

Original/Deporte y ejercicio

# Confiabilidad del consumo máximo de oxígeno evaluado en pruebas de esfuerzo consecutivas mediante calorimetría indirecta

Javier Arturo Hall-López<sup>1</sup>, Paulina Yesica Ochoa-Martínez<sup>1</sup>, José Moncada-Jiménez<sup>2</sup>, Mara Alessandra Ocampo Méndez<sup>1</sup>, Issael Martínez García<sup>1</sup> y Marco Antonio Martínez García<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Deportes, Universidad Autónoma de Baja California. México. <sup>2</sup>Centro de Investigación en Ciencias del Movimiento Humano, Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

## Resumen

**Introducción:** La evaluación del consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ ) por calorimetría indirecta es el método más confiable aun sin embargo los resultados al determinar el  $VO_{2max}$  cuando se realizan pruebas repetidas han resultado controversiales.

**Objetivo:** Determinar la confiabilidad del consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ ) obtenido mediante dos pruebas de esfuerzo consecutivas utilizando el protocolo de Bruce en sujetos sanos que descansaron 10 min entre cada prueba.

**Método:** En el estudio participaron 6 adultos jóvenes de género masculino, físicamente activos con una edad promedio de  $23.4 \pm 1.3$  años, los sujetos realizaron dos pruebas de esfuerzo mediante el protocolo de Bruce y alcanzaron el  $VO_{2max}$  entre la primera y la segunda prueba, se bajaron del ergómetro y reposaron sentados en una silla durante 10 minutos.

**Resultados:** Los datos obtenidos mostraron alta reproducibilidad de los valores entre las pruebas, indicado por el coeficiente de correlación producto momento de Pearson y el R cuadrado con intervalos de confianza al 95% ( $IC_{95\%}$ ), la correlación del consumo máximo de oxígeno fue  $VO_{2max} = 0.907$ , con un  $R^2 = 0.823$ , la frecuencia cardiaca máxima fue  $FC_{max} = 0.786$ , con un  $R^2 = 0.618$  y la tasa de ventilación y eliminación de dióxido de carbono fue  $VE/VCO_2 = 0.868$ , con un  $R^2 = 0.754$ .

**Conclusión:** No se observaron efectos adversos durante el periodo de descanso de 10 minutos entre pruebas. En conclusión, descansar 10 minutos entre pruebas de esfuerzo máximas consecutivas utilizando el protocolo de Bruce no afecta el  $VO_{2max}$  en sujetos jóvenes y aparentemente sanos. Repetir una prueba máxima en una misma sesión es posible, confiable y no se presentan efectos adversos.

(Nutr Hosp. 2015;31:1726-1732)

DOI:10.3305/nh.2015.31.4.8487

Palabras clave: Consumo Máximo de Oxígeno. Frecuencia Cardiaca Máxima. Tasa de Ventilación y Eliminación de Dióxido de Carbono.

**Correspondencia:** Paulina Yesica Ochoa-Martínez.  
Col. Ex ejido Coahuila.  
Río Mocerito y Monclova S/N.  
21280 Mexicali, Baja California, México.  
E-mail: pochoa@uabc.edu.mx

Recibido: 4-XII-2014.  
Aceptado: 28-XII-2014.

## RELIABILITY OF THE MAXIMAL OXYGEN UPTAKE FOLLOWING TWO CONSECUTIVE TRIALS BY INDIRECT CALORIMETRY

### Abstract

**Background:** The maximal oxygen uptake ( $VO_{2max}$ ) assessment by indirect calorimetry is the most reliable method to determine  $VO_{2max}$ , but when repeated tests are conducted, the results have been controversial.

**Aim:** To determine the reliability of the maximal oxygen uptake ( $VO_{2max}$ ) in healthy adults following two consecutive trials with 10 min rest between trials using the Bruce protocol.

**Methods:** Participants were 6 males apparently healthy physically active (Mean age= $23.4 \pm 1.3$  years), who performed twice the Bruce protocol and after reaching their  $VO_{2max}$  in the first trial they stepped down the treadmill and rested seated on a chair during 10 min.

**Results:** The data analysis showed high reproducibility values between tests, indicated by the correlation coefficient Pearson product moment and R squared with confidence intervals at 95% ( $CI_{95\%}$ ), the correlation of the maximum oxygen consumption was  $VO_{2max} = 0.907$  with a  $R^2 = 0.823$ , the maximum heart rate was  $HR_{max} = 0.786$ , with  $R^2 = 0.618$  and the rate of ventilation and carbon dioxide elimination was  $VE/VCO_2 = 0.868$ , with an  $R^2 = 0.754$ . No adverse effects were reported during the 10 min rest between trials.

**Conclusion:** Resting 10 min between consecutive maximal exercise tests using Bruce protocol treadmill tests does not affect  $VO_{2max}$  in healthy young adults. It is feasible and reliable to perform maximal treadmill tests in a single session without adverse effects for the participant.

(Nutr Hosp. 2015;31:1726-1732)

DOI:10.3305/nh.2015.31.4.8487

Key words: Maximal Oxygen Uptake. Maximum Heart Rate. Ventilatory Equivalent Ratio for Elimination of Carbon Dioxide.

## Introducción

De acuerdo al Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM), en las últimas tres décadas las pruebas de esfuerzo, han sido comúnmente utilizadas en el ámbito de la salud y el entrenamiento deportivo para determinar como parámetro fisiológico el consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2\text{máx}}$ )<sup>1,2</sup>, el cual se define numéricamente como la velocidad y capacidad en la que una persona respira aire del medio ambiente, lo transporta por el sistema respiratorio y cardiovascular, metaboliza el oxígeno ( $O_2$ ) como fuente de energía en las células musculares al realizar actividad física<sup>3</sup>, asociado a este proceso está la ventilación pulmonar (VE) y la eliminación de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) definida numéricamente como la capacidad de un sujeto para ventilar y eliminar  $CO_2$  en minuto, denominándose tasa de ventilación y eliminación de dióxido de carbono<sup>4</sup>.

En el ámbito de la salud, resultados de estudios longitudinales, revisiones sistemáticas y meta-análisis muestran claramente que personas con bajos valores de  $VO_{2\text{máx}}$  presentan en mayor medida obesidad, enfermedades metabólicas, cardiovasculares y mortalidad prematura<sup>5-8</sup>.

En relación al rendimiento deportivo la capacidad aerobia es un componente crucial de la aptitud física de los atletas y el  $VO_{2\text{máx}}$  es un criterio tradicionalmente aceptado para medir la capacidad aerobia<sup>2</sup>, teóricamente algunos autores consideran que la máxima capacidad aerobia de una persona, es el punto en que el  $VO_{2\text{máx}}$  alcanza una meseta a pesar de nuevos incrementos en las cargas de trabajo<sup>3,9</sup>. Además es considerado como el indicador fisiológico más válido de la función cardiovascular de deportista determinada en un laboratorio<sup>10</sup>.

Los criterios para determinar si una persona ha alcanzado el  $VO_{2\text{máx}}$  son controversiales, algunos estudios plantean nuevos criterios o recomendaciones de acuerdo al diseño de la investigación y características de los sujetos de estudio con diversas metodologías para obtener el  $VO_{2\text{máx}}$ <sup>4,11</sup>; No obstante, en el ámbito clínico e investigación aún no existe un consenso de criterios que indiquen cuando se ha alcanzado el  $VO_{2\text{máx}}$ . Por ejemplo, existen referencias que mencionan diferentes criterios para determinar el  $VO_{2\text{máx}}$  durante una prueba de esfuerzo, donde se expresa que el valor más alto en una meseta del consumo de oxígeno con un aumento en la carga de trabajo es el principal criterio para haber logrado el  $VO_{2\text{máx}}$ <sup>12</sup>. Otro estudio indica que cuando la meseta del consumo de oxígeno no es evidente, se deben utilizar criterios secundarios como la frecuencia cardíaca (FC) y la tasa de intercambio respiratorio (RER, por sus siglas en inglés Respiratory Exchange Ratio) para saber si el sujeto ha realizado su máximo esfuerzo físico<sup>4</sup>; Otra investigación establece a partir de sus resultados varios criterios para determinar que los participantes habían alcanzado el  $VO_{2\text{máx}}$ , tomando en cuenta si los

sujetos evaluado cumplían al menos dos de tres posibles criterios: a) Que el sujeto alcance la frecuencia cardíaca máxima en  $\text{lat}\cdot\text{min}^{-1}$  ( $FC_{\text{máx}}$ ) predicha para su edad, b) Que el valor de consumo de oxígeno se establezca a manera de meseta a pesar del aumento en la carga de trabajo y/o c) Que se el sujeto obtenga valores en la tasa de intercambio respiratorio  $RER \geq 1.15$ . (Miller, et al. 2007),<sup>13</sup> de igual manera en otro estudio se estableció que el  $VO_{2\text{máx}}$  alcanzable en un sujeto se cumple con los siguientes tres criterios: a) Se alcanzaba cuando el sujeto llegue al 95% de la  $FC_{\text{máx}}$  en  $\text{lat}\cdot\text{min}^{-1}$  predicha para la edad; b) Cuando el sujeto obtenga valores de  $RER \geq 1.05$  y c) Que el sujeto de manera voluntaria solicite parar la prueba por agotamiento.

Por lo anterior, el estado del arte en relación a pruebas de esfuerzo nos refiere que los criterios absolutos y relativos para establecer cuándo se alcanza el  $VO_{2\text{máx}}$  y cuándo finalizar la prueba continúan siendo controversiales, dado que en unas investigaciones algunos criterios no coinciden y otros estudios si, lo cual refleja un contraste o se corroboran los resultados evaluando la misma variable, que es el  $VO_{2\text{máx}}$ <sup>11,14,15</sup>.

Para la determinación del  $VO_{2\text{máx}}$ , los protocolos de pruebas de esfuerzo son realizados mediante un sistema de calorimetría indirecta y ergómetros (principalmente en banda sin fin, caminando y/o corriendo debido a que esta modalidad utiliza grandes masas musculares)<sup>3</sup>. El protocolo de pruebas de esfuerzo de Bruce, se le considera desde hace algunas décadas como la prueba estándar, de uso generalizado y más utilizado en el ámbito clínico y estudios de investigación, el cual consiste en 8 etapas de ejercicio continuo de 3 minutos cada una, con incrementos en la velocidad e inclinación de la banda sin fin en cada etapa<sup>16</sup>. A pesar de que el protocolo de Bruce, ha sido ampliamente utilizado en diversos grupos etareos como, niños y adultos de diferentes edades y género, atletas de diversas modalidades deportivas<sup>10</sup>, no se sabe qué tan confiable es el rendimiento físico de un sujeto cuando se repite en una segunda ocasión la prueba de esfuerzo en una misma sesión de medición con el protocolo de Bruce.

En la medicina y las ciencias aplicadas al deporte la evaluación del rendimiento físico, se consideran como criterios importantes la validez y la confiabilidad de un instrumento o una prueba de medición<sup>17,18</sup>. La confiabilidad se refiere a la reproducibilidad o repetición de los valores de una prueba, ensayo o medición en ensayos repetidos en los mismos individuos, los dos aspectos más importantes del error de medición son la validez concurrente y la repetición de pruebas, siendo la segunda la confiabilidad de reproducibilidad del valor observado cuando la medición se repite<sup>14,19</sup>.

Por lo que en este contexto, el propósito del presente estudio fue determinar la confiabilidad del consumo máximo de oxígeno mediante dos pruebas de esfuerzo consecutivas utilizando el protocolo de Bruce en sujetos sanos que descansaron 10 min entre cada prueba.

## Método

### Muestra y selección de participantes

El presente estudio fue aprobado y registrado en la Coordinación de Posgrado e Investigación de la Universidad Autónoma de Baja California (Protocolo N° 149/498) y se llevó a cabo entre agosto de 2013 y agosto de 2014, bajo un diseño metodológico transversal, con muestreo no probabilístico por conveniencia, siguiendo los principios éticos de investigación en seres humanos de la declaración de Helsinki<sup>19,20</sup>. En total participaron 6 estudiantes voluntarios de género masculino del programa educativo de Licenciatura en Actividad Física y Deportes de la Universidad Autónoma de Baja California con una edad media de  $23,4 \pm 1,3$  años, quienes fueron reclutados a partir de una invitación a estudiantes de la Facultad de Deportes de la Universidad Autónoma de Baja California. A cada sujeto se le programó una cita en el Laboratorio de Biociencias de la Motricidad Humana de la Facultad de Deportes de la Universidad Autónoma de Baja California para solicitarle información general e historial de salud, determinar el peso (kg) y la estatura (cm) y realizar un electrocardiograma en reposo para descartar algún tipo de condición cardiovascular que les impidiera participar en el estudio, además se les aplicó un cuestionario para determinar el nivel de actividad física, antes de la sesión de la prueba de esfuerzo, se les pidió a los participantes vestir short corto y camiseta para una mayor comodidad en la mecánica de carrera, no realizar ejercicio físico 24 horas antes de la evaluación, mantener una buena hidratación y no beber líquidos ni consumir alimentos 4 horas antes de la evaluación.

Con el fin de estimar el nivel de actividad física se utilizó el formato corto versión en español del cuestionario internacional de actividad física IPAQ<sup>21</sup>. El cuestionario IPAQ permitió mediciones categóricas y continuas de actividad física realizadas en los últimos 7 días, la puntuación continua estimó el gasto energético semanal expresado en minutos MET/semana (equivalentes metabólicos), esto se obtuvo multiplicando el valor del gasto de energía para la actividad física de acuerdo a la frecuencia semanal (días por semana) y el tiempo en minutos (minutos por día), valorando la modalidades de caminar en una media de 3.3 MET, toda la actividad física de intensidad moderada con un valor de 4 MET y la actividad física de intensidad vigorosa se valoró en 8 MET, la puntuación clasificó en tres categorías, inactivo, moderadamente activo y físicamente activo, se incluyeron en este estudio a los sujetos que alcanzaron la categoría de físicamente activo.

La evaluación del electrocardiograma de 12 derivaciones en reposo se realizó con el equipo General Electric Company, modelo MAC 1200 ST ECG System, Freiburg, Alemania<sup>®</sup>, evaluado por un médico, descartando algún tipo de condición cardiovascular que les impidiera participar en una prueba de esfuerzo, como lo recomienda el Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM)<sup>3</sup>.

## Procedimientos

### Pruebas de esfuerzo mediante el protocolo de Bruce

EL equipo de medición utilizado para realizar las pruebas de esfuerzo fue una banda sin fin, ergómetro COSMED modelo T-170 (COSMED Inc. Italia<sup>®</sup>) y para la medición del  $VO_{2\text{máx}}$  se utilizó calorimetría indirecta mediante un carro metabólico modelo Quark CPET (COSMED Inc. Italia<sup>®</sup>)<sup>22</sup>. Este equipo fue calibrado con una mezcla de gases de conocida concentración según las especificaciones del fabricante ( $CO_2=5\%$ ,  $O_2=16\%$ , Balance de  $N_2$ ). La frecuencia cardíaca fue medida con un dispositivo telemétrico marca (COSMED Inc. Italia<sup>®</sup>).

Previo a las pruebas de esfuerzo se realizó una familiarización del sujeto para utilizar un ergómetro de banda sin fin COSMED, modelo T-170 (COSMED Inc. Italia<sup>®</sup>) la cual consistió en un calentamiento de 5 minutos a una velocidad de 5 km/h con 0% de inclinación; aquí se le mostraba al sujeto el funcionamiento normal del ergómetro y se le aconsejó para que corriera lo más cómodo y seguro posible, además se le indicaron procedimientos de seguridad y comunicación con el evaluador.

Los participantes ejecutaron el protocolo de Bruce; que consistió en iniciar con una etapa a velocidad 2.7 km/h y una inclinación de 10% al cabo de 3 minutos, la velocidad y la pendiente cambian a 4.0 km/h a 12%, 5.5 km/h a 14%, 6.8 km/h a 16%, 8.0 km/h a 18%, 8.9 km/h a 20%, 9.7 km/h a 22%, y la última etapa a 10.5 km/h a una inclinación de 24%.

Debido a la variedad de criterios para finalizar la prueba encontrados en la literatura, este estudio considero que el sujeto alcanzaba el  $VO_{2\text{máx}}$ , al cumplir dos de los siguientes tres criterios, uno subjetivo y dos objetivos: a) Solicitud del sujeto para finalizar la prueba b) Valores de  $RER \geq 1.15$ ; y/o c) Valores de  $VO_2 \leq 2 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  con un cambio de etapa.

Una vez alcanzado el  $VO_{2\text{máx}}$ , se permitió un periodo de recuperación, en donde se observaba al sujeto hasta que alcanzara el 80% de la  $FC_{\text{máx}}$  en  $\text{lat}\cdot\text{min}^{-1}$  predicha para su edad. Con ese criterio, se determinaba que la persona ya se había recuperado del esfuerzo físico realizado y se le solicitaba que iniciara su periodo de descanso de 10 min, periodo durante el cual permaneció sentada en completo reposo. A los participantes únicamente se les permitió enjuagarse la boca con agua, pero no ingerirla. Una vez finalizada esa etapa se prosiguió a realizar la segunda prueba de esfuerzo.

### Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con el Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (SPSS), versión 21.0 para Windows versión 21 (IBM Corporation, New York, USA). Realizando una prueba de confiabilidad, calculándose el coeficiente de correlación de Pearson

(PPM, por sus siglas en inglés Pearson Product Moment), con intervalos de confianza al 95% (IC<sub>95%</sub>), además se calcularon los valores descriptivos de las variables de sumatoria, media, varianza y desviación estándar.<sup>17</sup>

## Resultados

Los 6 sujetos participantes en el estudio tuvieron una edad promedio de 23,4±1,3 años, en la tabla I se muestra la estadística descriptiva de las variables de consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2 máx</sub>) expresado en ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>, frecuencia cardíaca máxima (FC<sub>máx</sub>) expresada en lat·min<sup>-1</sup> y tasa de ventilación y eliminación de dióxido de carbono (VE/VCO<sub>2</sub>), obtenidas en las pruebas de esfuerzo consecutivas 1 y 2.

En las figuras 1, 2 y 3 se pueden observar los cálculos obtenidos para determinar la confiabilidad de las pruebas de esfuerzo consecutivas 1 y 2, mediante el coeficiente de correlación de Pearson y estableciendo intervalos de confianza al 95% (IC<sub>95%</sub>), en las variables de VO<sub>2 máx</sub>, FC<sub>máx</sub> y VE/VCO<sub>2</sub>.

## Discusión

De acuerdo a los resultados obtenidos al determinar la confiabilidad de las pruebas de esfuerzo utilizando el protocolo de Bruce dos veces en sujetos sanos que descansaron 10 minutos entre cada prueba, se encontró una alta reproducibilidad de los valores obtenidos en las variables estudiadas, por el coeficiente de correlación producto momento de Pearson, en el consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2 máx</sub>), de 0.907 sugiriendo un 90.7%

del valor de la varianza entre las pruebas de esfuerzo consecutivas 1 y 2, en la frecuencia cardíaca máxima (FC<sub>máx</sub>) se obtuvo 0.786 que sugiere un 78.6% del valor de la varianza y la tasa de ventilación y eliminación de dióxido de carbono (VE/VCO<sub>2</sub>) de 0.859 que sugiere un 85.9% del valor de la varianza, tomado en cuenta que el coeficiente de correlación producto momento de Pearson, es el método más utilizado para establecer el coeficiente de confiabilidad interclase, de una prueba que se administra en dos ocasiones en a un mismo grupo de sujetos, los valores que hemos obtenido, sugieren que la varianza de los datos observados en una primera prueba, concuerdan con la segunda, en ese sentido las variables estudiadas reportaron un R cuadrado (R<sup>2</sup>) denominado también coeficiente de determinación de r=0.823 en el consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2 máx</sub>), un valor de r=0.618 en la frecuencia cardíaca máxima (FC<sub>máx</sub>) y un valor de r=0.754 en la tasa de ventilación y eliminación de dióxido de carbono (VE/VCO<sub>2</sub>). El valor de R<sup>2</sup>, es un indicador estadístico que puede presentar valores entre el 0 y 1, e indica de manera gráfica mediante una línea de tendencia hasta qué punto los valores de las pruebas corresponden con los datos reales, si el valor se aproxima a 1 el R<sup>2</sup> tiene mayor exactitud<sup>19</sup>, una correlación < de 0 a 0.25 indica ausencia o mínima relación, ≥ de 0.25 a 0.50 refiere una baja correlación, ≥ de 0.50 a 0.75 indica una correlación modelara a buena y > 0.75 refiere una muy buena correlación<sup>17</sup>.

Existen estudios en los que se ha intentado determinar la confiabilidad de repetición en pruebas de VO<sub>2 máx</sub> en banda sin fin realizado en niños, en donde se ejecutaron pruebas; en un mismo día, con 7 horas de descanso entre las sesiones, teniendo como resultado que no existieron diferencias significativas en el VO<sub>2 máx</sub> entre pruebas, concluyendo que en banda sin

**Tabla I**

*Estadística descriptiva de los seis sujetos evaluados en las pruebas de esfuerzo consecutivas*

Sujeto	1ª Prueba VO <sub>2 máx</sub>	2ª Prueba VO <sub>2 máx</sub>	1ª Prueba FC <sub>máx</sub>	2ª Prueba FC <sub>máx</sub>	1ª Prueba VE/VCO <sub>2</sub>	2ª Prueba VE/VCO <sub>2</sub>
A	49.98	52.06	189	186	21.97	20.67
B	48.05	47.5	178	184	21.06	24.48
C	48.26	51.42	188	190	28.1	29.94
D	49.01	51.83	171	179	24.97	27.43
E	47.01	45.68	184	180	20.96	23.02
F	40.13	41.41	173	178	25.36	26.17
Sumatoria	282.44	289.9	1083	1097	142.42	151.71
Media	47.07	48.32	180.50	182.83	23.74	25.29
Varianza	12.6	18.3	58.7	21.8	8.2	10.8
Desviación estándar	3.5	4.3	7.7	4.7	2.9	3.3

Nota: Los valores presentados de los sujetos evaluados son sumatoria, media, varianza y desviación estándar del consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2 máx</sub> ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) expresado en ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>, la frecuencia cardíaca máxima (FC<sub>máx</sub>) en lat·min<sup>-1</sup> y la tasa de ventilación y eliminación de dióxido de carbono (VE/VCO<sub>2</sub>), obtenidas de las pruebas de esfuerzo 1 y 2, mediante calorimetría indirecta mediante un carro metabólico modelo Quark CPET (COSMED Inc. Italia®).



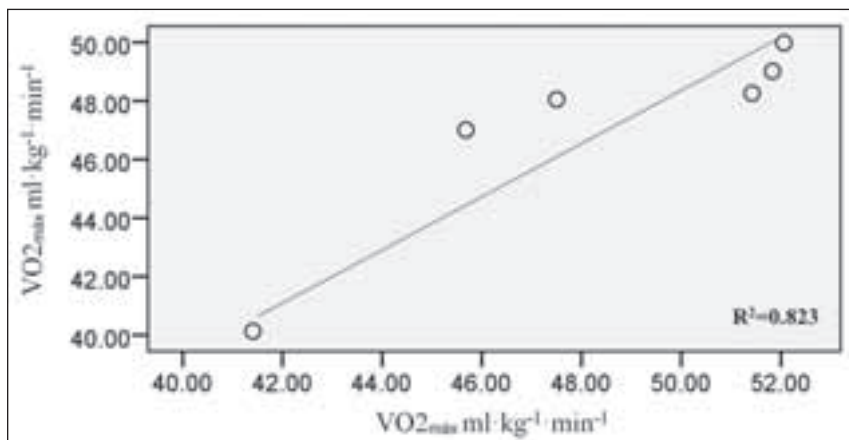


Fig. 1.—Coeficiente de correlación de Pearson del  $VO_{2\text{máx}}$  de los sujetos evaluados ( $n=6$ ).  
Nota: La figura 1 muestra la correlación producto momento de Pearson y el R cuadrado del consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2\text{máx}}$   $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) de las pruebas de esfuerzo 1 y 2 indicando muy buena correlación en los sujetos evaluados<sup>17</sup>.

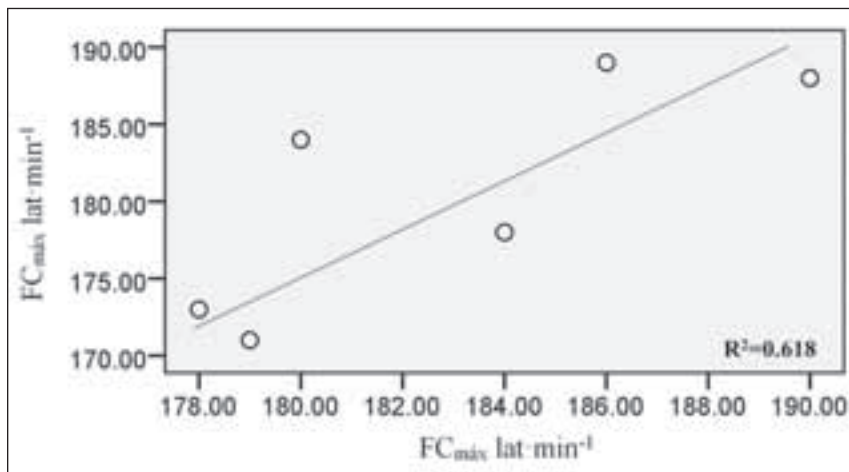


Fig. 2.—Coeficiente de correlación de Pearson de la  $FC_{\text{máx}}$  de los sujetos evaluados ( $n=6$ ).  
Nota: La figura 2 muestra la correlación producto momento de Pearson y el R cuadrado de la frecuencia cardíaca máxima ( $FC_{\text{máx}}$ ) en  $\text{lat}\cdot\text{min}^{-1}$  de las pruebas de esfuerzo 1 y 2 indicando una buena correlación en los sujetos evaluados<sup>17</sup>.

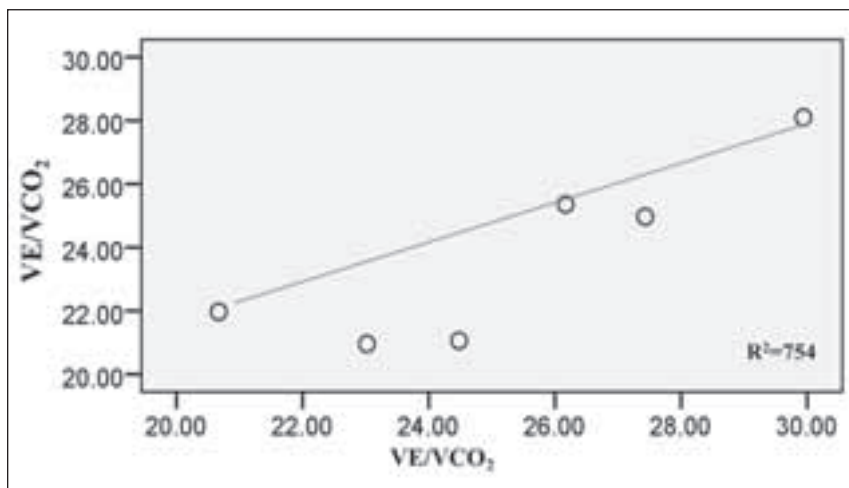


Fig. 3.—Coeficiente de correlación de Pearson del  $VE/VCO_2$  de los sujetos evaluados ( $n=6$ ).  
Nota: La figura 3 muestra la correlación producto momento de Pearson y el R cuadrado de la frecuencia cardíaca máxima ( $FC_{\text{máx}}$ ) en  $\text{lat}\cdot\text{min}^{-1}$  de las pruebas de esfuerzo 1 y 2 indicando muy buena correlación en los sujetos evaluados<sup>17</sup>.

fin es estable y repetible; es decir, confiable<sup>14</sup>, realizando 5 pruebas de esfuerzo en banda sin fin separada por al menos una semana, se concluyó que los valores encontrados fueron consistentes<sup>15</sup>.

Se establece que la  $FC_{\text{máx}}$  refleja la intensidad del esfuerzo físico que debe realizar el sistema cardiovascular para satisfacer las demandas incrementadas

del cuerpo cuando está inmerso en una actividad extenuante y recuperarse de dichas demandas difiere cuando se establecen tiempos de descanso de 10 min hasta una semana<sup>4,23</sup>; por lo tanto la exigencia cardiovascular de los sujetos debía ser mayor en la segunda prueba de esfuerzo para lograr alcanzar el  $VO_{2\text{máx}}$  previo, esto podría explicar los resultados de la presente investiga-

ción del R cuadrado de la frecuencia cardíaca máxima ( $FC_{m\acute{a}x}$ ) en  $lat\cdot min^{-1}$  al resultar una correlación modelada a buena. Por otra parte el consumo de oxígeno está descrito en la ecuación de Fick ( $VO_2 = \text{gasto cardiaco} \times \text{diferencia arterio-venosa de } O_2$ )<sup>23</sup>. Definiendo el gasto cardiaco (GC) como el producto de la FC por el volumen sistólico o el volumen total de sangre bombeada por los ventrículos por minuto, como se mostró en los resultados, la FC se elevó en mayor medida a partir de la segunda prueba, por otra parte, la diferencia arterio-venosa de  $O_2$  ( $A-VO_2$ ), está determinada por el contenido arterial y venoso de  $O_2$  intercambiado a nivel celular<sup>13,23</sup>. Con los datos obtenidos de los gases analizados por el carro metabólico se puede determinar toda la relación existente entre los diferentes gases durante las pruebas y de esa manera conocer los valores de  $VE/VCO_2$  es decir la proporción entre la cantidad de aire espirado y la cantidad de  $CO_2$  producido, cuya correlación en el R cuadrado fue muy buena, y se puede observar que los resultados determinaron en promedio, un aumento principalmente entre la primera prueba con respecto a la segunda evaluación esto pudo haber sucedido porque al realizar ejercicio extenuante, aumenta la producción de  $CO_2$ , lo cual conlleva a un aumento en la  $PCO_2$  y la consecuente disminución del pH corporal; repercutiendo todo esto en un aumento en la ventilación y en la producción de bicarbonato de sodio con el propósito de amortiguar el exceso de iones hidronios ( $H^+$ ), haciendo al respiratorio y cardiovascular menos eficiente en cuanto a la movilización de aire para consumir cada  $O_2$ <sup>16,23</sup>. El R cuadrado resultó con muy buena correlación en el  $VO_{2m\acute{a}x}$ , aun sin embargo los valores promedio de fueron mayores en la segunda prueba con respecto a la primera esto puede justificarse debido a que las adaptaciones fisiológicas al realizar ejercicio físico extenuante la capacidad de extracción por cada latido del corazón se reduce, lo cual disminuye la diferencia arterio-venosa de  $O_2$ , y ante esto la frecuencia cardíaca compensa el gasto cardiaco para mantener el mismo  $VO_{2m\acute{a}x}$  durante la siguiente pruebas de Bruce<sup>24</sup>.

La presente investigación presenta limitaciones al no haber evaluado el volumen sistólico o el pulso de oxígeno ( $VO_2/FC$ ), que hubiera podido dar elementos de discusión para establecer causalidad en relación a las adaptaciones fisiológicas agudas en el sistema cardiovasculares del sujeto después de realizar dos pruebas de esfuerzo consecutivas, por otra parte diseño del estudio fue de corte transversal y con los resultados no se puede inferir causalidad y el tamaño de la muestra aborda solo adultos jóvenes físicamente activos, pero a pesar de estas limitaciones, se utilizó como equipo de evaluación la calorimetría indirecta considerada como estándar de oro en la evaluación de la capacidad aerobia obteniendo información importante e innovadora que contribuye a una mejor comprensión para los profesionales que trabajan en el rendimiento deportivo al momento de realizar evaluaciones de la capacidad aerobia para planear y controlar las cargas de trabajo en

el entrenamiento deportivo, por otra parte de acuerdo a nuestro conocimiento y al revisar el estado del arte, no se encontraron estudios previos en donde se realizaran varias pruebas máximas en una sola sesión con 10 minutos de descanso entre pruebas.

Por lo anterior después del análisis de las distintas variables y sus repercusiones en los resultados obtenidos, se concluye que descansar 10 min entre dos pruebas máximas utilizando el protocolo de Bruce no afecta el  $VO_{2m\acute{a}x}$  alcanzado a pesar del mayor esfuerzo cardiaco. Repetir una prueba máxima en una misma sesión es posible, confiable y no se presentan efectos adversos en sujetos jóvenes y sanos.

## Agradecimientos

La investigación fue financiada por la Universidad Autónoma de Baja California UABC; proyecto número Protocolo N° 149/498.

## Referencias

1. Greiwe JS, Kaminsky LA, Whaley MH, Dwyer GB. Evaluation of the ACSM submaximal ergometer test for estimating  $VO_{2max}$ . *Med Sci Sports Exerc* 1995; 27:1315-1320.
2. Marsh CE. Evaluation of the American College of Sports Medicine submaximal treadmill running test for predicting  $VO_{2max}$ . *J Strength Cond Res* 2012; 26:548-554.
3. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee IM, American College of Sports M. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2011; 43:1334-1359.
4. Midgley AW, Carroll S, Marchant D, McNaughton LR, Siegler J. Evaluation of true maximal oxygen uptake based on a novel set of standardized criteria. *Appl Physiol Nutr Metab* 2009; 34:115-123.
5. Ramírez Lechuga J, Muros Molina JJ, Morente Sánchez J, Sánchez Muñoz C, Femia Marzo P, Zabala Díaz M. Efecto de un programa de entrenamiento aeróbico de 8 semanas durante las clases de educación física en adolescentes. *Nutr Hosp* 2012; 27:747-54.
6. Barry VW, Baruth M, Beets MW, Durstine JL, Liu JH, Blair SN. Fitness vs. Fatness on All-Cause Mortality: A Meta-Analysis. *Progress in Cardiovascular Diseases* 2014; 56: 382-390.
7. Blair SN, Kampert JB, Kohl HW, Barlow CE, Macera CA, Paffenbarger, RS, Gibbons LW. Influences of cardiorespiratory fitness and other precursors on cardiovascular disease and all-cause mortality in men and women. *JAMA* 1996; 276:205-210.
8. Kodama S, Saito K, Tanaka S, Maki M, Yachi Y, Asumi M, Sone, H. Cardiorespiratory Fitness as a Quantitative Predictor of All-Cause Mortality and Cardiovascular Events in Healthy Men and Women A Meta-analysis. *JAMA* 2009; 301: 2024-2035.
9. Astorino TA, White AC. Assessment of anaerobic power to verify  $VO_{2max}$  attainment. *Clin Physiol Funct Imaging* 2010; 30:294-300.
10. Leboeuf SF, Aumer ME, Kraus WE, Johnson JL, Duscha B. Earbud-based sensor for the assessment of energy expenditure, HR, and  $VO_{2max}$ . *Med Sci Sports Exerc* 2014; 46:1046-1052.
11. Midgley AW, McNaughton LR, Polman R, Marchant D. Criteria for determination of maximal oxygen uptake: a brief critique and recommendations for future research. *Sports Med* 2007; 37:1019-1028.

12. Howley ET, Bassett DR, Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc* 1995; 27:1292-1301.
13. Miller GS, Dougherty PJ, Green JS, Crouse SF. Comparison of cardiorespiratory responses of moderately trained men and women using two different treadmill protocols. *J Strength Cond Res* 2007; 21:1067-71.
14. Amorim, PRS, Byrne NM, Hills AP. Within- and Between-Day Repeatability and Variability in Children's Physiological Responses During Submaximal Treadmill Exercise. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 2009; 80:575-582.
15. Fielding RA, Frontera WR, Hughes VA, Fisher EC, Evans WJ. The reproducibility of the Bruce protocol exercise test for the determination of aerobic capacity in older women. *Med Sci Sports Exerc* 1997; 29:1109-1113.
16. Mcinnis KJ, Balady GJ. Comparison of Submaximal Exercise Responses Using the Bruce Vs Modified Bruce Protocols. *Med Sci Sports Exerc* 1994; 26:103-107.
17. Hopkins WG. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med*, 2000; 30: 1-15.
18. Castro-Piñero J, Ortega FB, Keating XD, González-Montesinos JL, Sjöström M, Ruiz JR. Valores de percentiles de los tests de campo de capacidad aeróbica en niños de 6 a 17 años; influencia del peso corporal. *Nutr Hosp* 2011; 26:572-578.
19. Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive Statistics for Studies in Sports Medicine and Exercise Science. *Med Sci Sports Exerc* 2009; 41:3-12.
20. Puri KS, Suresh KR, Gogtay NJ, Thatte UM. Declaration of Helsinki, 2008: Implications for stakeholders in research. *J Postgrad Med* 2009; 55:131-134.
21. Craig CL, Marshall AL, Sjoström M, Bauman AE, Booth ML, Ainsworth BE, Oja P. International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35:1381-1395.
22. The Quark CPET, Metabolic cart for Pulmonary Gas Exchange & 12-lead Stress Testing ECG for research grade analysis, The Quark CPET for research grade analysis, 2014, (COSMED Inc. Italia®).
23. Wilmore J, Costill D, Kenny LW. *Physiology of Sport and Exercise* (4th Ed.). Champaign, IL: Human Kinetics. 2008.
24. Chia M, Aziz AR. Modelling oxygen uptake in athletes: allometric scaling versus ratio – scaling in relation to body mass. *Annals of the Academy of Medicine of Singapore* 2008; 37:300-306.