

## ORIGINAL

# Entrenamiento interválico en pacientes con cardiopatía isquémica: metodología y análisis de resultados ergoespiométricos

K. Villelabetia-Jaureguizar<sup>a,\*</sup>, I. Díaz-Buschmann<sup>b</sup>, E. Vaquerizo-García<sup>a</sup>,  
M.J. Calero-Rueda<sup>b</sup> e I. Mahillo-Fernández<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Servicio de Rehabilitación, Hospital Infanta Elena, Valdemoro, Madrid, España

<sup>b</sup> Servicio de Cardiología, Hospital Infanta Elena, Valdemoro, Madrid, España

<sup>c</sup> IIS Fundación Jiménez Díaz, Investigación-Epidemiología, Madrid, España

Recibido el 13 de junio de 2011; aceptado el 30 de septiembre de 2011

Disponible en Internet el 26 de octubre de 2011

### PALABRAS CLAVE

Enfermedad coronaria;  
Rehabilitación;  
Prescripción de ejercicio;  
Entrenamiento interválico

### Resumen

**Introducción:** El ejercicio de tipo interválico es una modalidad de entrenamiento poco utilizada en pacientes con cardiopatía isquémica aunque sus beneficios fisiológicos han sido demostrados por distintos autores.

**Objetivo:** Describir un método sencillo de entrenamiento interválico, así como evaluar los beneficios y la seguridad del mismo en pacientes con cardiopatía isquémica.

**Método:** Se estudiaron 25 pacientes con cardiopatía isquémica estable que realizaron un entrenamiento interválico de alta intensidad en cicloergómetro. Para programar la intensidad del entrenamiento se realizó un Steep Ramp Test. El entrenamiento consistió en intervalos de 20 s al 50% de la carga máxima alcanzada en el Steep Ramp Test, seguido de intervalos de 40 s al 10% de la misma. Se realizó una ergoespiometría sobre cicloergómetro pre y posprograma para comparar resultados.

**Resultados:** Tras 8 semanas de entrenamiento se produjeron incrementos significativos en el  $VO_{2\text{pico}}$  ( $19,9 \pm 5,3$  vs.  $23,8 \pm 6$  ml/kg/min), en la carga máxima ( $103,5 \pm 42,6$  vs.  $124,6 \pm 53,4$  vatios), en la frecuencia cardíaca (FC) máxima ( $117,6 \pm 15,7$  vs.  $128 \pm 16,5$  lat./min) y en el índice de recuperación de la FC en el primer minuto ( $16,5 \pm 9,2$  vs.  $21,3 \pm 7,7$  lat./min). No se registraron efectos adversos.

**Conclusión:** El ejercicio interválico de alta intensidad es una modalidad de entrenamiento sencilla y segura que permite mejorar de forma significativa el  $VO_{2\text{pico}}$  y la tolerancia al ejercicio en pacientes con cardiopatía isquémica.

© 2011 Elsevier España, S.L. y SERMEF. Todos los derechos reservados.

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [Koldo.villelabetia@capiosanidd.es](mailto:Koldo.villelabetia@capiosanidd.es) (K. Villelabetia-Jaureguizar).

**KEYWORDS**

Coronary artery disease;  
Rehabilitation;  
Exercise Prescription;  
Interval training

## Interval training in patients with coronary artery disease: methodology and ergospirometric data analysis

**Abstract**

**Background:** Interval training is an exercise modality underused in patients with coronary artery disease even though different authors have shown its physiological benefits.

**Objective:** To describe a simple method of interval training and to evaluate its benefits and safety in patients with coronary artery disease.

**Method:** Twenty-five patients with stable coronary artery disease underwent high-intensity interval training on a cycle ergometer. To determine the training work rate, we performed a steep ramp test. The training consisted of intervals of 20 seconds at 50% of the maximum load achieved in the steep ramp test, followed by intervals of 40 seconds at 10%. A cycle ergospirometry was performed before and after the programme to compare data.

**Results:** After 8 weeks of interval training, there were significant gains in  $VO_{2\text{ peak}}$  ( $19.9 \pm 5.3$  vs.  $23.8 \pm 6$  mL · kg<sup>-1</sup> · min<sup>-1</sup>), maximal work rate ( $103.5 \pm 42.6$  vs.  $124.6 \pm 53.4$  watts), maximal heart rate ( $117.6 \pm 15.7$  vs.  $128 \pm 16.5$  bpm) and heart rate recovery index in the first minute ( $16.5 \pm 9.2$  vs.  $21.3 \pm 7.7$  bpm). There were no adverse events.

**Conclusion:** In patients with coronary artery disease, high-intensity interval training is an easy, safe exercise modality that produces improvement in  $VO_{2\text{ peak}}$  and exercise tolerance.

© 2011 Elsevier España, S.L. and SERMEF. All rights reserved.

**Introducción**

La prescripción de ejercicio físico es un componente decisivo dentro de los programas de rehabilitación cardiovascular (PRCV) y es reconocida como una intervención no farmacológica en la prevención primaria y secundaria de la cardiopatía isquémica<sup>1</sup>.

Los mayores niveles de aptitud física se relacionan con una mayor capacidad aeróbica o funcional, considerando la capacidad máxima de ejercicio aeróbico (medida en  $VO_{2\text{pico}}$ ) como el mejor predictor de supervivencia tanto en hombres como en mujeres con enfermedad cardiovascular<sup>2,3</sup>.

Existe suficiente evidencia científica que demuestra que el ejercicio físico consigue mejorar la capacidad funcional y la morbimortalidad de los pacientes con enfermedad cardiovascular. Sin embargo, el tipo de ejercicio físico y la intensidad del mismo con los que se obtienen mayores beneficios es un tema controvertido.

Estudios recientes han objetivado que el entrenamiento de alta intensidad, aplicado de forma interválica, es más eficaz que la metodología tradicional de ejercicio moderado de tipo continuo, a la hora de mejorar la capacidad funcional y otras variables predictoras de riesgo cardiovascular<sup>4</sup>.

El entrenamiento interválico es una forma de ejercicio que se utiliza ocasionalmente en los PRCV. Dicha modalidad de entrenamiento permite cargas de esfuerzo superior al utilizado cuando se trabaja a un ritmo constante o entrenamiento continuo. El entrenamiento de tipo interválico ha sido ampliamente utilizado por los atletas de élite pero solo en los últimos años han sido estudiadas como un potencial modelo de entrenamiento dentro de los PRCV<sup>5-7</sup>. Este tipo de entrenamiento interválico, se caracteriza por cortos períodos de alta intensidad de carga (intervalos pico), seguidos de intervalos de menor intensidad de carga (recuperación relativa). Por tanto, en este tipo de entrenamiento intervendrán procesos aeróbicos y anaeróbicos. Estos breves intervalos de recuperación relativa, fuerzan al paciente

a ejercitarse a un nivel aeróbico con muy poca utilización del sistema glucolítico productor del lactato, permitiendo al sujeto mantener cómodamente estas cargas de trabajo de una forma prolongada en el tiempo y sin riesgo significativo de complicaciones cardiovasculares<sup>6,7</sup>.

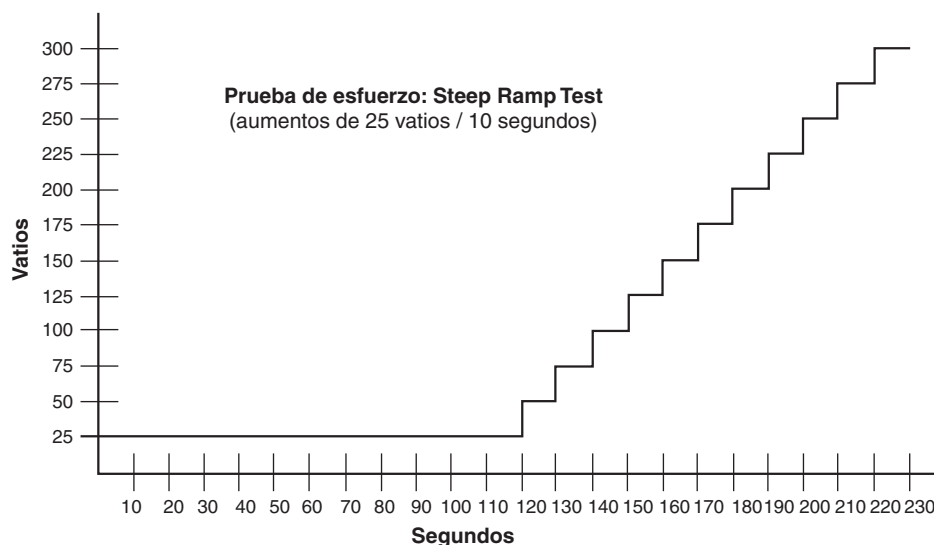
Existe una revisión sistemática reciente de los entrenamientos interválicos en pacientes con enfermedad coronaria en la que se observa que estos entrenamientos producen mayores adaptaciones fisiológicas en comparación con los entrenamientos convencionales continuos de intensidad moderada. Sin embargo, la metodología utilizada en estos estudios es muy variada<sup>4</sup>.

El objetivo del presente trabajo es describir una metodología sencilla de entrenamiento interválico, así como demostrar la eficacia y la seguridad del ejercicio aeróbico interválico en pacientes con cardiopatía isquémica.

**Material y métodos**

Se analizaron de forma retrospectiva todos los pacientes que habían realizado entrenamiento interválico en nuestra unidad de rehabilitación cardiovascular durante el año 2010. Todos los pacientes tenían cardiopatía isquémica estable con ergoespirometría negativa, y se encontraban en una clase funcional I o II de la New York Heart Association (NYHA). En los casos en los que se había realizado revascularización coronaria, el tiempo transcurrido desde el procedimiento hasta el programa de rehabilitación fue superior a 3 meses.

El entrenamiento consistió en 3 sesiones semanales durante 2 meses. Todos los pacientes realizaron un total de 24 sesiones de entrenamiento físico de tipo interválico en cicloergómetro tras firmar un consentimiento informado para participar en nuestro PRCV. Además, todos los pacientes participaron en las demás actividades establecidas en nuestro programa dirigidas al manejo del estrés psicológico y adquisición de hábitos cardiosaludables (terapia psicológica



**Figura 1** Steep Ramp test: 2 min de pedaleo libre a 25 vatios seguido de incrementos progresivos de 25 vatios por cada 10 s. Frecuencia de pedaleo constante entre 50 y 60 ciclos/min. Causa de detención de la prueba: incapacidad de mantener un pedaleo > 40 ciclos/min, alteración eléctrica y/o síntomas.

grupales, técnicas de relajación, educación sanitaria, etc.). Ninguno de los pacientes tuvo modificaciones de medicamentos en las 2 semanas previas al inicio ni durante el PRCV.

### Ergoespirometría o prueba de esfuerzo con análisis de gases espirados

A todos los pacientes se les realizó una prueba de esfuerzo con análisis de gases espirados antes de iniciar el PRCV y otra tras finalizar el mismo. En cada paciente se utilizó un protocolo individualizado en cicloergómetro con incrementos escalonados de 5 a 20 vatios/min según la aptitud física del paciente. Para el estudio comparativo pre y post-programa, el protocolo utilizado en un paciente previo al PRCV era el mismo que se utilizaba tras finalizar el PRCV. El objetivo de la prueba era alcanzar criterios de maximalidad con un coeficiente respiratorio (RER) > de 1,10 y tiempos de duración de esfuerzo de entre 8 y 12 min con el fin de respetar una correcta cinética del consumo de oxígeno y mantener una relación lineal entre  $\text{VO}_2$  y la carga de esfuerzo.

Se recogieron los siguientes parámetros ergoespirométricos, tanto en reposo (tras 5 min en bipedestación en un ambiente tranquilo previo a la prueba de esfuerzo), como en el momento máximo de la prueba: parámetros de trabajo (tiempo de esfuerzo y carga máxima en vatios); parámetros metabólicos (consumo de oxígeno pico o  $\text{VO}_{2\text{pico}}$ , carga máxima alcanzada en vatios y coeficiente respiratorio o RER); parámetros cardiovasculares (FC, PA sistólica y diastólica); parámetros ventilatorios (equivalente de  $\text{O}_2$ , equivalentes de  $\text{CO}_2$  y presiones espiratorias de  $\text{O}_2$  y de  $\text{CO}_2$ ) y parámetros electrocardiográficos (cambios en ST, arritmias, etc.).

Durante la ergoespirometría los pacientes se encontraban monitorizados con un ECG de 12 derivaciones con toma de la PA cada 2 min, en el momento pico del esfuerzo y durante la recuperación.

### Diseño de entrenamiento interválico mediante una prueba de esfuerzo de rampa empinada (Steep Ramp Test)

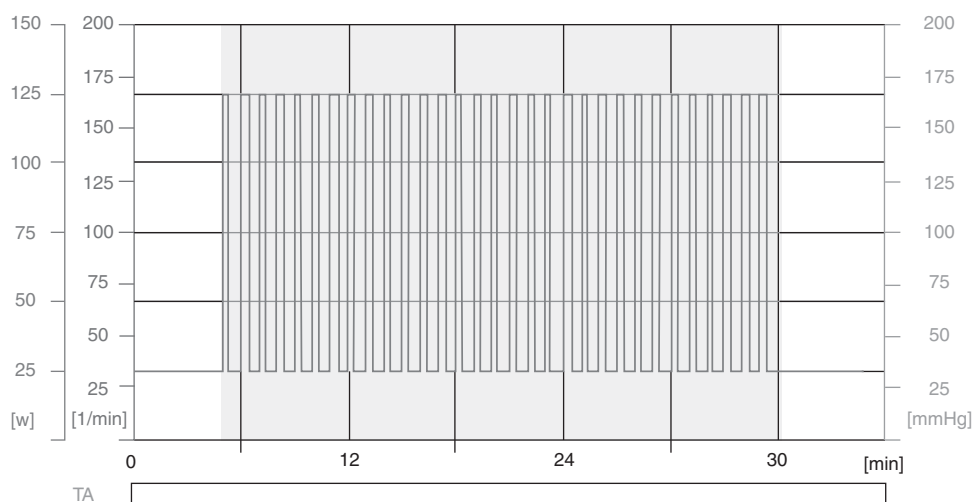
Se utilizó el protocolo de rampa empinada denominada Steep Ramp Test (SRT) según la metodología descrita por Meyer et al.<sup>2</sup> para el diseño del entrenamiento interválico (fig. 1). Dicha prueba de esfuerzo consiste en 2 min de pedaleo libre a 25 vatios seguido de incrementos progresivos de 25 vatios por cada 10 s, en la cual se estimula al paciente a mantener una frecuencia de pedaleo constante de entre 50 y 60 ciclos/min. La prueba se interrumpe cuando el paciente no es capaz de mantener un pedaleo continuo > 40 ciclos/min y/o existe alteraciones hemodinámicas y/o eléctricas.

Todos nuestros pacientes estaban monitorizados con un ECG de 3 canales durante toda la SRT al igual que se les medía la PA al inicio, en el primer minuto de esfuerzo, en el momento máximo de esfuerzo y durante la recuperación.

Se recogieron los siguientes parámetros durante la SRT: parámetros de trabajo (carga máxima alcanzada en vatios); parámetros cardiovasculares (FC, PA sistólica y diastólica) y parámetros electrocardiográficos (cambios en ST, arritmias, etc.).

La SRT se realizó al inicio del programa, en la duodécima sesión para ajustar las cargas de entrenamiento interválicas y tras finalizar el PRCV.

Una vez determinada la carga máxima alcanzada por el paciente en la SRT, se establecía la intensidad máxima del entrenamiento como el 50% de la carga máxima alcanzada en dicha prueba. Esta carga se aplicaba a lo largo del entrenamiento durante intervalos de 20 s (intervalos de alta intensidad) seguidos siempre de intervalos de 40 s al 10% de la carga máxima alcanzada en la SRT (intervalos de baja densidad o intervalos de recuperación relativa). Entre la cuarta y la quinta semana de entrenamiento (fig. 2), se realizaba una nueva SRT para ajustar la intensidad del entrenamiento. Los entrenamientos se realizaron en



**Figura 2** Entrenamiento interválico: se muestra un entrenamiento a partir de la quinta semana con 30 repeticiones de 20 s a una intensidad correspondiente al 50% de la carga máxima alcanzada en la Steep Ramp Test, seguidas de intervalos de 40 s al 10% de la misma.

cicloergómetros estáticos con frenos electromagnéticos (Ergoline 900S, Bitz, Alemania) con cargas de trabajo regulado en vatios. Estos sistemas nos permiten un control estricto de las cargas que aplicamos durante los intervalos.

En nuestro diseño de entrenamiento interválico, la intensidad de trabajo se establecía bajo un control de carga (en vatios), sin tener en cuenta la FC como medida de regulación de la intensidad del ejercicio. La monitorización electrocardiográfica continua nos permitía conocer la FC que alcanzaba a lo largo de todo el entrenamiento, estableciendo como límite de alarma la FC máxima alcanzada en la ergoespirometría inicial.

La duración total del entrenamiento aeróbico en cicloergómetro fue de 40 min por sesión desde el inicio hasta la finalización del programa (24 sesiones), con aumentos progresivos de la duración del entrenamiento mediante la disminución del tiempo de calentamiento y enfriamiento (tabla 1). Todos los pacientes realizaban estiramientos calisténicos al inicio y tras la finalización de las sesiones de entrenamiento aeróbico.

Para evaluar la seguridad del entrenamiento se realizaron controles seriados tanto clínicos (dolor, disnea, fatiga, mareos, etc.) como hemodinámicos (PA y FC). Todos nuestros pacientes estaban monitorizados con un ECG de 3 canales y se encontraban bajo la supervisión de personal médico y de enfermería cualificados. Se registró la

aparición de episodios cardíacos (angina, alteraciones del ritmo, etc.) y no cardíacos (dolores osteoarticulares, infecciones, etc.).

### Análisis estadístico

Los datos clínicos y antropométricos, al igual que la prueba de esfuerzo, se registraron como variables cuantitativas. La descripción de los datos cualitativos se realizó mediante porcentajes y los datos cuantitativos mediante media  $\pm$  desviación estándar. La comparación de los datos cuantitativos anteriores y posteriores a la aplicación del programa se resume mediante la media de las diferencias, el intervalo de confianza al 95% para dicha media y el valor p correspondiente a la prueba de la t de Student para muestras dependientes. En todas las comparaciones se realizó la prueba bilateral con un nivel de significación de 0,05. Para el análisis estadístico se utilizó el paquete estadístico SPSS (Statistical Package for Social Sciences, versión 19.0 para Windows 7).

### Resultados

Todos los pacientes incluidos en el estudio estaban diagnosticados de cardiopatía isquémica, de los cuales el 84%

**Tabla 1** Diseño de un entrenamiento interválico

semana de entrenamiento	Calentamiento	Entrenamiento	Intensidad	Recuperación	Tiempo total
1. <sup>a</sup> semana	12 min <sup>a</sup>	15 repeticiones	50%/10% <sup>b</sup>	13 min <sup>a</sup>	40 min
2. <sup>a</sup> semana	10 min <sup>a</sup>	20 repeticiones	50%/10% <sup>b</sup>	10 min <sup>a</sup>	40 min
3. <sup>a</sup> semana	7 min <sup>a</sup>	25 repeticiones	50%/10% <sup>b</sup>	8 min <sup>a</sup>	40 min
4. <sup>a</sup> semana	5 min <sup>a</sup>	30 repeticiones	50%/10% <sup>b</sup>	5 min <sup>a</sup>	40 min
5. <sup>a</sup> -8. <sup>a</sup> semana	5 min <sup>a</sup>	30 repeticiones	50%/10% <sup>c</sup>	5 min <sup>a</sup>	40 min

<sup>a</sup> Pedaleo continuo a 50-60 ciclos/min a 25 vatios.

<sup>b</sup> 50%/10% de la carga máxima alcanzada en el Steep Ramp Test.

<sup>c</sup> Nuevo Steep Ramp Test para ajustar carga de entrenamiento del segundo mes de entrenamiento.

**Tabla 2** Características clínicas y demográficas de los pacientes

Característica	
<b>Antropometría</b>	
Edad	57,8 ± 12,4
Varones	19 (76%)
Índice de masa corporal	30,5 ± 4,9
Perímetro de cintura	105 ± 4,9
% grasa por impedancia	30,6 ± 9,3
<b>Factores de riesgo</b>	
Antecedentes familiares	12 (48%)
Diabetes mellitus	6 (24%)
Hipertension arterial	14 (44%)
Dislipidemia	9 (36%)
Tabaco	9 (36%)
<b>Historia médica</b>	
Cardiopatía isquémica sin IAM	12 (48%)
Cardiopatía isquémica con IAM	12 (48%)
FEVI	64,8 ± 9,6
Revascularización cardíaca percutánea	19 (76%)
Revascularización cardíaca quirúrgica	2 (8%)
<b>Medicación</b>	
Betabloqueantes	20 (80%)
IECA	13 (52%)
ARA II	4 (16%)
Antagonistas del calcio	10 (40%)
Estatinas	25 (100%)
Nitratos	3 (12%)
Agentes antiplaquetarios	25 (100%)

ARA II: antagonistas de los receptores de la angiotensina II; FEVI: fracción de eyección del ventrículo izquierdo; IAM: infarto agudo de miocardio; IECA: inhibidores de la enzima convertora de la angiotensina.

había sido revascularizado. La fracción de eyección del ventrículo izquierdo media fue del 64,8 ± 9,6, destacando que el 80% estaban betabloqueados. El resto de las características clínicas y demográficas se muestran en la [tabla 2](#).

### Parámetros ergoespirométricos ([tabla 3](#))

Tras 8 semanas de entrenamiento se produjeron incrementos significativos en el  $VO_{2\text{pico}}$  (preprograma: 19,9 ± 5,3 ml/kg/min; posprograma: 23,8 ± 6), en la carga máxima alcanzada (preprograma: 103,5 ± 42,6 vatios; posprograma: 124,6 ± 53,4 vatios), en el tiempo de esfuerzo (preprograma: 7,36 ± 1,30 min; posprograma: 9,30 ± 2,00), en la FC máxima alcanzada (preprograma: 117,6 ± 15,7 lat./min; posprograma: 128 ± 16,5 lat./min), en el doble producto máximo (preprograma: 20.199 ± 3.903; posprograma: 22.247 ± 5.099) y en el número de latidos recuperados en el primer minuto tras el esfuerzo (índice de recuperación de la FC en el primer minuto) (preprograma: 16,5 ± 9,2; posprograma: 21,3 ± 7,7) ([tabla 3](#)).

No se observaron cambios significativos en la FC mínima tras 5 min de reposo previo a realizar la prueba de esfuerzo, ni en los valores de PA sistólica y diastólica máximos.

### Parámetros de la prueba de esfuerzo empinada SRT ([tabla 4](#))

La carga máxima alcanzada durante la primera SRT (preprograma) fue de 200,6 ± 56,0 vatios. Tras 12 sesiones de entrenamiento se observó un incremento significativo en la segunda SRT con respecto a la inicial, pasando a ser 240,8 ± 59,3, tras lo cual se ajustaron las cargas de entrenamiento. Se observó un nuevo incremento significativo de las cargas máximas alcanzadas en la tercera SRT (posprograma) pasando a ser 254,5 ± 56,9 vatios ([tabla 4](#)).

Durante la monitorización de la FC y de PA máxima no se evidenciaron diferencias significativas entre la primera, segunda y tercera SRT.

### Seguridad de la intervención

Ninguno de los pacientes presentó complicaciones cardiovasculares ni eventos no cardíacos durante las 8 semanas de entrenamiento.

### Discusión

Nuestros resultados demuestran que la prescripción de ejercicio interválico, escasamente utilizado en nuestro entorno en los pacientes con cardiopatía isquémica, puede ser un modelo potencial de entrenamiento dentro de los PRCV. Al igual que otros autores, hemos podido evidenciar su buena aceptación y tolerancia entre todos los pacientes, sin implicar un riesgo añadido al ejercicio aeróbico, ya que no se registró durante nuestro PRCV ninguna incidencia ni complicación<sup>5-7</sup>.

Con esta prescripción de ejercicio interválico de alta intensidad, nuestros resultados se asemejan a los de otros autores con aumentos significativos de un 17% tanto el  $VO_{2\text{pico}}$  como en la carga máxima alcanzada en la ergoespirometría<sup>4-6</sup>. Tras la finalización del PRCV objetivamos un incremento medio de 3,9 ml/kg/min y de 21,1 vatios ([tabla 3](#)). Estos incrementos del  $VO_{2\text{pico}}$  son de gran interés clínico ya que el  $VO_{2\text{pico}}$  ha demostrado ser el mejor predictor individual de muerte entre los pacientes con enfermedad coronaria<sup>2,3</sup>.

Ninguna de las pruebas de esfuerzo fueron concluyentes al no superar el 85% de la FC teórica calculada por la edad (220 - edad), pero sí podemos asegurar que dichas pruebas fueron maximales al cumplir valores ergoespirométricos de  $RER \geq 1,13$ . Llama la atención que la FC máxima alcanzada en la ergoespirometría tras finalizar el programa de rehabilitación fuera mayor que la inicial (118 vs. 128 lat./min;  $p < 0,001$ ). Estos hallazgos podrían deberse, por un lado, a que se obtuvieron mayores cargas de trabajo tras finalizar el PRCV (104 vatios vs. 125 vatios) y a un aumento significativo del tiempo de esfuerzo (7,36 vs. 9,30 min). También consideramos que, a pesar de cumplir criterios de maximalidad en la ergoespirometría preprograma ( $RER: 1,13$ ), los pacientes se esforzaron más y de una forma significativa en la ergoespirometría posprograma ( $RER: 1,20$ ).

Por otra parte, no existió diferencia significativa de la FC mínima tras 5 min de reposo previo a realizar la prueba de esfuerzo pre y posprograma (67 vs. 65 lat./min). Este resultado no sorprende, ya que el 80% de los pacientes estaban

**Tabla 3** Parámetros ergoespirométricos recogidos al inicio del programa y tras su finalización

Parámetro	Preprograma Media (DE)	Posprograma Media (DE)	Posprograma-preprograma Media (IC 95%) <sup>a</sup>	Valor p <sup>b</sup>
Tiempo de esfuerzo	7:36 (1:30)	9:30 (2:00)	1:48 (1:06-2:36)	0,0001
Carga máxima alcanzada	103,5 (42,6)	124,6 (53,4)	21,0 (9,7-32,4)	0,0008
VO <sub>2</sub> pico (ml/kg/min)	19,9 (5,3)	23,8 (6,0)	4,0 (1,9-6,0)	0,0005
Porcentaje del predicho	85,5 (22,7)	97,3 (19,0)	12,4 (4,7-20,1)	0,0030
Coefficiente respiratorio máximo	1,13 (0,09)	1,20 (0,14)	0,07 (0,01-0,13)	0,0181
FC mínimo (lat./min)	67,4 (12,0)	65,4 (8,6)	-2,0 (-5,7-1,7)	0,2717
PAS mínima (mmHg)	124,0 (12,1)	120,4 (12,7)	-2,7 (-7,9-2,5)	0,2898
PAD mínima (mmHg)	74,6 (9,0)	73,2 (6,9)	-0,8 (-5,5-3,9)	0,7164
FC máxima (lat./min)	117,6 (15,7)	128,0 (16,5)	10,5 (5,5-15,4)	0,0002
% de la frecuencia máxima	72,3 (9,0)	78,8 (8,8)	6,5 (3,5-9,5)	0,0001
PAS máxima	164,8 (36,4)	173,0 (25,0)	10,4 (-8,9-29,8)	0,2772
PAD máxima	88,5 (8,7)	88,9 (8,1)	0,8 (-3,8-5,4)	0,7258
Doble producto máximo	20.199 (3.903)	22.247 (5.099)	2.184,5 (321-4.048)	0,0236
Recuperación FC 1. <sup>er</sup> minuto	16,5 (9,2)	21,3 (7,7)	4,8 (0,3-9,4)	0,0390
Equivalente de O <sub>2</sub> mínimo	25,3 (3,4)	24,6 (3,5)	-0,7 (-1,9-0,6)	0,2764
Equivalente de CO <sub>2</sub> mínimo	28,4 (3,7)	27,5 (3,2)	-0,8 (-1,7-0,2)	0,1162
Presión espiratoria O <sub>2</sub> mínima	99,9 (5,2)	98,4 (4,6)	-1,1 (-2,9-0,7)	0,2299
Presión espiratoria CO <sub>2</sub> mínima	42,0 (4,4)	44,0 (5,3)	1,9 (-0,2-4,0)	0,0729

FC: frecuencia cardíaca; lat./min: latidos por minuto; mmHg: milímetros de mercurio; PAD: presión arterial diastólica; PAS: presión arterial sistólica; VO<sub>2</sub> pico: consumo de oxígeno pico.

<sup>a</sup> Media e intervalo de confianza al 95% para las diferencias.

<sup>b</sup> Valor p de la diferencia correspondiente a la prueba de la t de Student para muestras dependientes.

en tratamiento con betabloqueantes, con una FC de reposo ya muy reducida y en los que es difícil conseguir una mayor reducción de la FC.

El índice de recuperación de la FC en el primer minuto (IRFC), o número de latidos recuperados en el primer minuto tras un esfuerzo máximo, es considerado por muchos autores como un factor predictivo de morbimortalidad<sup>8</sup>, considerándose una respuesta normal un IRFC  $\geq$  a 12 lat./min. Tras el programa el IRFC aumentó significativamente lo que podría deberse a un aumento del tono vagal predictivo de mejor pronóstico en términos de morbimortalidad<sup>9,10</sup>.

En los trabajos publicados de entrenamiento interválico, existen diferencias metodológicas en cuanto a las intensidades aplicadas (% de VO<sub>2pico</sub>, % de reserva VO<sub>2pico</sub>, % de FC máxima o % carga máxima alcanzada en vatios) y en cuanto a la duración utilizada en los intervalos pico y en los intervalos de recuperación relativa. Rognum et al. emplearon 3 min al 50-60% VO<sub>2pico</sub>, seguidos de 4 min al 80-90% VO<sub>2pico</sub> con un tiempo total de entrenamiento de 33 min por sesión (incluyendo 5 min de calentamiento)<sup>5</sup>. Warburton et al. utilizaron 2 min al 40% de la reserva del VO<sub>2pico</sub>, seguidos de 2 min al 90% de la reserva del VO<sub>2pico</sub> con un tiempo total de entrenamiento de 50 min por sesión (incluyendo 10 min de calentamiento y 10 min de enfriamiento)<sup>6</sup>. La metodología utilizada por Wisloff et al. fue de 3 min al 50-60% de la FC máxima, seguidos de 4 min al 90-95% de la FC máxima con un tiempo total de entrenamiento de 38 min por sesión (incluyendo 10 min de calentamiento)<sup>11</sup>. Otros autores como Munk et al. utilizaron 3 min al 60-70% de la FC máxima seguidos de 4 min al 90-95% de la FC máxima con un tiempo total de entrenamiento de 60 min por sesión (incluyendo 10 min

de calentamiento y 5 de enfriamiento)<sup>10</sup>. La metodología utilizada por Guirau et al. fue de un control de carga al 100% de la carga aeróbica máxima alcanzada en la ergoespirometría durante 15 o 60 s seguido de recuperación relativa al 50% durante 15 o 60 s, con un tiempo total de entrenamiento de 38 min por sesión (incluyendo 5 min de calentamiento y 3 min de enfriamiento)<sup>12</sup>. Meyer et al. utilizaron una metodología que consistía en intervalos de carga al 50% de la carga máxima alcanzada en la SRT durante 30 s intercaladas con intervalos de carga al 10% durante 60 s<sup>2</sup>.

Está claro que existen variaciones considerables en cuanto a la metodología de estos entrenamientos interválicos. En cualquier caso, hay que tener claro que la duración de los intervalos de recuperación relativa deben de ser iguales o superiores a los intervalos de mayor intensidad, de esta manera el organismo tendrá tiempo suficiente para el aclaramiento del lactato, evitando así un trabajo en anaerobiosis prolongada y evitando que el sistema simpático-adrenérgico acentúe el trabajo cardiovascular ya de por sí sobrecargado.

En nuestro estudio utilizamos una metodología basada en la descrita por Meyer et al.<sup>2</sup>, aplicando durante los entrenamientos un control de carga (en vatios) y no de FC como es comúnmente utilizado en nuestro medio. La intensidad de entrenamiento fue del 50% de la carga máxima alcanzada en la SRT durante 20 s, seguida de intervalos de 40 s al 10% de la carga máxima alcanzada en la prueba empuñada SRT. Pensamos que estos microintervalos nos permiten entrenar a altas intensidades, con valoraciones en la escala de Börg de 15-16, pero que son bien tolerados por el paciente

Tabla 4 Parámetros de máximo esfuerzo en la prueba Steep Ramp Test recogidos al inicio, a la quinta semana para ajustar cargas y tras finalizar el programa

Parámetro	Preprograma	5. <sup>a</sup> semana	Posprograma	5. <sup>a</sup> semana-preprograma	Posprograma-5. <sup>a</sup> semana	Valor p <sup>b</sup>
	Media (DE)	Media (DE)	Media (DE)	Media (IC 95%) <sup>a</sup>	Media (IC 95%) <sup>a</sup>	Valor p <sup>b</sup>
FC (lat./min)	109,9 (16,2)	118,8 (20,3)	122,1 (20,9)	7,3 (0,6-15,2)	2,2 (-4,3-8,7)	0,4773
PAS (mmHg)	151,0 (17,9)	152,6 (18,7)	154,0 (27,6)	0,9 (-10,6-12,4)	4,7 (-4,9-14,3)	0,3147
PAD (mmHg)	78,3 (12,0)	76,5 (10,7)	76,9 (12,3)	-0,6 (-6,9-5,7)	0,0 (-5,3-5,3)	1,0000
Carga (vatios)	200,6 (56,0)	240,8 (59,3)	254,5 (56,9)	43,4 (29,1-54,7)	9,2 (0,7-17,8)	0,0365

FC: frecuencia cardíaca; lat./min: latidos por minuto; mmHg: milímetros de mercurio; PAD: presión arterial diastólica; PAS: presión arterial sistólica.

<sup>a</sup> Media e intervalo de confianza al 95% para las diferencias.

<sup>b</sup> Valor p de la diferencia correspondiente a la prueba de la t de Student para muestras dependientes.

gracias a estos breves intervalos de recuperación que permiten ejercitarse con muy poca utilización del sistema glucolítico productor de lactato.

Es de resaltar que, con estos tipos de entrenamiento de tipo interválico, la FC de entrenamiento no superó nunca la FC máxima alcanzada durante la ergoespirometría realizada antes de iniciar el programa de entrenamiento. En algunas situaciones aisladas, la FC alcanzada durante el entrenamiento era del 100% de la alcanzada en la ergoespirometría pero se comprobó que en ninguno de los casos se superó el umbral ventilatorio anaeróbico (VT<sub>2</sub>), calculado por la metodología del valor más bajo del equivalente de CO<sub>2</sub> junto al valor más alto de la presión espiratoria de CO<sub>2</sub>. Por tanto, consideramos que el ejercicio que se realizó en cada sesión de entrenamiento estaba dentro de los márgenes de seguridad en términos de FC.

La prueba Steep Ramp Test es una prueba de esfuerzo para determinar la carga máxima tolerada por un paciente y sirve para diseñar entrenamientos de tipo interválico. La potencia pico suele alcanzarse en los primeros 2 min, debido a que se aplica una alta intensidad de carga en un corto periodo de tiempo (25 vatios por cada 10 s). La potencia máxima es un indicador de la capacidad del sistema anaeróbico aláctico, siendo por tanto la causa de detención un agotamiento prematuro de los músculos<sup>2</sup>.

Los parámetros cardiovasculares registrados durante la SRT (FC y PA sistólica) no superaron generalmente los valores máximos alcanzados en la ergoespirometría. La FC máxima alcanzada en la SRT, comparándola con la alcanzada en la ergoespirometría, fue un 7% inferior y la PA sistólica de un 10% inferior. Durante las 75 pruebas SRT realizadas (25 pruebas antes, durante y tras el programa) no se registró ninguna incidencia hemodinámica, clínica, ni eléctrica. Por tanto, consideramos que la SRT es una prueba fácil de realizar y segura en términos generales.

La carga máxima media alcanzada en la primera SRT (preprograma) fue de 201 vatios y en la segunda SRT de 241 vatios, por lo que las cargas medias aplicadas en los intervalos de alta intensidad (50% de la carga máxima del SRT) fueron de 100 vatios durante primer mes y de 120 vatios durante el segundo mes. Si comparamos el nivel de carga máxima alcanzada en la ergoespirometría preprograma (104 vatios) con la carga máxima alcanzada en la primera prueba de esfuerzo SRT (201 vatios) y con la alcanzada en la segunda SRT (241 vatios), podemos decir que las cargas aplicadas durante los entrenamientos fueron de alta intensidad. Dichas cargas corresponderían al 97% de la carga máxima alcanzada en la ergoespirometría preprograma durante el primer mes de entrenamiento y del 116% durante el segundo mes de entrenamiento.

Al igual que otros autores observamos que el ejercicio interválico de alta intensidad es una modalidad de entrenamiento eficaz y segura en pacientes con cardiopatía isquémica que permite obtener una mejoría de la capacidad aeróbica.

Debemos seguir investigando para aclarar qué modalidad y qué intensidad de ejercicio son las que mayores beneficios aportan a la capacidad aeróbica y analizar si estos cambios se asocian a un mejor pronóstico en términos de morbimortalidad.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Responsabilidades éticas

**Protección de personas y animales.** Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

**Confidencialidad de los datos.** Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

**Derecho a la privacidad y consentimiento informado.** Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

## Bibliografía

1. Shephard RJ, Balady GJ. Exercise as cardiovascular therapy. *Circulation*. 1999;99:963–72.
2. Myers J, Prakash M, Froelicher V, Do D, Partington S, Atwood JE. Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. *N Engl J Med*. 2002;346:793–801.
3. Kavanagh T, Mertens DJ, Hamm LF, Beyene J, Kennedy J, Corey P, et al. Prediction of long-term prognosis in 12169 men referred for cardiac rehabilitation. *Circulation*. 2002;106:666–71.
4. Cornish AK, Broadbent S, Cheema BS. Interval training for patients with coronary artery disease: a systematic review. *Eur J Appl Physiol*. 2010;10:1682–5.
5. Rognmo O, Hetland E, Jan Helgerud J, Hoff J, Stordahl 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;11:216–22.
6. Warburton DE, McKenzie DC, Haykowsky MJ, Taylor A, Shoemaker P, Ignaszewski AP, et al. Effectiveness of high-intensity interval training for the rehabilitation of patients with coronary artery disease. *Am J Cardiol*. 2005;95:1080–4.
7. Daniels J, Scardina N. Interval training and performance. *Sports Med*. 1984;1:327–34.
8. Cole CR, Blackstone EH, Pashkow FJ. Heart rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *N Engl J Med*. 1999;341:1352–7.
9. Coats AJS. Exercise rehabilitation in chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol*. 1993;22:172–5.
10. Munk P, Staal E, Butt N, Isaksen KL. High-intensity interval training may reduce in-stent restenosis following percutaneous coronary intervention with stent implantation: a randomized controlled trial evaluating the relationship to endothelial function and inflammation. *Am Heart J*. 2009;158:734–41.
11. Wisløff U, Støylen A, Loennechen JP, Bruvold M, Rognmo Ø, Haram PM, et al. Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. *Circulation*. 2007;115:3086–94.
12. Guiraud T, Juneau M, Nigram A, Gayda M, Meyer P, Mekary S, et al. Optimization of high intensity interval exercise in coronary heart disease. *Eur J Appl Physiol*. 2010;108:733–40.