pacientes con EAC.
- Debe usarse una recuperación activa a intensidades de entre el 40 y el 60% del $VO_{2\text{máx}}$ para mejorar el $VO_{2\text{máx}}$ de los pacientes con IC.

BIBLIOGRAFÍA

- World Health Organization. Cardiovascular diseases 2016. Disponible en: www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/es/. Consultado 22 Sep 2016.
- World Health Organization. The top 10 causes of death 2017. Disponible en: www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/en/. Consultado 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.
- Wisløff 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.
- Chrysohoou C, Angelis A, Tsitsinakis 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, Rognmo Øsah, 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, Rognmo Øsah, 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 AI. 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, Bronsteen K, et al. Greater improvement in cardiorespiratory fitness using high-intensity interval training in the standard 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 Øsah, 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, Guinhouya C, Ahmaidi 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. Disponible en: <http://community.cochrane.org/tools/review-production-tools/revman-5>. Consultado 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 Øsah, 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. Disponible en: <http://vuir.vu.edu.au/25066/>. Consultado 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*. Disponible en: <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-v58935b9780c91>. Consultado 2 Feb 2017.
- García-Manso JM, Navarro M, Ruíz JA. *Planificación del entrenamiento deportivo*. Madrid: Gymnos; 1996.
- Segovia Cubero J, Alonso-Pulpón Rivera L, Peiraira 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 Øsah, Halle M, Conraads V, et al. High intensity interval training is Heart Failure patients with reduced ejection fraction. *Circulation*. 2017;135:839–849.