

# Índice de eficiencia miocárdica en cardiopatas posterior a un programa de rehabilitación cardíaca

## Myocardial efficiency index in patients with heart disease after a cardiac rehabilitation program

José A. Citalán-Jiménez<sup>1,2\*</sup>, Jorge A. Lara-Vargas<sup>1,2</sup>, Juan A. Pineda-Juárez<sup>3</sup>, María C. Salgado-Solorio<sup>1,2</sup>, Marco A. Reza-Orozco<sup>1,2</sup>, Rodolfo Arteaga-Martínez<sup>1,4</sup>, Jesica Vergara-Guzmán<sup>1,4</sup>, Rodrigo Contreras-Juvenal<sup>1,4</sup>, María Galván-López<sup>1,4</sup> y Eduardo A. Leyva-Valádez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Servicio de Rehabilitación Cardíaca, División de Servicios Modulares, Centro Médico Nacional 20 de Noviembre, Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado; <sup>2</sup>Facultad de Medicina, Universidad La Salle; <sup>3</sup>Departamento de Investigación Clínica, Centro Médico Nacional 20 de Noviembre, Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado; <sup>4</sup>Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México

### Resumen

**Objetivo:** El índice de eficiencia miocárdica (IEM) correlaciona el consumo miocárdico de oxígeno ( $MVO_2$ ) con el consumo máximo de oxígeno, el cual proporciona información sobre la eficiencia cardiovascular (EfCV). En deportistas, el IEM mejora posterior a un microciclo de entrenamiento, en el paciente con enfermedad cardiovascular sometido a un programa de rehabilitación cardíaca y prevención secundaria PRHCyPS, el comportamiento del IEM podría resultar un estimador relacionado con mejoría derivado de un periodo de entrenamiento. El objetivo del estudio fue determinar el comportamiento del IEM posterior a un PRCyPS en pacientes con cardiopatías y riesgo cardiovascular alto (RCVA). **Métodos:** Estudio de cohorte ambilectivo, descriptivo, analítico, no aleatorizado. Se seleccionaron pacientes con cardiopatías de etiología mixta con RCVA ingresados a un PRCyPS durante 4-6 semanas. A todos los pacientes se les realizó una prueba de ejercicio máximo en banda antes y después del PRCyPS. Se determinaron umbrales de consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) pico, equivalentes metabólicos-carga, doble producto e IEM. Se estableció un punto de corte del IEM mediante una curva ROC con un valor de 7.37 con un área bajo la curva de 0.68 (IC 95%: 0.61-0.76;  $p < 0.001$ ), sensibilidad 0.60 y 1-especificidad de 0.35. **Resultados:** Se incluyeron 193 pacientes con una media de edad de 62.3 años, en su mayoría del sexo masculino (66.2%). Se observaron porcentajes de cambio en el IEM: -27.1% ( $p < 0.001$ ), MET 43.1% ( $p < 0.001$ ), doble producto 5.7% ( $p < 0.01$ ) y  $MVO_2$  8.3% ( $p < 0.01$ ) al término del PRCyPS. **Conclusiones:** Se observó un cambio significativo en el IEM posterior a un PRCyPS, lo cual se asoció a una mejoría en la EfCV, sugiriendo que este pueda considerarse como un parámetro clínico que evaluar en los programas de rehabilitación cardíaca.

**Palabras claves:** Índice de eficiencia miocárdica. Consumo miocárdico de oxígeno. Consumo pico de oxígeno. Programa de rehabilitación cardíaca y prevención secundaria. Doble producto.

### Abstract

**Objective:** The myocardial efficiency index (MEI) correlates the Myocardial Oxygen Consumption ( $MVO_2$ ) with the Maximum Oxygen Consumption ( $VO_{2max}$ ), this index provides information about the cardiovascular efficiency (CvEf). In athletes, the MEI

#### Correspondencia:

\*José A. Citalán-Jiménez  
E-mail: josjimcit@hotmail.com

Fecha de recepción: 15-07-2021  
Fecha de aceptación: 07-12-2021  
DOI: 10.24875/ACM.21000227

Disponible en internet: 20-10-2022  
Arch Cardiol Mex. 2022;92(4):446-453  
www.archivoscardiologia.com

1405-9940 / © 2021 Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez. Publicado por Permanyer. Este es un artículo open access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

improves after a micro-cycle training, however in patients with cardiovascular disease undergoing Cardiac Rehabilitation Program (CRP), IEM behavior could be a good estimator related to the improvement training period. The objective of this study was to determine the myocardial efficiency index behavior in patients with heart disease and high cardiovascular risk (HCVR) after a CRP. **Methods:** Ambilective, descriptive, analytical, non-randomized cohort study was conducted. Patients with heart disease of mixed etiology and HCVR admitted to a CRP for 4-6 weeks were selected. All patients performed a maximal exercise test in band before and after the CPR. Thresholds of  $VO_2$  peak, METs-load, Double product (DP) and MEI were determined. A cut-off point for the MEI was established using a ROC curve with a value of 7.37, area under the curve: 0.68 (95% CI 0.61 - 0.76,  $p < 0.001$ ), sensitivity 0.60 and 1-specificity 0.35. **Results:** 193 patients with a mean age of 62.3 years were included, predominantly men (66.2%). Percentages changes in the MEI: -27.1% ( $p < 0.001$ ), METs: -43.1% ( $p < 0.001$ ), DP: 5.7% ( $p < 0.01$ ), and MVO<sub>2</sub>: 8.3% ( $p < 0.01$ ) were observed at the end of CRP. **Conclusions:** Significant change in the MEI were observed after CRP associated to CVEf improvement, suggesting that this parameter could be considered as a good clinical tool in the CRP care programs.

**Keywords:** Myocardial efficiency index. Myocardial oxygen consumption. Peak oxygen consumption. Cardiac rehabilitation program. Cardiac rehabilitation program and secondary prevention. Double product.

## Introducción

En la actualidad, se han identificado los beneficios en cuanto a costo-efectividad de los programas de rehabilitación cardíaca y prevención secundaria (PR-CyPS), determinando una importante mejoría en la calidad de vida, reducción de la mortalidad y reincidencia de hospitalizaciones, esto secundario a las ganancias obtenidas en el consumo máximo de oxígeno, lo cual permite una mayor tolerancia al esfuerzo<sup>1-6</sup>.

El índice de eficiencia miocárdica (IEM) es un parámetro que relaciona el consumo miocárdico de oxígeno (MVO<sub>2</sub>) con la carga de trabajo máxima lograda, establecida por el consumo pico de oxígeno ( $VO_{2p}$ ), el cual proporciona información del estado hemodinámico que depende del equilibrio entre el aporte miocárdico de oxígeno y las variaciones mecánicas de este; cuanto mayor es la relación, menor es la eficiencia. En sujetos sanos entrenados, se considera normal cuando el resultado es menor a 10; pero cuando este es superior, indica un excesivo trabajo miocárdico en relación con el gasto energético, que se manifiesta comúnmente con elevación exagerada de la frecuencia cardíaca (FC) y presión arterial (PA) a una baja carga de trabajo<sup>7-11</sup>.

El MVO<sub>2</sub> se define como la capacidad del corazón para absorber y utilizar oxígeno, el cual tiene determinantes mayores y menores, entre los que encontramos la FC, la contractilidad, la tensión o estrés parietal (definido por la ley de Laplace [ $T = (P \times r) / 2h$ ]), el inotropismo y el volumen sistólico. Cualquiera de estas variables que se modifiquen durante el ejercicio conllevan un aumento del MVO<sub>2</sub>, el cual se expresa en mL de O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup><sup>12-14</sup>.

El  $VO_{2p}$  se define como la mayor cantidad de oxígeno que una persona es capaz de absorber, transportar y consumir durante el esfuerzo máximo y este dependerá,

de acuerdo con la teoría de los engranajes de Wasserman<sup>15</sup>, de un componente central constituido por el corazón, pulmones y capacidad de transporte por la hemoglobina y el componente periférico, constituido por la masa muscular, su densidad capilar y carga mitocondrial, es la variable que mejor se relaciona con el estado cardiovascular y con la capacidad física; se expresa también en mL de O<sub>2</sub>/kg/min). Por lo tanto, un incremento del  $VO_{2p}$  es el método más común para demostrar un efecto de adaptación cardiometabólica al entrenamiento<sup>16-20</sup>.

En la práctica deportiva el IEM se usa para evaluar la eficiencia cardiovascular. Suele mostrar mejorías notables posterior a un microciclo de entrenamiento, el cual se caracteriza por periodos de entrenamiento cortos habitualmente de entre cuatro a seis semanas orientados a un objetivo, que es incrementar el rendimiento previo a la competición. Desde esta vertiente, la fase II de los PRCyPS han demostrado ganancias sustanciales en el  $VO_{2p}$  y equivalentes metabólicos (MET)-carga, por lo que su estructura se asemeja a la de un microciclo de entrenamiento<sup>21</sup>.

Dado que se ha demostrado que el IEM mejora en atletas posterior a un programa de entrenamiento, se espera entonces que los pacientes cardiopatas posterior a la fase II de un PRCyPS, al disminuir el MVO<sub>2</sub> para una misma carga de trabajo y aumentar el  $VO_{2p}$  por el mismo proceso adaptativo, mejoren el IEM.

En la actualidad no hay estudios en donde se determine cuál es el comportamiento del IEM en pacientes cardiopatas de alto riesgo cardiovascular posterior a un PRCyPS, por tal motivo, el objetivo principal de este estudio es cuantificar su porcentaje de mejoría al término de la fase II de un PRCyPS, y con ello establecer su utilidad dentro de la evaluación final como adaptación cardiovascular al entrenamiento.

## Material y métodos

### Población

Se realizó un estudio de cohorte ambielectivo, descriptivo, analítico y no aleatorizado en el Centro Médico Nacional 20 de noviembre, Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado, en la Ciudad de México, México, durante el periodo de marzo 2019 a enero 2021. Se incluyeron pacientes cardiopatas considerados de alto riesgo cardiovascular de acuerdo con el modelo de estratificación de riesgo para la presentación de arritmias o isquémica durante las sesiones de entrenamiento del Servicio de Rehabilitación Cardíaca del Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez<sup>22</sup>, diagnosticados con cardiopatía isquémica, insuficiencia cardíaca, cardiopatía valvular, hipertensión arterial pulmonar y cardiopatías congénitas, ingresados a un PRCyPS fase II. Los criterios de exclusión fueron pacientes portadores de marcapasos, fibrilación atrial, pacientes inestables o con alguna incapacidad física de realizar la prueba de ejercicio y como criterios de eliminación aquellos pacientes que no completaron la fase II o con asistencia menor al 80% de la programada. Todos los participantes firmaron el consentimiento informado sobre los riesgos y complicaciones de realizar la prueba, así como de su ingreso al PRCyPS. Se cumplió con los reglamentos de ética, investigación y bioseguridad.

### Descripción de la intervención

Se realizó una prueba de esfuerzo convencional en banda sin fin, de acuerdo con el protocolo de Bruce modificado en rampa, la cual fue limitada por fatiga o por criterios de suspensión absoluta<sup>23-26</sup>. A todos los pacientes, a su ingreso y término del PRCyPS, se determinaron umbrales,  $VO_{2p}$ , MET-carga al máximo esfuerzo, doble producto (DP) al máximo esfuerzo e IEM. Previa estratificación de riesgo y prescripción del entrenamiento se determinó la longitud del programa de acuerdo con la capacidad física medida por MET logrados.

El programa de entrenamiento consistió en ejercicio concurrente caracterizado por 3-5 días de ejercicio dinámico con duración de 30 minutos, alternando tapiz rodante con cicloergometría, distribuidos en 5 min de calentamiento, 20 minutos de ejercicio en zona de entrenamiento al 70% de la FC de reserva (FCR) calculada por la fórmula de Karvonen, o entre el 60-70% del  $VO_{2p}$  y por percepción del esfuerzo definida por Borg

entre 12-14, y 5 minutos de enfriamiento. El ejercicio de fuerza se realizó al menos dos días a la semana, con una duración mínima de 20 minutos, y comprendió ejercicios de calistenia, flexibilidad, equilibrio y fuerza del tren superior al 30-40% de la 1RM y del tren inferior al 40-50% de la 1RM<sup>27,28</sup>. Se proporcionó vigilancia y control de sus factores de riesgo cardiovascular, así como evaluación nutricional, atención psicoemocional y sesiones educativas sobre técnicas del ejercicio, terapia ocupacional, reincorporación laboral y técnicas antitabaco.

### Variables cardiopulmonares

Las variables estimadas a partir de la prueba de ejercicio se calcularon de acuerdo con las siguientes fórmulas<sup>7</sup>:

$$IEM = (MVO_2/VO_{2p}) \times 10$$

Donde  $MVO_2$  es el consumo miocárdico de oxígeno y  $VO_{2p}$  es el consumo pico de  $O_2$ .

Para obtener el valor real y preciso del  $MVO_2$  es necesario realizar un estudio invasivo de cateterización cardíaca, lo cual es poco factible en la práctica clínica; por lo tanto, en este estudio dicho parámetro se estimó por medio de sus determinantes como la frecuencia cardíaca y la tensión arterial sistólica (expresadas ambas en su variable subrogada, el DP). Esta correlación ha sido descrita y representada con modelos lineales de regresión mediante la siguiente ecuación<sup>7,8</sup>:

$$MVO_2 = (DP \text{ máximo} \times 0.14 \times 0.01) - (6.3)$$

El  $VO_{2p}$  se calcula por medio de la ecuación de Fick  $VO_{2\text{máx}} = GC$  (gasto cardíaco)  $\times$   $DAVO_2$  (diferencia arterio-venosa de oxígeno). Hill et al.<sup>29</sup> propusieron que el gasto cardíaco máximo fue el principal factor que explicaba las diferencias individuales en el  $VO_{2\text{máx}}$ .

Para fines de este estudio, el  $VO_{2p}$  se determinó durante la realización de esfuerzo dinámico en carga incremental en una prueba de ejercicio en banda sin fin al obtener los MET máximos conseguidos en la prueba de ejercicio multiplicado por 3.5 ml<sup>30</sup>.

$$VO_{2p} = (\text{número de MET} \times 3.5 \text{ ml de } O_2/\text{kg}/\text{min})$$

### Análisis estadístico

Los datos se analizaron con el paquete estadístico *Social Package for Social Sciences* (SPSS) versión 24. Para las variables cuantitativas se realizaron pruebas de normalidad mediante el estadístico Kolgomorov-Smirnov. Los datos con distribución normal se reportaron como medias  $\pm$  desviación estándar, los datos

con distribución no normal se reportaron como medianas y percentiles. Para el caso de las variables categóricas, los datos fueron presentados en frecuencias absolutas y relativas. Para la comparación de las variables cuantitativas con distribución normal preintervención y postintervención, se utilizó la prueba t de Student para muestras pareadas y para la comparación de las variables cuantitativas sin distribución normal preintervención y postintervención se utilizó la prueba de Wilcoxon. Por otro lado, se realizó el cálculo de un punto de corte para el IEM mediante una curva ROC, considerando la mejor sensibilidad y 1-especificidad. Posteriormente se realizó un análisis de variables dicotómicas preintervención y postintervención de acuerdo con el punto de corte calculado utilizando la prueba de McNemar. Se consideró significancia estadística valores con un  $p < 0.05$ .

## Resultados

Se recolectaron un total de 212 pacientes de acuerdo con las características de los criterios de inclusión, de los cuales 12 pacientes fueron excluidos y 7 fueron eliminados al presentar uno o más factores de los criterios de exclusión y eliminación respectivamente, quedando una muestra final de 193 pacientes. La media de edad fue de  $62.3 \pm 10.5$  años, la mayoría de la muestra fue representada por el sexo masculino ( $n = 129$ , 66.2%), así mismo la patología cardiovascular más representativa fue la cardiopatía isquémica con el 84.1% de la muestra. El resto de las características demográficas, etiología de la enfermedad, clínica y tratamiento farmacológico se presentan en la [tabla 1](#).

En la [tabla 2](#) se describen las características de la prueba de esfuerzo preintervención y postintervención, en las cuales se muestran las diferencias (iniciales vs. finales) en los MET de 6.4 (4.5-8.8), equivalente a un  $VO_2$  de 22.4 ml/kg/min vs. MET finales de 9.6 (7.5-11.7), equivalente a un  $VO_2$  de 33.6 ml/kg/min, con un porcentaje de cambio del 43.1% ( $p < 0.001$ ), en el DP de  $17,277.2 \pm 5,506.4$  vs.  $18,062 \pm 5,058$ , con un porcentaje de cambio del 5.7% ( $p < 0.01$ ), lo cual equivale a un  $MVO_2$  de 17.2 (11.9-22.7) ml/kg/min vs. un  $MVO_2$  de 18.0 (13.3-23.4) ml/kg/min, con un porcentaje de cambio del 8.3% ( $p < 0.01$ ).

Punto especial se observó en la variable de interés, donde el cambio del IEM marcó valores de 7.5 (5.1-10.1) vs. 5.7 (4.1-7), con un porcentaje de cambio de -27.1% ( $p < 0.001$ ).

A partir del cambio reportado en el IEM, y de acuerdo con el punto de corte reportado en deportistas, los

**Tabla 1.** Características demográficas, etiología, comorbilidades y tratamiento farmacológico de la población de estudio\*

Características	n = 193
Demográficas	
Edad (años)	$62.3 \pm 10.5$
Sexo n (%)	
Masculino	129 (66.2)
Femenino	64 (32.8)
Tabaquismo	112 (57.4)
Etiología n (%)	
Cardiopatía isquémica	164 (84.1)
Insuficiencia cardiaca	71 (36.4)
Enfermedad valvular	37 (19)
Enfermedad arterial pulmonar	31 (15.9)
Cardiopatía congénita	4 (2.1)
Miocardiopatía dilatada	17 (8.7)
Miocardiopatía restrictiva	2 (1)
Miocardiopatía hipertrófica	2 (1)
Displasia	15 (7.7)
Canal	2 (1)
Comorbilidades n (%)	
Dislipidemia	123 (63.1)
Obesidad	81 (41.5)
DM2	79 (40.5)
Hipertensión	119 (61)
Clínicas n (%)	
FEVI (%)	54 (42-63)
Clase funcional	
1	92 (47.2)
2	17 (8.7)
3	38 (19.5)
Farmacológicas n (%)	
IECA	77 (40.1)
ARA	86 (44.1)
Antiagregantes	168 (86.2)
Estatinas	163 (83.6)
BB	143 (73.3)
CA	31 (15.9)
Diuréticos	44 (22.6)
BA	22 (11.3)
Zidovudina	6 (3.1)
ARM	12 (6.2)

\*Los datos se presentan en mediana (p25-p75) y n (%).

DM2: diabetes *mellitus* tipo 2; FEVI: fracción de eyección del ventrículo izquierdo; IECA: inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina; ARA: antagonistas del receptor de angiotensina; BB: betabloqueantes; CA: calcioantagonistas; BA: bloqueantes alfa; ARM: antagonistas de los receptores para mineralocorticoides.

valores promedios no superaron el índice mayor a 10, punto de corte normal para el IEM, por lo que se consideró realizar el cálculo de un punto de corte para la población que estudiar, en donde se determinó como variable de éxito (dicotómica) un cambio  $> 10\%$  de acuerdo con los MET realizados al finalizar el PRCyPS, ya que en la literatura se han reportado incrementos de  $VO_2$  del 10-30% después de un programa de rehabilitación cardiaca<sup>31</sup>. Por lo tanto, el punto de corte

**Tabla 2.** Características iniciales, finales y porcentaje de cambio de medidas antropométricas y de la prueba de ejercicio en banda, posterior al programa de rehabilitación cardiaca y prevención secundaria (PRCyPS) de la población de estudio\*

Características	Inicial (n = 193)	Final (n = 193)	Δ (%)	p
Antropométricas				
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	27.6 (24.7-30)	27.4 (24.7-30.1)	0	0.50
Prueba de ejercicio				
VO <sub>2</sub> (ml/kg/min)	22.4 (15.7-30.8)	33.6 (26.2-40.9)	43.1	< 0.001
MÉT	6.4 (4.5-8.8)	9.6 (7.5-11.7)	42.8	< 0.001
FCR (bpm)	53 (37-72)	60 (44-80)	18.4	< 0.001
DP	17,277.2 ± 5,506.4	18,062 5,058	5.7	0.01
MVO <sub>2</sub> (ml/kg/min)	17.2 (11.9-22.7)	18 (13.3-23.4)	8.3	< 0.01
IEM	7.5 (5.1-10.1)	5.7 (4.1-7)	-27.1	< 0.001

\*Los datos se presentan en desviación estándar ± media o mediana (p25-p75).

IMC: índice de masa corporal; VO<sub>2</sub>: consumo máximo de oxígeno; MÉT: equivalentes metabólicos; DP: doble producto; MVO<sub>2</sub>: consumo miocárdico de oxígeno; FCR: frecuencia cardiaca de reserva; IEM: índice de eficiencia miocárdica; Δ: % (delta) de cambio.

elegido para el IEM en nuestra población tuvo un valor de 7.37, con un área bajo la curva de 0.68 (intervalo de confianza del 95% [IC 95%]: 0.61-0.76,  $p < 0.001$ ), sensibilidad de 0.60 y 1-especificidad de 0.35 (Fig. 1).

Posteriormente, se categorizó a los pacientes de acuerdo con el nuevo punto de corte:  $< 7.37$  ( $n = 92$ ) y  $> 7.37$  ( $n = 101$ ), donde se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.001$ ) al comparar el porcentaje de cambio entre las categorías preintervención y postintervención, observando que el 92.4% de los pacientes con el punto de corte  $< 7.37$  se mantuvo sin cambio, pero el 72.3% de los pacientes con un punto de corte  $> 7.37$  pasaron a la categoría  $< 7.37$ , como se muestra en la figura 2.

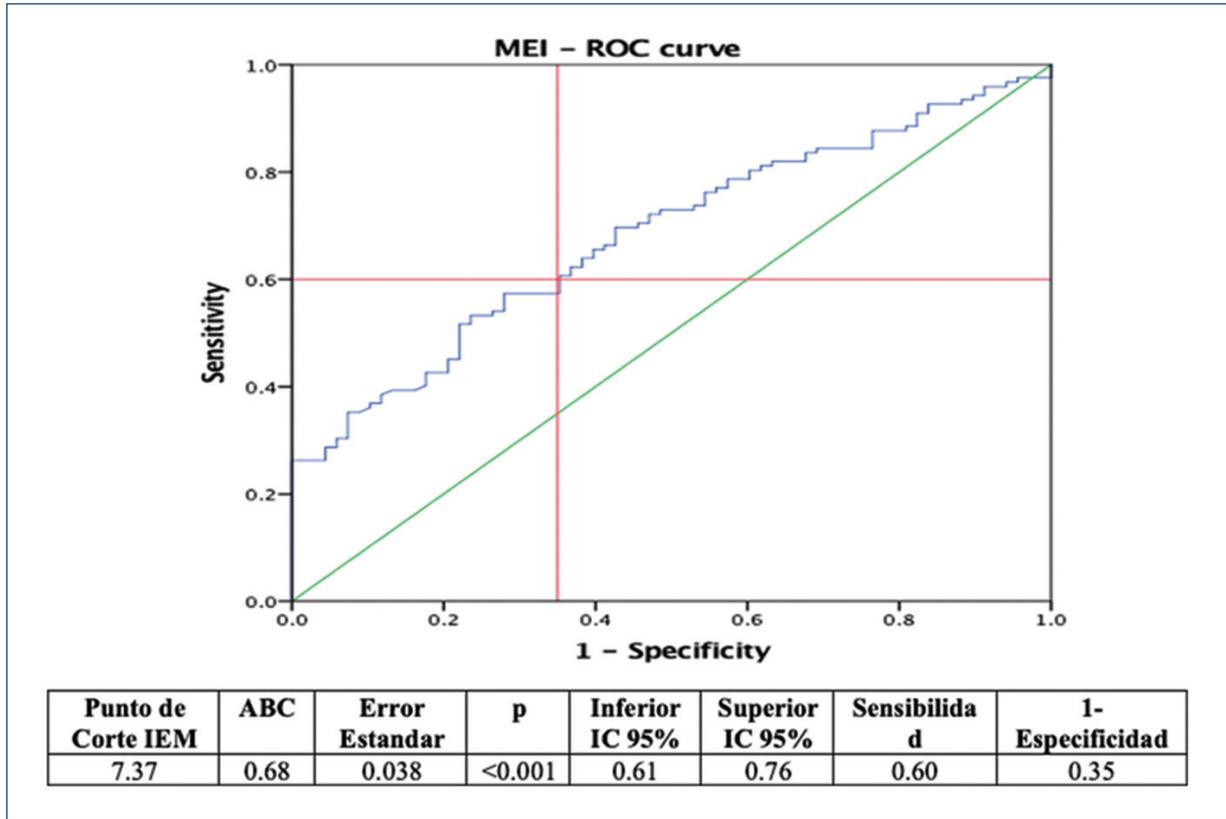
## Discusión

En nuestro estudio, el IEM ha logrado un valor diagnóstico que marca la mejoría de los pacientes con cardiopatía sometidos a un microciclo de entrenamiento dentro de un PRCyPS. En atletas de alto rendimiento y población entrenada sana, este índice es un marcador de adaptación, estableciendo para ellos como un punto de corte de una adecuada eficiencia cardiovascular con un valor de 10<sup>7</sup>. Nuestro problema de investigación se centraba en el desconocimiento del comportamiento de dicho índice en pacientes cardiopatas, independientemente de su patología cardiovascular específica.

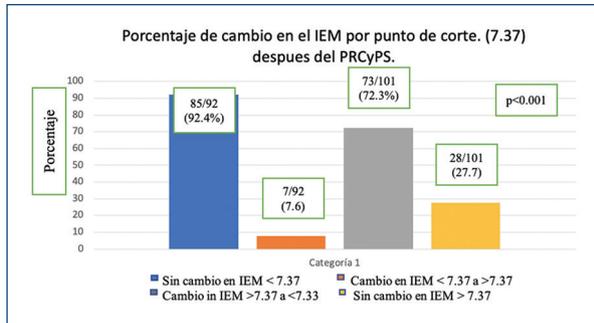
Si bien el objetivo del estudio era demostrar si existía una disminución del IEM posterior al término de la fase II del PRCyPS, se logró establecer un punto de corte mediante la curva ROC para determinar de forma cuantitativa el punto exacto sobre el que se valoraría la

adaptación en esta población, esto debido a que un porcentaje significativo de la muestra dio como resultado un IEM menor a 10, sin embargo, en estos pacientes esto no traduce adecuada eficiencia cardiovascular, ya que es resultado de valores iniciales bajos de VO<sub>2</sub> y MVO<sub>2</sub> debido a una respuesta cronotrópica y presora anormales en estos pacientes secundario a toma de fármacos y patología de base<sup>15,32,33</sup>. Por otra parte, al analizar los resultados de acuerdo con el punto de corte establecido por la curva ROC (IEM de 7.37) se demuestra que en aquellos pacientes con valores de IEM  $> 7.37$ , el 72.3% pasaron a la categoría de  $< 7.37$ , y aquellos con un IEM  $< 7.37$  el 92.4% se mantuvo sin cambio significativo, demostrando que los pacientes más deteriorados presentan ganancias más sustanciales de VO<sub>2</sub>p y de adaptación cardiovascular al entrenamiento. Algunos de los estudios reportados sustentaban la hipótesis de que este cambio sería plausible en pacientes con cardiopatía isquémica y angina, quizás con variaciones en el MVO<sub>2</sub> por el comportamiento de la recuperación de la tensión arterial sistólica o de la FC en el postentrenamiento, dado que estas son las variables que determinan el DP sobre el que se basa su subrogación<sup>32,34</sup>.

Se ha demostrado que las intervenciones que mejoran el rendimiento físico en pacientes con angina al reducir las necesidades de oxígeno del miocardio no se asocian con cambios en el MVO<sub>2</sub> máximo tolerado. Sin embargo, el esfuerzo mecánico del miocardio en cualquier nivel dado de trabajo externo disminuye con el entrenamiento y, por lo tanto, se retrasa la consecución del MVO<sub>2</sub> limitante de la angina, lo que permite un trabajo de mayor intensidad y duración<sup>35-37</sup>.



**Figura 1.** Determinación del punto de corte del índice de eficiencia miocárdica por curva ROC. IEM: índice de eficiencia miocárdica; ABC: área bajo la curva; IC 95%: intervalo de confianza del 95%.



**Figura 2.** Porcentaje de cambio en el índice de eficiencia miocárdica (IEM) usando el punto de corte calculado por curva ROC, posterior al programa de rehabilitación cardiaca y prevención secundaria (PRCyPS). Los datos se presentan en n (%).

En nuestro estudio se logró demostrar una importante ganancia de los MET posterior a un PRCyPS hasta en un 42.8% respecto a la prueba de esfuerzo inicial, sobrepasando incluso las ganancias reportadas en la literatura que oscilan entre el 10-30%. Si bien existe un

aumento el  $MVO_2$  de un 8.3% respecto a la prueba inicial, se deduce que este incremento ocurre secundario a una mejor tolerancia al esfuerzo, debido a un incremento en la respuesta presora y cronotrópica, demostrada así también por un aumento de hasta el 18.4% de la frecuencia cardiaca de reserva, con el consecuente aumento del DP al máximo esfuerzo<sup>38,39</sup>.

No obstante, se puede indicar que pudiera haber existido mayor precisión en los resultados si la medición del  $VO_{2p}$  hubiese sido bajo la cuantificación directa del análisis de gases espirados, sin embargo se resalta que la utilidad de este índice hasta ahora validado en atletas utiliza la misma formulación que la empleada en este estudio.

Por otro lado, no se discriminó entre las características de la población en pacientes con cardiopatía isquémica o insuficiencia cardiaca, considerando que el comportamiento del entrenamiento y de las variables expuestas en el estudio ( $MVO_2$ ,  $VO_{2p}$ ) pudieran tener variaciones según la cardiopatía, además, no se excluyeron pacientes que estuvieran consumiendo betabloqueadores, ya que estos tienen un efecto importante

en la FC y por tanto un efecto agregado en la reducción del  $MVO_2$ <sup>40</sup>. Futuras líneas de investigación podrían validar el punto de corte y el comportamiento del IEM bajo estas últimas consideraciones.

## Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en nuestro estudio podemos concluir que los pacientes que son sometidos a un PRCyPS mejoran de manera significativa el IEM y por tanto su eficiencia cardiovascular; estableciendo que una reducción mayor al 27.1% pudiera considerarse como una meta más que evaluar en nuestros programas bajo la validación de un nuevo indicador de adaptación cardiovascular al entrenamiento en estos pacientes.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a los pacientes del estudio, así como a todo el personal que hizo posible su realización, en especial al Servicio de Rehabilitación Cardíaca del Centro Médico Nacional 20 de Noviembre.

## Financiamiento

Este trabajo fue financiado por los autores del proyecto y el Centro Médico Nacional 20 de Noviembre.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener 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

- Piepoli MF, Hoes AW, Agewall S, Albus C, Brotons C, Catapano AL, et al.; ESC Scientific Document Group. 2016 European Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice: The Sixth Joint Task Force of the European Society of Cardiology and Other Societies on Cardiovascular Disease Prevention in Clinical Practice (constituted by representatives of 10 societies and by invited experts) Developed with the special contribution of the European Association for Cardiovascular Prevention & Rehabilitation (EACPR). *Eur Heart J*. 2016;37(29):2315-81.

- Belardinelli R, Georgiu D, Cianci G, Purcaro A. Randomized, controlled trial of long-term moderate exercise training in chronic heart failure. Effects on functional capacity, quality of life and clinical outcome. *Circulation*. 1999;99:1173-82.
- O'Connor GT, Buring JE, Yusuf S, Goldhaber SZ, Olmstead EM, Paffenbarger RS, et al. An overview of randomized trials of rehabilitation with exercise after myocardial infarction. *Circulation*. 1989;80:234-44.
- Palau P, Domínguez E, Núñez E, Ramón JM, López L, Melero J, et al. Peak exercise oxygen uptake predicts recurrent admissions in heart failure with preserved ejection fraction. *Rev Esp Cardiol (English Edition)*. 2018;71(4):250-6.
- De Pablo C, Torres R, Herrero C, Resultados de los programas de rehabilitación cardíaca sobre la calidad de vida. En: Maroto Montero J, De Pablo Zarzosa C, editores. *Rehabilitación cardiovascular*. 1.ª ed. Madrid: Médica Panamericana; 2011. pp. 485-496.
- De Pablo C, Artigao R. Resultados de los programas de rehabilitación cardíaca sobre el pronóstico. En: Maroto Montero J, De Pablo Zarzosa C, editores. *Rehabilitación cardiovascular*. 1.ª ed. Madrid: Médica Panamericana; 2011. pp. 497-516.
- Rodríguez Patiño IV, López Rodríguez SA. Índice de eficiencia miocárdica en jugadores de fútbol asociación en pretemporada 2015 a 2600 metros sobre el nivel del mar. Toluca, Estado de México [Internet]. Universidad Autónoma del Estado de México; 2017. Disponible en: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/996000?s-how=full>
- Berényi I, Ludwig G, Böszörményi E. Relative cardiac efficiency and ST depression during progressive exercise test. *Cardiology*. 1981;68(1):54-8.
- Vázquez A, Mindlin F, Aptekar M. Evaluación de la eficacia miocárdica mediante un índice ergométrico. *Rev Arg Cardiol*. 1981;49:22-33.
- Knaepen P, Germans T. Myocardial efficiency in heart failure: non invasive imaging. *Heart Metab*. 2008;39:14-9.
- Hwang IC. Myocardial efficiency: A reliable load-independent parameter of cardiac performance? *J Cardiovasc Imaging*. 2020;28(4):279.
- Guadalajara Boo JF. Entendiendo la insuficiencia cardíaca. *Arch Cardiol Mex*. 2006;76(4):431-47.
- Weber KT, Janicki JS. Myocardial oxygen consumption: the role of wall force and shortening. *Am J Physiol*. 1977;233(4):H421-30.
- Sarnoff SJ, Braunwald E, Welch Jr GH, Case RB, Stainsby WN, Macruz R. Hemodynamic determinants of oxygen consumption of the heart with special reference to the tension-time index. *Am J Physiol*. 1957;192(1):148-56.
- Wasserman K, et al. Physiology of exercise. En: Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Stringer WW, Sietsema KE, Sun XG, et al., editores. *Principles of exercise testing and interpretation including pathophysiology and clinical applications*, 5ª ed. Filadelfia: Lippincott Williams and Wilkins; 2012. pp. 9-61
- Bassett DR, Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32(1):70-84.
- Powers SK, Lawler JO, Dempsey JA, Dodd ST, Landry GR. Effects of incomplete pulmonary gas exchange on  $VO_2$  max. *J Appl Physiol* (1985). 1989;66(6):2491-5.
- Honig CR, Connett RJ, Gayeski T.  $O_2$  transport and its interaction with metabolism; a systems view of aerobic capacity. *Med Sci Sports Exerc*. 1992;24(1):47-53.
- Holloszy JO, Coyle EF. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J Appl Physiol*. 1984;56(4):831-8.
- Andersen P, Henriksson J. Capillary supply of the quadriceps femoris muscle of man: adaptive response to exercise. *J Physiol*. 1977;270(3):677-90.
- Pardo Gil J. Entrenamiento de resistencia aeróbica. En: Fernández Vaquero A, López Chicharro J, editores. *Fisiología del ejercicio*. 3.ª ed. Madrid: Médica Panamericana; 2006. pp. 471-486.
- Illaraza Lomeli H, Espinoza Pérez J. Evaluación clínica, de laboratorio y gabinete en la estratificación de riesgo. En: Iturralde Torres P, editor. *Clínicas mexicanas de cardiología. Rehabilitación cardiovascular, prevención y deporte*. 1.ª ed. Ciudad de México: PyDESA; 2020. pp. 51-64.
- Muela A. Pruebas de esfuerzo. En: Maroto Montero J, De Pablo Zarzosa C, editores. *Rehabilitación cardiovascular*. 1.ª ed. Madrid: Médica Panamericana; 2011. pp. 115,140.
- Ozemek C, Arena R. Cardiopulmonary exercise testing in patients with heart failure and a preserved ejection fraction: filling the prognostic knowledge gap. *Rev Esp Cardiol (Engl Ed)*. 2018;71(4):237-9.
- Leclerc K. Cardiopulmonary exercise testing: A contemporary and versatile clinical tool. *Cleve Clin J Med*. 2017;84(2):161-8.
- Marqueta PM, Bonafonte LF, Orellana JN, Cuixart DB, Nogués JC, Soto CC, et al. Pruebas de esfuerzo en medicina del deporte. Documento de consenso de la Sociedad Española de Medicina del Deporte (SEMED-FEMEDE). *Arch Med Deporte*. 2016;33(1):5-83.
- Cristancho Chinome H, Ojalora Luna JE, Callejas Cuervo M. Sistema experto para determinar la frecuencia cardíaca máxima en deportistas con factores de riesgo. *Rev Ing Biomed*. 2016;10(19):23-31.

28. Ilaraza H, Quiroga P. Planificación del entrenamiento físico. En: Maroto Montero J, De Pablo Zarzosa C, editores. *Rehabilitación cardiovascular*. 1.ª ed. Madrid: Médica Panamericana; 2011. pp. 253-272
29. Hill AV, Lupton H. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. *QJM*. 1923;16(62):135-71.
30. Froelicher V, Myers J. Exercise testing methodology. En: Pioli S, editor. *Exercise and the heart*. 5ª ed. Filadelfia: Saunders Elsevier; 2006. pp. 11-40.
31. Fernández Vaquero A, Serratos Fernández L. Fisiopatología del ejercicio en las enfermedades cardiovasculares. En: Fernández Vaquero A, López Chicharro J, editores. *Fisiología del ejercicio*. 3.ª ed. Madrid: Médica Panamericana; 2006. pp. 845-874.
32. Resnik M, De Roia G, Lobo P, Peralta L, Saccone F, Puga L, et al. Punto de quiebre del doble producto como indicador de transición metabólica durante el ejercicio en pacientes coronarios. *Insuficiencia cardíaca*. 2016;11(4):160-7.
33. Fernández Vaquero A, Lopez Chicharro J, Serratos Fernández R. Respuestas y adaptaciones cardiovasculares al ejercicio. En: Fernández Vaquero A, López Chicharro J, editores. *Fisiología del ejercicio*. 3.ª ed. Madrid: Médica Panamericana; 2006. pp. 321-340.
34. Fernández Vaquero A. Consumo de oxígeno: concepto bases fisiológicas y aplicaciones. En: Fernández Vaquero A, López Chicharro J, editores. *Fisiología del ejercicio*. 3.ª ed. Madrid: Médica Panamericana; 2006. pp. 405-415.
35. Lombardo TA, Rose L, Taeschler M, Tuluy S, Bing RJ. The effect of exercise on coronary blood flow, myocardial oxygen consumption and cardiac efficiency in man. *Circulation*. 1953;7(1):71-8.
36. Dressendorfer RH, Smith JL, Amsterdam EA, Mason DT. Reduction of submaximal exercise myocardial oxygen demand post-walk training program in coronary patients due to improved physical work efficiency. *Am Heart J*. 1982;103(3):358-62.
37. Moreu-Burgos J, Macaya-Miguel C. Fisiopatología del miocardio isquémico. Importancia de la frecuencia cardíaca. *Rev Esp Cardiol Supl*. 2007;7(4):19D-25D.
38. Saltin B. Response to exercise after bed rest and after training. *Circulation*. 1968;38:1-78.
39. Ekblom B, Astrand PO, Saltin B, Stenberg J, Wallström B. Effect of training on circulatory response to exercise. *J Appl Physiol*. 1968;24(4):518-28.
40. Tesch PA. Exercise performance and  $\beta$ -blockade. *Sports Med*. 1985;2(6):389-412.