

Original/Deporte y ejercicio

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

Javier Arturo Hall-López¹, Paulina Yesica Ochoa-Martínez¹, José Moncada-Jiménez², Mara Alessandra Ocampo Méndez¹, Issael Martínez García¹ y Marco Antonio Martínez García¹

¹Facultad de Deportes, Universidad Autónoma de Baja California. México. ²Centro 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 ± 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 ± 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 ($VO_{2\text{máx}}$)^{1,2}, 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 física³, 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 carbono⁴.

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 prematura⁵⁻⁸.

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 aerobia², 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^{3,9}. Además es considerado como el indicador fisiológico más válido de la función cardiovascular de deportista determinada en un laboratorio¹⁰.

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 $VO_{2\text{máx}}$ ^{4,11}; 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 $VO_{2\text{máx}}$ ¹². 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 físico⁴; 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),¹³ 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 $VO_{2\text{máx}}$ ^{11,14,15}.

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)³. 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 etapa¹⁶. 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 deportivas¹⁰, 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^{17,18}. 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^{14,19}.

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^{19,20}. 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 IPAQ²¹. 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[®], 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)³.

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[®]) y para la medición del $VO_{2\text{máx}}$ se utilizó calorimetría indirecta mediante un carro metabólico modelo Quark CPET (COSMED Inc. Italia[®])²². 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[®]).

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[®]) 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_{95%}), además se calcularon los valores descriptivos de las variables de sumatoria, media, varianza y desviación estándar.¹⁷

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_{2 máx}) expresado en ml·kg⁻¹·min⁻¹, frecuencia cardíaca máxima (FC_{máx}) expresada en lat·min⁻¹ y tasa de ventilación y eliminación de dióxido de carbono (VE/VCO₂), 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_{95%}), en las variables de VO_{2 máx}, FC_{máx} y VE/VCO₂.

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_{2 máx}), 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_{máx}) 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/VCO₂) 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 (R²) denominado también coeficiente de determinación de r=0.823 en el consumo máximo de oxígeno (VO_{2 máx}), un valor de r=0.618 en la frecuencia cardíaca máxima (FC_{máx}) y un valor de r=0.754 en la tasa de ventilación y eliminación de dióxido de carbono (VE/VCO₂). El valor de R², 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 R² tiene mayor exactitud¹⁹, 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 correlación¹⁷.

Existen estudios en los que se ha intentado determinar la confiabilidad de repetición en pruebas de VO_{2 máx} 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_{2 máx} 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 _{2 máx}	2ª Prueba VO _{2 máx}	1ª Prueba FC _{máx}	2ª Prueba FC _{máx}	1ª Prueba VE/VCO ₂	2ª Prueba VE/VCO ₂
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_{2 máx} ml·kg⁻¹·min⁻¹) expresado en ml·kg⁻¹·min⁻¹, la frecuencia cardíaca máxima (FC_{máx}) en lat·min⁻¹ y la tasa de ventilación y eliminación de dióxido de carbono (VE/VCO₂), obtenidas de las pruebas de esfuerzo 1 y 2, mediante calorimetría indirecta mediante un carro metabólico modelo Quark CPET (COSMED Inc. Italia®).

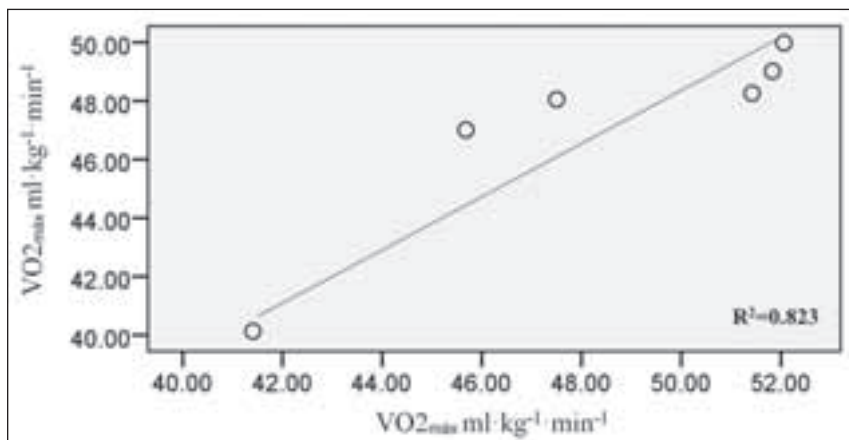


Fig. 1.—Coeficiente de correlación de Pearson del $VO_{2\text{máx}}$ de los sujetos evaluados ($n=6$).
Nota: La figura 1 muestra la correlación producto momento de Pearson y el R cuadrado del consumo máximo de oxígeno ($VO_{2\text{máx}}$ $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) de las pruebas de esfuerzo 1 y 2 indicando muy buena correlación en los sujetos evaluados¹⁷.

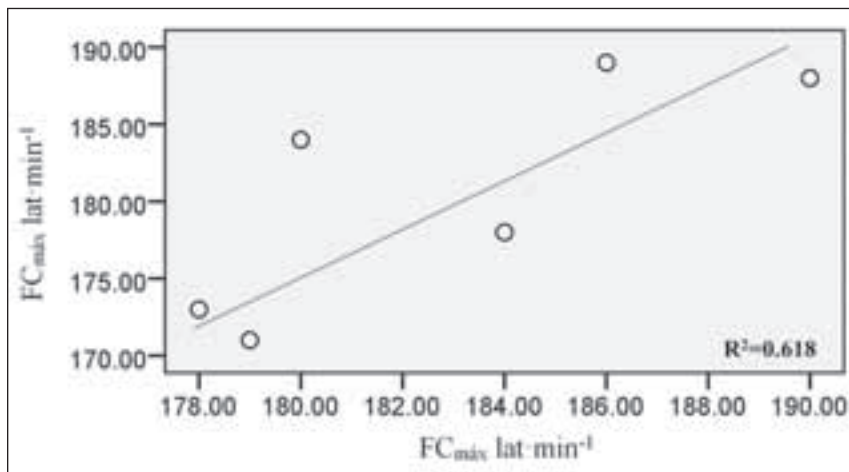


Fig. 2.—Coeficiente de correlación de Pearson de la $FC_{\text{máx}}$ de los sujetos evaluados ($n=6$).
Nota: La figura 2 muestra la correlación producto momento de Pearson y el R cuadrado de la frecuencia cardíaca máxima ($FC_{\text{máx}}$) en $\text{lat}\cdot\text{min}^{-1}$ de las pruebas de esfuerzo 1 y 2 indicando una buena correlación en los sujetos evaluados¹⁷.

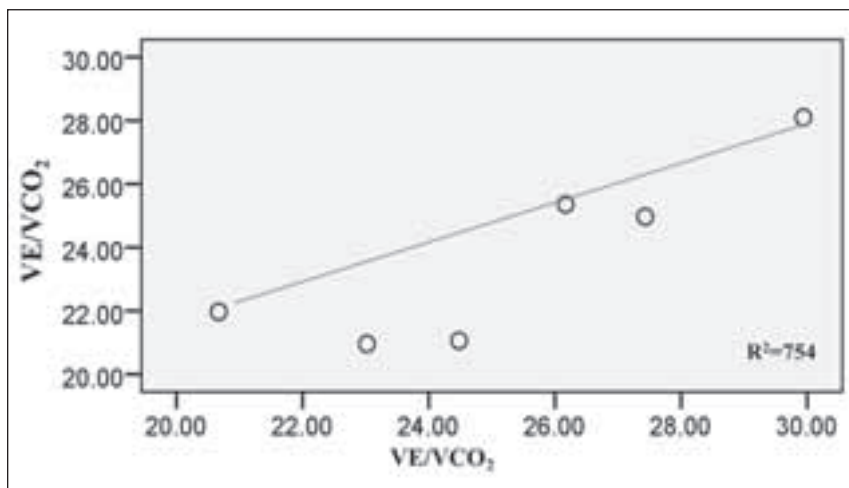


Fig. 3.—Coeficiente de correlación de Pearson del VE/VCO_2 de los sujetos evaluados ($n=6$).
Nota: La figura 3 muestra la correlación producto momento de Pearson y el R cuadrado de la frecuencia cardíaca máxima ($FC_{\text{máx}}$) en $\text{lat}\cdot\text{min}^{-1}$ de las pruebas de esfuerzo 1 y 2 indicando muy buena correlación en los sujetos evaluados¹⁷.

fin es estable y repetible; es decir, confiable¹⁴, realizando 5 pruebas de esfuerzo en banda sin fin separada por al menos una semana, se concluyó que los valores encontrados fueron consistentes¹⁵.

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^{4,23}; 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 ($VO_2 = \text{gasto cardiaco} \times \text{diferencia arterio-venosa de } O_2$)²³. 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^{13,23}. 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 ^{16,23}. 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 Bruce²⁴.

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.



Original/Deporte y ejercicio

Reliability of the maximal oxygen uptake following two consecutive trials by indirect calorimetry

Javier Arturo Hall-López¹, Paulina Yesica Ochoa-Martínez¹, José Moncada-Jiménez², Mara Alessandra Ocampo Méndez¹, Issael Martínez García¹ and Marco Antonio Martínez García¹

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

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±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.

Correspondence: 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.

CONFIABILIDAD DEL CONSUMO MÁXIMO DE OXÍGENO EVALUADO EN PRUEBAS DE ESFUERZO CONSECUTIVAS MEDIANTE CALORIMETRÍA INDIRECTA

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±1,3 años, los sujetos realizaron dos pruebas de esfuerzo mediante el protocolo de Bruce y al alcanzar 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 de 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.

Introduction

According to the American College of Sports Medicine (ACSM), in the last couple of decades, stress tests have been widely used in health assessment and sports training in order to determine as a physiological parameter the maximal oxygen uptake ($VO_{2\text{máx}}$),^{1,2} which is numerically defined as the speed and capacity in which a person breathes air from the environment, is transported by the respiratory and cardiovascular systems, metabolizes oxygen (O_2) as a source of energy for muscle cells when carrying out physical activity,³ associated to this process is pulmonary ventilation (VE) and the elimination of carbon dioxide (CO_2) numerically defined as the capacity a subject has to ventilate and eliminate CO_2 in a minute. This is known as the ventilation rate and the carbon dioxide ventilation and elimination rate.⁴

With regards to health results of studies, systematic revisions and meta-analysis clearly show that subjects with low $VO_{2\text{máx}}$ values, suffer more from obesity, metabolic and cardiovascular diseases, and premature death.⁵⁻⁸

Related to sports endurance, aerobic capacity is a crucial component of physical capacity in athletes and the $VO_{2\text{máx}}$ is a traditionally accepted criteria used to measure aerobic capacity.² In theory, some authors consider that the maximum aerobic capacity of a person, is the point in which the $VO_{2\text{máx}}$ reaches a plateau despite of additional increases in the workloads.^{3,9} In addition to this, it is also considered a more valid physiological indicator of cardiovascular function in the athlete determined in a lab.¹⁰

The criteria used to determine if a person has reached the $VO_{2\text{máx}}$ are controversial. Some studies suggest new criteria or recommendations according to the way the research has been designed and the characteristics of the study subjects offering several methodologies to obtain the $VO_{2\text{máx}}$.^{4,11} Nonetheless, in the clinical and research fields, a consensus is yet to be reached on the criteria to indicate when $VO_{2\text{máx}}$ has been reached. For example, there are references which establish different criteria to determine the $VO_{2\text{máx}}$ during a stress test, where it is established that the highest value of oxygen uptake in a plateau with an increase in the workload is the main criteria to have reached the $VO_{2\text{máx}}$.¹²

Another study indicates that when an oxygen uptake plateau is not evident, secondary criteria must be used such as heart rate (FC) and the respiratory exchange ratio (RER) to determine if the subject has carried out his maximal physical effort⁴.

Other research establishes several criteria based on the results to determine that participants have reached $VO_{2\text{máx}}$, considering if the assessed subjects complied with at least two of the three possible criteria: a) The subject reaches the maximum heart rate in beats $\cdot \text{min}^{-1}$ ($FC_{\text{máx}}$) according to his age b) That the oxygen uptake value is stabilized as a plateau despite the in-

crease of the workload and/or c) That the subject shows values in the $RER \geq 1.15$. (Miller, et al. 2007),¹³ just as it was established in another study that the $VO_{2\text{máx}}$ reachable by a subject is fulfilled following these three criteria: a) It is achieved when the subject reaches 95% of the $FC_{\text{máx}}$ in $\text{beats} \cdot \text{min}^{-1}$ established for his age; b) When the subject obtains values for $RER \geq 1.05$ and c) That the subject voluntarily requests to conclude the test due to exhaustion.

Due to the aforementioned, the state of the art with regards to stress tests refers that the absolute and relative criteria to establish when the $VO_{2\text{máx}}$ is reached and when to conclude the test continue to be controversial. This because of the fact that some criteria does not correspond to some studies in comparison to others, which shows a contrast or the results are corroborated assessing the same variable which is $VO_{2\text{máx}}$.^{11,14,15}

To determine $VO_{2\text{máx}}$, stress test protocols are carried out by means of an indirect calorimetry system and ergometers (mainly on a treadmill, walking and/or running since this modality uses great muscle mass).³ The Bruce test protocol has been considered for the last couple of decades as the standard test, most widely used in the clinical field and for research studies. This study is composed of 8 continuous 3 minute exercise stages, with increases in the speed and inclination of the treadmill on each stage.¹⁶ Despite the fact that the Bruce protocol has been widely used in several subject groups such as children and adults of different ages and genders, as well as in athletes of different sports modalities,¹⁰ we still do not know with certainty how reliable physical endurance of a subject can be when the stress test is repeated in the same session to measure using the Bruce protocol.

In medicine and sciences applied to sports, the following are considered important criteria for the assessment of physical endurance: validity and reliability of an instrument or measuring test.^{17,18} Reliability refers to the reproducibility or repetition of values in a test, trial, or measurement in repeated trials in the same individuals. The two most important aspects of error in measurement are concurrent validity and test repetition, where the second most important is the reliability of the reproducibility of the observed value when the measurement is repeated.^{14,19}

Therefore, within this context, the purpose of this present study was to determine the reliability of the maximal oxygen uptake by means of two consecutive stress tests using the Bruce protocol in healthy subjects who rested for 10 minutes between every test.

Method

Participant Sampling and Selection

This present study was approved and recorded in the Office of Postgraduate Studies and Research of the Universidad Autónoma de Baja California (Protocol

Nº 149/498) and was conducted between August 2013 and August 2014 following a transversal methodological design, with a non-probabilistic sampling by convenience, following the ethical human research principles established by the Declaration of Helsinki.^{19,20} There was a total of 6 volunteers who were male students from the Bachelor's Degree Program in Physical Activity and Sports from the Universidad Autónoma de Baja California of ages ranging from 23.4±1.3 years. These students were recruited based on an invitation extended to students from the School of Sports of the Universidad Autónoma de Baja California. There was an appointment scheduled for each one of the students in the Biosciences of Human Motor Skills Laboratory at the School of Sports in the Universidad Autónoma de Baja California in order to request their general information and clinical information, to determine their weight (kg) and height (cm); as well as to conduct an electrocardiogram to rule out any type of cardiovascular condition which would prevent them from participating in the study. They also completed a questionnaire to determine their level of physical activity. Before the stress test section, the participants were asked to wear shorts and a t-shirt for their own comfort, not to carry out any physical activity 24 hours before the test, to be well hydrated, and not to drink or eat anything 4 hours previous to the test.

With the purpose of estimating the level of physical activity we used the short format version in Spanish of the IPAQ questionnaire.²¹ The IPAQ questionnaire provided us with categorical and continuous measurements of physical activity carried out for the last 7 days. The continuous punctuation estimated the weekly energy intake expressed in minutes MET/week (metabolic equivalents). This was obtained by multiplying the value of energy intake for the physical activity according to the frequency per week (days per week) and the time in minutes (minutes per day), considering the modalities of walking at a rate of 3.3 MET, all the moderate intensity physical activity with a value of 4 MET and vigorous physical activity was given a value of 8 MET. The punctuation was classified in 3 categories: inactive, moderately active, and physically active. Subjects who reached the category of physically active were included in this study.

The 12 lead electrocardiogram assessment was carried out using the General Electric Company equipment, model: MAC 1200 ST ECG System, Freiburg, Germany®. It was assessed by a doctor, ruling out any type of cardiovascular condition preventing them to participate in a stress test, as per recommendations of the American College of Sports Medicine (ACSM).³

Procedure

Stress Tests Following the Bruce Protocol

The measuring equipment used to carry out the stress tests was a treadmill, a COSMED ergometer

model T-170 (COSMED Inc. Italy®) and indirect calorimetry was used to measure $\dot{V}O_{2\max}$ by means of a Quark CPET (COSMED Inc. Italy®) metabolic cart.²² This equipment was calibrated with a mixture of gases of known concentration according to the manufacturer's specifications (CO₂=5%, O₂=16%, N₂ balance). Heart rate was measured by means of a telemetric device from COSMED Inc. Italy®.

Previous to the stress tests the subject became acquainted with the utilization of a COSMED treadmill, model T-170 (COSMED Inc. Italy®) where there was a 5 minute warm-up at a speed of 5 km/h and 0% inclination; the subject at this point was shown the normal functioning of the ergometer and was advised to run in the most comfortable and safest way possible. He was also explained the safety and communication procedures with the assessor.

Participants executed the Bruce protocol consisting in starting a stage at the speed of 2.7 km/h at a 10% inclination during 3 minutes, speed and slope changed at 4.0 km/h to 12%, 5.5 km/h to 14%, 6.8 km/h to 16%, 8.0 km/h to 18%, 8.9 km/h to 20%, 9.7 km/h to 22%, and the last stage at 10.5 km/h to a 24% slope.

Due to the variety of criteria found in literature to conclude the test, this study considered that the subject achieved $\dot{V}O_{2\max}$, after completing two of the following three objectives: a) Request from the subject to cancel the test b) RER \geq 1.15 values and/or c) $\dot{V}O_2 \leq 2 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ values with a change of stage.

Once the $\dot{V}O_{2\max}$ was achieved, a recovery period was allowed where the subject was observed until he reached 80% of the FC_{\max} in beats·min⁻¹ according to his age. With this criteria we determined that the person had recovered from the physical activity and was requested to begin his 10 minute resting period in which he remained in complete rest. Participants were only allowed to rinse their mouths with water but not to drink it. Once this stage was concluded, we continued with the second stress test.

Statistical Analysis

Statistical analysis was conducted by using (SPSS), version 21.0 for Windows version 21 (IBM Corporation, New York, USA). We carried out a reliability test, calculating the Pearson Product Moment, with confidence intervals at 95% (IC_{95%}). We also calculated the descriptive values of the sum, median, and standard deviation.¹⁷

Results

All 6 subjects participating in the study were between 23.4±1.3 old. Table 1 shows the descriptive statistics of the maximum oxygen intake variables ($\dot{V}O_{2\max}$) expressed in ml·kg⁻¹·min⁻¹, maximum heart rate (FC_{\max}) expressed in beats per minute (lat·min⁻¹)

and the ventilation and carbon dioxide elimination ratio (VE/VCO_2), obtained in consecutive tests 1 and 2.

Figures 1, 2 and 3 show the calculations obtained to determine the reliability of consecutive stress tests 1 and 2, using the Pearson Product Moment and establishing confidence intervals of 95% (IC95%), in the $VO2_{m\acute{a}x}$, $FC_{m\acute{a}x}$ and VE/VCO_2 variables.

Discussion

According to the obtained results when determining the reliability of stress tests when applying the Bruce protocol twice in healthy subjects who rested for 10 minutes between each test, there was a high reproducibility of the values obtained in the variables under study due to the Product Pearson Moment coefficient in maximal oxygen uptake ($VO2_{m\acute{a}x}$), of 0.907, thus suggesting a 90.7% of the value of the variable between consecutive stress tests 1 and 2. For the maximum heart rate ($FC_{m\acute{a}x}$), we obtained the figure of 0.786 which suggests a 78.6% of the value of the variable and the carbon dioxide ventilation and elimination ratio (VE/VCO_2) of 0.859. This suggests an 85.9% of the value of the variable, considering that the Pearson Product Moment coefficient is the most widely applied method to establish the interclass reliability coefficient of a test applied twice to the same group of subjects. The values obtained suggest that the variation in the data observed on the first round, match the second. In addition to this, the studied variables reported a square R (R^2) also known as the determination coefficient of $r=0.823$ in the maximal oxygen uptake ($VO2_{m\acute{a}x}$), a value of $r=0.618$ in the maximum heart rate ($FC_{m\acute{a}x}$) and an $r=0$ value. The

carbon dioxide ventilation and elimination ratio was 754 (VE/VCO_2). The value of R^2 , is a statistical indicator which can show values between 0 y 1. It also graphically indicates a trend the point up to which test values correspond to real data. If the value is closer to 1, R^2 is more precise.¹⁹ A < from 0 to 0.25 correlation indicates an absence of or a minimal relation, whereas \geq from 0.25 to 50 indicates a low correlation, \geq from 0.50 to 0.75 indicates a moderate to good correlation, and > 0.75 indicates a very good correlation.¹⁷

There is research attempting to determine the reliability of repeating tests for $VO2_{m\acute{a}x}$ in a threadmill conducted in children. Such tests were applied on the same day with a 7 hour resting period between each one of the sessions. The results show that there were no significant differences in $VO2_{m\acute{a}x}$ between tests. As a conclusion, when using a threadmill it is stable and repeatable, in other words reliable.¹⁴ There were 5 stress tests conducted on a threadmill within at least a week apart one from the other and it was concluded that the values found were consistent.¹⁵

It is established that the $FC_{m\acute{a}x}$ reflects the intensity of the physical effort that the cardiovascular system needs to carry out in order to fulfill the increased body demands when engaged in strenuous activity and recovering from such demands varies when resting periods are established from 10 minutes up to a week.^{4,23} Therefore, the cardiovascular demand in subjects had to be higher in the second stress test in order to be able to reach the previous $VO2_{m\acute{a}x}$. This might be able to explain the results of the present research of the square R for the maximum heart rate ($FC_{m\acute{a}x}$) in $beats \cdot min^{-1}$ since there was a moderate to good correlation found. In addition to this, oxygen uptake is explained by the Fick equation ($VO_2=car-$

Table I
Descriptive statistics of the 6 subjects assessed in consecutive stress

Sujeto	1ª Prueba $VO2_{m\acute{a}x}$	2ª Prueba $VO2_{m\acute{a}x}$	1ª Prueba $FC_{m\acute{a}x}$	2ª Prueba $FC_{m\acute{a}x}$	1ª Prueba VE/VCO_2	2ª Prueba VE/VCO_2
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

Note: The values presented in the assessed subjects are the sum, median, variance and standard deviation of the maximal oxygen uptake ($VO2_{m\acute{a}x}$ $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) expressed in $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$, maximum heart rate ($FC_{m\acute{a}x}$) in $beats \cdot min^{-1}$ and the ventilation and carbon dioxide elimination ratio (VE/VCO_2), obtained in stress tests 1 and 2, by means of indirect calorimetry using a Quark CPET metabolic cart (COSMED Inc. Italy®).

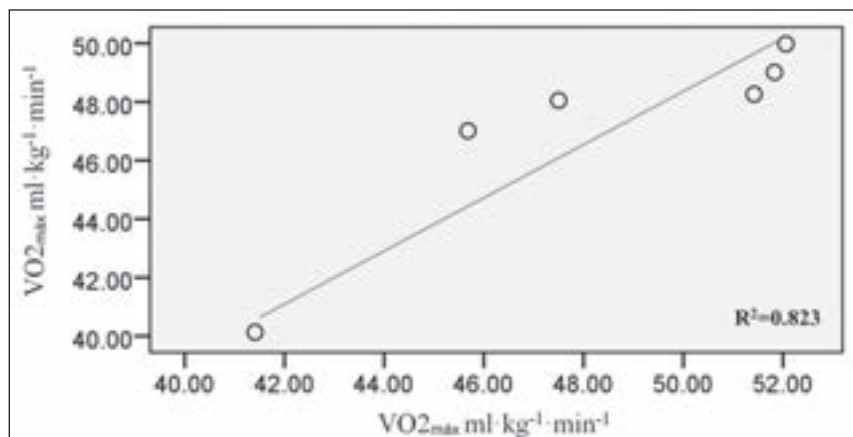


Fig. 1.—Pearson Product Moment for the VO_{2max} of assessed subjects (n=6). Note: Figure 1 shows the Pearson Product Moment and the square R of the maximal oxygen consumption (VO_{2max} ml·kg⁻¹·min⁻¹) in stress tests 1 and 2 indicating a great correlation in the observed subjects.¹⁷

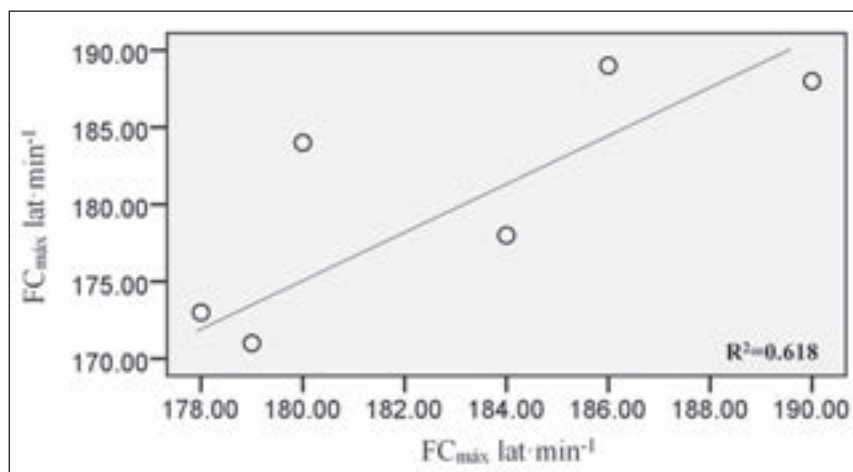


Fig. 2.—Pearson Product Moment for the FC_{max} in observed subjects (n=6). Note: Figure 2 shows the Pearson Product Moment and square R of the maximum heart rate (FC_{max}) in beats·min⁻¹ in stress tests 1 and 2 indicating a moderately good correlation in assessed subjects.¹⁷

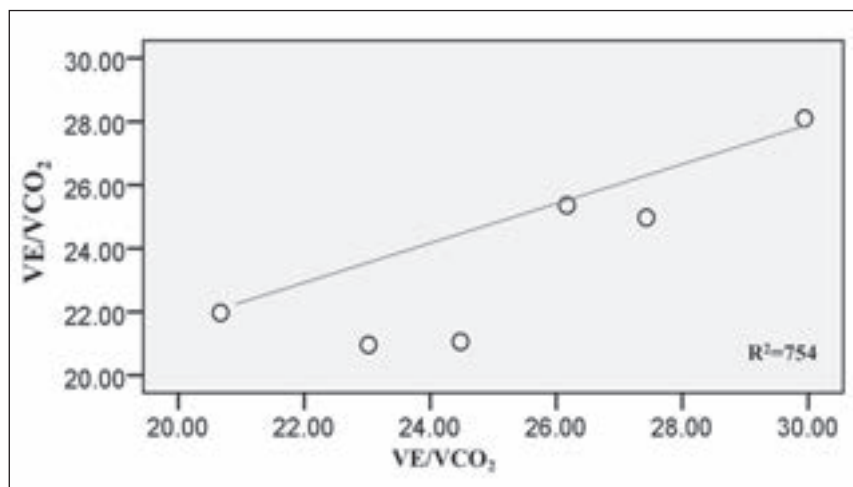


Fig. 3.—Pearson Product Moment for the VE/VCO₂ found in the study (n=6). Note: Figure 3 shows the Pearson Product Moment and square R for the maximum heart rate (FC_{max}) in beats·min⁻¹ for stress tests 1 and 2, showing a good correlation in observed subjects.¹⁷

diac output x arteriovenous O₂ difference).²³ Cardiac output (GC) is the product of heart rate by the systolic volume or the total volume of the blood pumped by ventricles per minute. According to the results, the heart rate increased significantly after the second test. In contrast, the arteriovenous difference of O₂ (A-VO₂), is determined by the arterial and venous

contents of O₂ exchanged at a cellular level.^{13,23} We were able to determine from the data obtained from the gases analyzed in the metabolic cart, all the existing links of the different gases during the tests, allowing us to know the values for VE/VCO₂. In other words, we were able to determine the proportion between exhaled air and the amount of CO₂ pro-

duced. Their correlation in square R was very good, according to the results there was an increase mainly between the first round and the second assessment. This might occurred due to the fact that when carrying out the vigorous activity, CO₂ production increases causing an increase as well in PCO₂ and a decrease in body pH. All of which caused an increase in ventilation and sodium bicarbonate production with the purpose of compensating the excessive hydronium ions (H⁺), making the respiratory and cardiovascular systems least efficient regarding the mobilization of air for each O₂.^{16,23} The square R showed a very good correlation in VO₂_{max}, however average values were higher in the second test than in the first. A justification might be that among the different physiological adaptations when carrying out strenuous exercise, the extraction ability per heart beat is reduced thus reducing the arteriovenous difference of O₂. As a result of this, heart rate compensates cardiac output to maintain the same VO₂_{max} during the following Bruce tests.²⁴

This present research presents limitations since neither the systolic volume nor the oxygen pulse (VO₂/FC) were assessed. This might have provided us with more discussion elements to establish the causes related to acute physiological adaptations of the cardiovascular system in the subjects after carrying out two consecutive stress tests. However, the design of the study was transversal and the results cannot be used to infer causality and the size of the sample only includes young physically active adults. Despite these limitations, we used indirect calorimetry, which is considered the golden standard to assess aerobic capacity. We were able to obtain important and innovative information contributing to a better understanding for sports performance professionals when assessing aerobic capacity to plan and control workloads in sports training. In contrast, according to the best of our knowledge and after revising the situation, we were unable to find previous research studies where several maximal tests had been conducted in just one session with 10 minutes resting periods between each one of the tests.

Due to the aforementioned, after analyzing the different variables and their repercussions in the obtained results, we were able to come to the conclusion that resting for 10 minutes between two maximal tests using the Bruce protocol will not affect the VO₂_{max} reached despite the higher cardiac effort. Repeating a maximal test in the same session is not possible, reliable and there were no adverse effects found in young and healthy subjects.

Acknowledgements

This research was funded by the Universidad Autónoma de Baja California UABC; Project Number: Protocol N ° 149/498.

References

1. Greiwe JS, Kaminsky LA, Whaley MH, Dwyer GB. Evaluation of the ACSM submaximal ergometer test for estimating VO₂max. *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 VO₂max. *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 VO₂max 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 VO₂max. *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-Piñeiro 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, (COS-MED 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.