



universidad
de león



TRABAJO DE FIN DE GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE

Curso Académico 2014/2015

VALIDEZ Y REPRODUCTIBILIDAD DEL DÉFICIT MÁXIMO DE
OXIGENO ACUMULADO DURANTE UN TEST INCREMENTAL EN
ATLETAS

Validity and Reproducibility of the Maximum Accumulated Oxygen Deficit
during an Incremental Test in Athletes

Autor: Alvaro Gil Alonso

Tutores: José A. Rodríguez Marroyo

Fecha: 31/07/2015

VºBº TUTOR

VºBº AUTOR

ÍNDICE

Resumen	1
Abstract	2
Introducción	3
Objetivos	7
Metodología	8
Sujetos	8
Diseño experimental	8
Test incremental máximo	9
Pruebas submáximas	10
Test supramáximo	10
Análisis estadístico	11
Resultados	12
Discusión	20
Conclusiones	22
Bibliografía	23

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue analizar la validez y fiabilidad de la valoración del déficit máximo acumulado de oxígeno usando un test incremental. En el estudio participaron 19 sujetos (media \pm SD; edad, 21.8 \pm 2.5 años; peso, 71.0 \pm 10.6 kg y altura, 175.2 \pm 8.1 cm). Todos ellos realizaron dos pruebas incrementales en tapiz rodante, 7 pruebas submáximas de 5 min de duración entre el 30 y el 90% del VO_{2max} y un test supramáximo al 105% de la velocidad máxima alcanzada en el primer test incremental realizado. Todas las pruebas fueron realizadas en la misma semana y con al menos 24 h de recuperación entre ellas. El déficit máximo acumulado de oxígeno fue calculado en la prueba supramáxima utilizando diversas aproximaciones para calcular la relación VO_2 -velocidad y en el test incremental. Los menores déficits se analizaron en el test supramáximo (54.8-80.0 ml \cdot kg $^{-1}$) vs. a los analizados en el test incremental (61.9-93.2 ml \cdot kg $^{-1}$). Se analizaron coeficientes de variación muy altos entre los déficits calculados en las dos pruebas incrementales (35.9-55.9%). La utilización de un test incremental para la estimación del déficit máximo acumulado de oxígeno en atletas no es un método válido ni fiable.

Palabras clave: Valoración, Capacidad Anaeróbica, Déficit de Oxígeno.

ABSTRACT

The aim of this study was to analyze the validity and reliability of the assessment of maximum accumulated oxygen deficit using an incremental test. The study involved 19 subjects (mean±SD; age, 21.8±2.5 years; weight, 71.0±10.6 kg and height, 175.2±8.1 cm). They performed two incremental treadmill tests, 7 submaximal tests lasting 5 min, between 30 and 90% of VO₂max and supramaximal test 105% of the maximum speed reached in the first incremental test. All tests were conducted in the same week and at least 24 hours of recovery between them. The maximum accumulated oxygen deficit was estimated at supramaximal test using different approaches to calculate the VO₂-speed ratio and the incremental test. The smaller deficits were analyzed in the supramaximal test (54.8-80.0 ml·kg⁻¹) vs. to those discussed in the incremental test (61.9-93.2 ml·kg⁻¹). Very high coefficients of variation were analyzed between deficits calculated in the two incremental tests performed (35.9-55.9%). Using an incremental test for estimating the maximum accumulated oxygen deficit in athletes is not a valid and reliable method.

Keywords: Assessment, Anaerobic Capacity, Oxygen Deficit.

INTRODUCCIÓN

Importancia del metabolismo anaeróbico

Tanto en el ejercicio aeróbico como anaeróbico es necesario el proceso de formación de ATP, en el inicio del ejercicio submáximo y el ejercicio de alta intensidad la resíntesis de ATP por la vía aeróbica no serán suficientes para conseguir la energía adecuada por lo que requiere de una producción cuantitativa de energía por la vía anaeróbica (Noordhof, Vink, de Koning & Foster, 2011) y (Noordhof, de Koning & Foster, 2010). Por ello, la importancia que tiene la valoración de la contribución del metabolismo anaeróbico de los deportistas (Minahan, Chia & Inbar, 2007; Medbo & Burgers, 1990). De hecho se ha asumido que sujetos que tienen una mayor capacidad anaeróbica tienen un mayor rendimiento. La mayoría de las acciones de extrema importancia en el deporte se basan en un ejercicio exhaustivo, corto y/o de potencia que engloban mayoritariamente este metabolismo (Ravier, Dugue, Grappe & Rouillon, 2005).

El método más utilizado para determinar la capacidad anaeróbica, que se define como la cantidad máxima de ATP que se puede resintetizar por el metabolismo anaeróbico (principalmente la fosfocreatina), ha sido el déficit de oxígeno máximo acumulado (Bergstrom, Housh, Zuniga, Camic & cols., 2012; Noordhof, Vink, de Koning & Foster, 2011; Minahan, Chia & Inbar, 2007; Clare & Donald, 2000; Medbo & Burgers, 1990 y Medbo, Mhon, Tabata & cols., 1988).

Valoración del metabolismo anaeróbico

El déficit máximo de oxígeno acumulado, medido durante el ejercicio exhaustivo de corta duración se ha planteado para estimar la cantidad máxima de energía que se puede obtener a partir del metabolismo anaeróbico (Medbo & Burgers, 1990; Medbo, Mhon, Tabata & cols., 1988). Usar esta metodología como una medida de liberación de energía durante el ejercicio anaeróbico debe cumplir lo siguiente (Medbo & Burgers, 1990): 1- la liberación de energía en forma de la resíntesis de ATP puede ser utilizada en ejercicios aeróbicos (quienes dominan la regeneración de ATP) y anaeróbicos, de tal forma que la parte aeróbica es el VO_2 medido en la prueba y la parte anaeróbica es la liberación total de

energía menos la parte aeróbica, 2- en ejercicios de intensidades moderadas a penas se puede ver el componente anaeróbico, puesto que el VO_2 aumenta de manera lineal, entonces al contar con una escasa contribución anaeróbica, el VO_2 medido refleja la demanda de O_2 , de este modo esta demanda aumenta linealmente por la intensidad progresiva del ejercicio; llevada esta relación a cabo puede ser extrapolada a ejercicios supramáximos donde prime el componente anaeróbico y así obtener una demanda para cada sujeto, ya que originalmente, era estimada asumiendo una eficiencia común para todos los individuos (Hill, Ferguson, & Ehler, 1998; Dorado, Chavarren, & López, 1997 y Medbo, Mhon, Tabata & cols., 1988); 3- durante una intensidad constante la regeneración de ATP es constante, aunque sea un ejercicio llevado hasta el agotamiento; 4- el déficit máximo de oxígeno acumulado puede encontrarse en cualquier momento del ejercicio integrando hasta el déficit de O_2 .

Según Medbo, Mohn, Tabata, Bahr, & cols. (1988) el déficit máximo de oxígeno alcanzado en ejercicios de alta intensidad hasta el agotamiento debe englobar esfuerzo de entre 2-3 minutos. Para su evaluación durante el test se tiene que provocar una demanda de O_2 mayor que la captación real de O_2 ($\text{VO}_{2\text{max}}$). Su validez para cuantificar la energía desarrollada por el metabolismo anaeróbico se basa prácticamente en la medida de la producción de energía anaeróbica estimada a través de metabolitos en músculo y sangre (Pouilly & Busso, 2008).

El test de Medbo para determinar el déficit máximo acumulado de oxígeno

Atendiendo al protocolo original para determinar el déficit máximo de oxígeno es necesario la realización de las siguientes pruebas de valoración:

Prueba incremental máxima: en el protocolo original de Medbo la carga de inicio era 100 W y se incrementaba en 25 W cada 30 segundos (Medbo, Mhon, Tabata & cols., 1988). Este protocolo fue modificado por Gardner, Osborne, & cols. (2003) realizando escalones de 3 minutos, los cuales siguen siendo los más recurrentes en cicloergómetro. Utilizando el tapiz como ergómetro han surgido diversos protocolos. La velocidad inicial ha estado en función de las características de los sujetos, aunque los aumentos más usados han sido incrementos de $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Hill, Ferguson & Ehler, 1998). En algunos casos la velocidad se ha mantenido constante y cada 2 minutos se ha aumentado en un 3% la pendiente (Scott, Roby, Lohman & Bunt, 1991).

Cálculo de la recta de economía: se requiere realizar diversas series de ejercicios submáximos para establecer la relación entre el VO_2 y la producción de energía en diferentes intensidades. Según Medbo y cols. (Medbo & Burgers, 1990; Medbo, Mohn, Tabata & cols., 1988) la recta de economía se debe hallar usando entre 8-10 estadios de 10 min de esfuerzo. Buck y McNaughton llegaron a la conclusión que esta duración era la mínima, ya que sino el déficit de oxígeno calculado era demasiado bajo, asimismo Maxwell y Nimmo recomiendan estadios de 8-10 minutos (Noordhof, Koning & Foster, 2010). Sin embargo, otros autores ha determinado que el uso de escalones de 3 minutos de duración son suficientes para alcanzar un estado estable (Noordhof, Koning & Foster, 2010). Las intensidad propuestas para el cálculo de la recta de economía se sitúan entre el 35-90% del VO_{2max} . Cuanto mayor sea la intensidad utilizada en los estadios mayor será el déficit de oxígeno calculado (Noordhof, Vink, de Koning & Foster, 2011 y Noordhof, Koning & Foster, 2010). La recuperación entre los estadios puede ser de unos 20 minutos (Noordhof, Vink, de Koning & Foster, 2011). La relación de las anteriores variables para el cálculo de la recta de economía hace que el protocolo utilizado pueda ser demasiado extenso. Por ello, diferentes estrategias como disminuir el tiempo de los escalones hasta los 6 minutos, utilizar entre 2-4 escalones han sido planteadas (Noordhof, de Koning & Foster, 2010). Roberts, Clark, Townsend, Anderson & cols. (2002) en base a los protocolos anteriores utilizaron únicamente 3 intensidades de 6 minutos entre el 50-75%, con una recuperación de 2 minutos entre cada medición. Otro protocolo que engloba poca duración el el planteado por Mezzani, Corrà, Sassi, Colombo & cols. (2006), donde utilizan 3 intensidades al 30-60-90% del máximo con 10 minutos de esfuerzo por cada intensidad. Medbo, Mohn, Tabata, Bahr, & cols. (1988), Medbo & Burgers (1990) y Scott, Roby, Lohman & Bunt (1991) proponen utilizar protocolos con pendiente. La pendiente utilizada por estos autores es de un 5.2-10.5%, dependiendo del nivel de cada sujeto.

Prueba supramáxima: se trata de una prueba hasta el agotamiento (tipo all-out) cuyas intensidades van desde el 95-140% del VO_{2max} para evitar el componente lento del VO_2 . En tapiz las intensidades utilizadas son menos elevadas (95-110% del VO_{2max}) que en cicloergometro, fundamentalmente, para evitar el riesgo que puede conllevar (Hill, Ferguson & Ehler, 1998). Por ello, se ha propuesto el aumento de la intensidad por medio de la pendiente (Hill, Ferguson & Ehler, 1998).

Por la duración excesiva que puede conllevar la realización del protocolo original, al tener que hacer la prueba incremental, hallar la recta de economía y por último realizar el test supramáximo, distintos autores han propuesto no realizar la recta de economía (Gardner, Osborne, & cols., 2003 y Hill, Ferguson & Ehler, 1998). Estos autores hallan la relación VO_2 -intensidad utilizando los datos obtenidos en el test incremental, tanto cuando utilizan

el cicloergómetro (Gardner, Osborne, & cols., 2003) como el tapiz rodante (Hill, Ferguson & Ehler, 1998).

La determinación del déficit máximo acumulado de oxígeno en un test incremental

Esta metodología fue propuesta por Pouilly & Busso (2008) usando el pedaleo como modo de ejercicio. Para su estimación es necesaria la realización de un test progresivo hasta el agotamiento. Se basa en que durante la prueba se va acumulando un déficit de O_2 , el cálculo de este déficit por escalón se relaciona con el hallado durante un esfuerzo supramáximo. La relación VO_2 -potencia se calcula utilizando los datos de la prueba incremental mediante una regresión lineal. Sin embargo, esta relación se ajusta utilizando un esfuerzo entorno al 50% del VO_{2max} . El déficit máximo acumulado de oxígeno se calcula a partir de la diferencia entre el consumo de oxígeno integrado durante todo el período de ejercicio y la predicción de la relación VO_2 -potencia hallada (Figura 1).

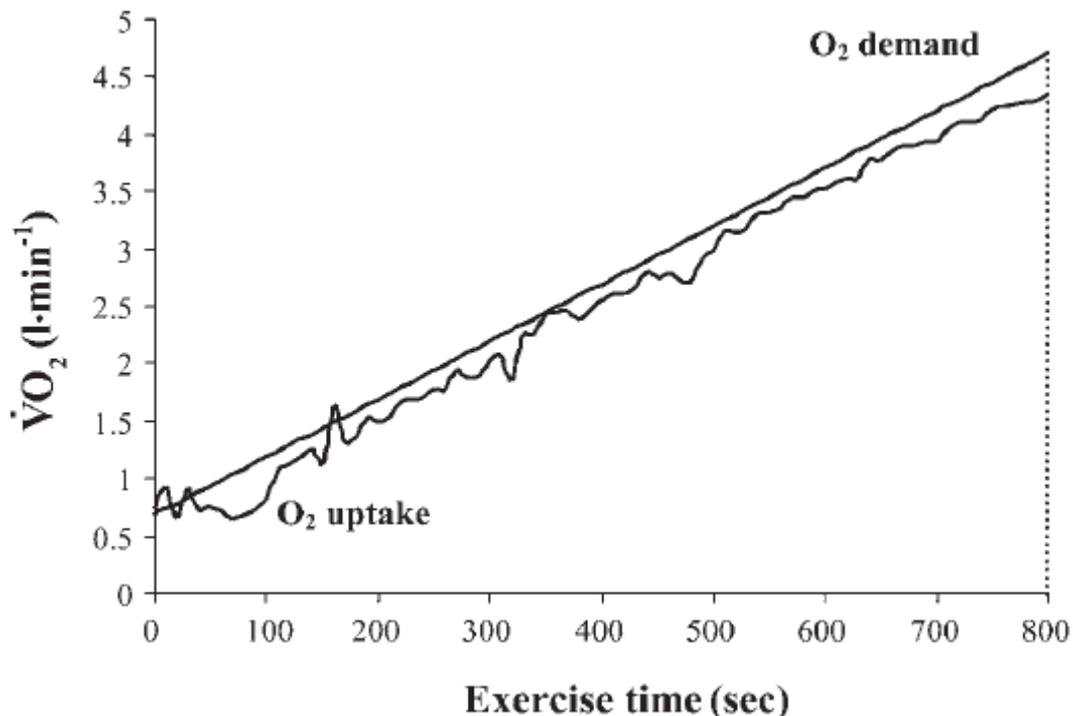


Figura 1. Representación esquemática del fundamento de la metodología propuesta por Pouilly & Busso (2008) para la estimación del déficit máximo acumulado de oxígeno durante la realización de un test incremental (tomado de Pouilly & Busso, 2008). La diferencia entre la demanda de O_2 estimada y el consumo real de O_2 de los sujetos estimaría el déficit de O_2 máximo.

OBJETIVOS

El objetivo general de este estudio fue estudiar la validez y reproductibilidad de la valoración del déficit máximo de oxígeno acumulado durante la realización de un test incremental máximo en atletas.

Como objetivos secundarios de este trabajo nos planteamos:

- Valorar la cualidad anaeróbica de los atletas atendiendo a la metodología propuesta por Medbo usando diferentes aproximaciones en el cálculo de la relación VO_2 -velocidad.
- Valorar el metabolismo aeróbico de los deportistas.
- Determinar la reproductibilidad de la capacidad y resistencia aeróbica de los deportistas.

METODOLOGÍA

Sujetos

En este estudio participaron diecinueve sujetos, dieciséis hombres (edad, 22.3 ± 2.4 años; peso, 74.4 ± 7.3 y altura, 177.8 ± 5.1) y tres mujeres (edad, 19.0 ± 0.0 años; peso, 52.8 ± 4.0 y altura, 161.3 ± 6.8). Todos los sujetos que participaron en el estudio eran físicamente activos y practicaban actividad física o entrenaban de manera regular. Antes de iniciar el estudio los sujetos fueron informados del objetivo y de la metodología del mismo, obteniendo su participación voluntaria y su consentimiento por escrito.

Diseño Experimental

Todos los sujetos acudieron al laboratorio de Valoración de la Condición Física del Departamento de Educación Física y Deportiva en la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte en tres ocasiones dentro de la misma semana y con al menos 24 h de recuperación entre cada visita. Todos los sujetos realizaron dos test incrementales máximos con análisis de gases para valorar su calidad aeróbica y el déficit máximo acumulado de oxígeno. La capacidad y resistencia aeróbica de los participantes se determinó valorando su VO_{2max} y sus umbrales ventilatorios, respectivamente. El déficit máximo acumulado de oxígeno se calculó atendiendo a la metodología propuesta por Pouilly & Busso (2008). Además, se realizaron varias pruebas submáximas entre el 30 y 90% del VO_{2max} para determinar la recta de economía de carrera de los sujetos y un test supramáximo al 110% de la velocidad máxima para poder calcular el déficit máximo acumulado de oxígeno atendiendo a la metodología tradicional propuesta por Medbo, Mhon, Tabata & cols. (1988). El primer día de pruebas los sujetos realizaron un test incremental máximo y tras 30 min de recuperación corrieron 5 min a tres intensidades calculadas en función del VO_{2max} alcanzado en la prueba previa (30, 50 y 70% del VO_{2max}). El segundo día los sujetos corrieron a otras cuatro intensidades submáximas (40, 60, 80 y 90% del VO_{2max}) y realizaron un test supramáximo (110% de la velocidad máxima) hasta el agotamiento después de 30 min de recuperación. El tercer día se repitió el test incremental máximo realizado el primer día para determinar la reproductibilidad de la valoración del déficit máximo acumulado de oxígeno a través del test incremental. El calentamiento (10 min de carrera entre $7-8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ más 5 min de estiramientos) y las condiciones del laboratorio ($\sim 21^\circ\text{C}$ y $\sim 30\%$ de humedad relativa) se estandarizaron para todos los sujetos. Así mismo, para evitar cualquier variación e influencia de los ciclos circadianos en los

resultados, las sesiones de valoración se llevaron a cabo a la misma hora (Daniels, Scardina, Hayes & Foley, 1984; Morgan, Craib, Krahenbuhl & cols., 1994). Se recomendó a los sujetos realizar el día anterior a las pruebas un entrenamiento ligero y una dieta rica en hidratos de carbono.

Test incremental máximo

El test incremental se realizó sobre un tapiz rodante h/p/cosmos Pulsar (h/p/cosmos sports & medical gmbh, Nussdorf, Germany). El test se inició a una velocidad de $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y se incrementó en $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada 1 min hasta que los sujetos no pudieron mantener la velocidad. La pendiente del tapiz fue fijada a un 1% durante toda la prueba para intentar imitar el coste metabólico que produce el viento cuando se corre al aire libre (Pugh, 1970). Durante toda la prueba se monitorizó la frecuencia cardíaca (FC) (Polar Vantage NV, Polar Electro Oy, Finland) cada 5 s y los gases respirados respiración a respiración (Medisoft Ergocard, Medisoft Group, Sorinnes, Belgium). Además, en los últimos 10 s de cada escalón los sujetos reportaron su percepción subjetiva del esfuerzo (RPE) utilizando la escala de Borg de 0-10 (Borg, 1982). Las variables analizadas en el test fueron la velocidad, FC máxima y el $\text{VO}_{2\text{max}}$. Se consideró como $\text{VO}_{2\text{max}}$ al valor máximo obtenido al promediar los datos cada 30 s (Fletcher, Esau, & Macintosh, 2009). Además, se determinaron los umbrales ventilatorios a tendiendo a la metodología descrita por (Davis, 1985). El criterio utilizado para determinar el umbral ventilatorio (VT) fue el incremento de la ventilación (VE), el equivalente ventilatorio del oxígeno ($\text{VE}\cdot\text{VO}_2^{-1}$) y de la presión end-tidal de oxígeno (PETO_2) sin el aumento concomitante del equivalente ventilatorio del dióxido de carbono ($\text{VE}\cdot\text{VCO}_2^{-1}$), y la segunda ruptura de la linealidad de la VE, el aumento del $\text{VE}\cdot\text{VO}_2^{-1}$ con un incremento paralelo del $\text{VE}\cdot\text{VCO}_2^{-1}$ y la disminución de la presión end-tidal del dióxido de carbono (PETCO_2) para hallar el umbral de compensación respiratoria (RCT).

El cálculo del déficit máximo acumulado de oxígeno durante el test incremental se realizó atendiendo a la metodología propuesta por Pouilly & Busso (2008). Los datos obtenidos en la prueba fueron analizados usando un análisis de regresión lineal para determinar la pendiente media de la relación VO_2 -velocidad. Una carga submáxima y estable al 50% de la velocidad máxima, determinada en el día 2 de pruebas, fue usada para ajustar la relación VO_2 -velocidad obtenida. Entonces, el punto de corte “y” de la relación fue computado usando el VO_2 durante las condiciones de estado estable de los últimos 2 min de los 5 min que los sujetos corrieron al 50% de la velocidad máxima. El déficit máximo

acumulado fue computado restando el O_2 total consumido durante toda la prueba incremental de la demanda de O_2 predicha por la relación VO_2 -velocidad.

Pruebas submáximas

Para determinar la recta de economía de carrera los sujetos corrieron durante 5 min a siete intensidades submáximas: 30, 40, 50, 60, 70, 80 y 90% del VO_{2max} . Estas intensidades fueron calculadas teniendo en cuenta los resultados de la primera prueba incremental realizada. Las intensidades fueron equivalentes al 30, 40, 50, 60, 70, 75 y 80% de la velocidad máxima alcanzada en el test máximo, i.e., $media \pm SD$; 5.3 ± 0.5 , 7.0 ± 0.7 , 8.8 ± 0.9 , 10.5 ± 1.1 , 12.3 ± 1.3 , 13.6 ± 1.6 y 15.1 ± 1.5 $km \cdot h^{-1}$. Entre cada intensidad de intercaló un periodo de recuperación pasiva de 5 min. La pendiente de tapiz (h/p/cosmos Pulsar, h/p/cosmos sports & medical gmbh, Nussdorf, Germany) se mantuvo a un 1% durante todas las pruebas. Los sujetos fueron refrigerados continuamente en todas las pruebas por medio de dos ventiladores colocados a los lados del tapiz. El intercambio de gases respirados y la FC fueron registrados continuamente utilizando un analizador de gases (Medisoft Ergocard, Medisoft Group, Sorinnes, Belgium), y cada 5 s (Polar Vantage NV, Polar Electro Oy, Finland), respectivamente. Por último, en los últimos 10 s de cada minuto se recogió la RPE de los sujetos. Para determinar la relación VO_2 -velocidad, solo se tuvo en cuenta el VO_2 promedio de los 2 últimos minutos de cada intensidad (Lucia, Esteve-Lanao, Oliván & cols., 2006). Además, de la recta de economía obtenida del análisis de regresión lineal de las variables VO_2 y velocidad, se calculó otra donde se sustituyó el punto de corte "y" de la relación VO_2 -velocidad por el valor del VO_2 basal de los sujetos (Noordhof, de Koning & Foster, 2010). Éste fue determinado el segundo día de pruebas, antes de realizar el calentamiento.

Test supramáximo

Tras un calentamiento de 10 min, como previamente se mencionó, los sujetos realizaron un test supramáximo al 110% de la velocidad máxima alcanzada ($media \pm SD$; 18.5 ± 2.1 $km \cdot h^{-1}$) en el test incremental del primer día de pruebas. El test se realizó con una pendiente del tapiz rodante (h/p/cosmos Pulsar, h/p/cosmos sports & medical gmbh, Nussdorf, Germany) del 1%. Los sujetos mantuvieron la carga de trabajo hasta la extenuación, la prueba finalizó cuando fueron incapaces de mantener la velocidad fijada. Durante toda la prueba fueron registrados los gases respirados respiración a respiración (Medisoft Ergocard, Medisoft Group, Sorinnes, Belgium). El déficit máximo acumulado de

oxígeno fue estimado como la diferencia entre el VO_2 integrado sobre todo el periodo de ejercicio y la predicción realizada por medio de la relación VO_2 -velocidad obtenida con la realización de las pruebas submáximas (Medbo, Mhon, Tabata & cols., 1988).

Análisis estadístico

Los resultados se expresan como media \pm desviación estándar (*SD*). Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para determinar la normalidad de la muestra. La comparación de la relación VO_2 -velocidad, demanda de O_2 , déficit de O_2 y porcentajes de contribución aeróbico y anaeróbico calculados por las diferentes metodologías usadas en el estudio se realizó utilizando un análisis de la varianza (ANOVA) con medias repetidas. Cuando se obtuvo un valor *F* significativo, se aplicó el test de Bonferroni para establecer las diferencias significativas entre medias. Los resultados obtenidos en las dos pruebas incrementales, tanto para valorar el metabolismo anaeróbico como aeróbico, se analizaron usando una *t* de student para muestras relacionadas. Este mismo análisis se utilizó para comparar en cada escalón las variables analizadas en los test incrementales. Las relaciones entre variables fueron determinadas usando el coeficiente de correlación de Pearson (*r*). La concordancia y fiabilidad entre resultados fue analizada por medio del coeficiente de correlación intraclase (ICC) y del método Bland-Altman. Valores de $p < 0.05$ fueron considerados como estadísticamente significativos. El coeficiente de variación (CV) fue calculado por medio de la relación entre la *SD* y la media de las variables y expresado en tanto por ciento. El software estadístico SPSS+ v.19.0 fue usado para este análisis.

RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestran las rectas de economía obtenidas con la realización de los tests submáximos y derivada de la prueba incremental. La pendiente de la recta fue mayor ($p < 0.05$) en la recta obtenida con la realización de los tests submáximos. El punto de corte “y” de menor valor ($p < 0.05$) se obtuvo en la recta de economía original. Las mayores ($p < 0.05$) demandas de O_2 para la velocidad supramáxima elegida en el estudio se encontraron cuando en la recta de economía se sustituyó el valor de “y” por el VO_2 basal de los sujetos (Tabla 1).

Tabla 1. Rectas de economía y demanda total de O_2 estimada en el test supramáximo (media \pm SD) calculadas: 1- utilizando la relación VO_2 -velocidad de las pruebas submáximas, 2- utilizando la relación VO_2 -velocidad de las pruebas submáximas y sustituyendo el punto de corte “y” por el valor del VO_2 basal de los sujetos y 3- atendiendo a la metodología propuesta por Pouilly & Busso (2008).

	1	2	3
Pendiente de la recta	3.91 \pm 0.60 \dagger	3.91 \pm 0.60 \dagger	2.99 \pm 0.34
Punto de corte “y”	-2.88 \pm 4.60* \dagger	6.45 \pm 1.07	8.20 \pm 6.17
Demanda de O_2 (ml \cdot kg $^{-1}$)	166.9 \pm 38.9* \dagger	190.1 \pm 50.5 \dagger	153.2 \pm 36.5

*, diferencias significativas con 2 ($p < 0.05$). \dagger , diferencias significativas con 3 ($p < 0.05$).

La duración del test supramáximo fue de 2.4 \pm 0.6 min. Durante este tiempo los sujetos consumieron una de media de 45.8 \pm 6.0 ml \cdot kg $^{-1}\cdot$ min $^{-1}$ de O_2 . Analizando los déficit máximos de oxígeno acumulado en el test supramáximo los menores valores ($p < 0.05$) se obtuvieron cuando se empleó la relación VO_2 -velocidad de la prueba incremental para estimar la demanda de O_2 . Los mayores valores ($p < 0.05$) se encontraron cuando se empleó el VO_2 basal de los sujetos como valor de “y”, lo cual conllevó que usando esta metodología se analizara el mayor ($p < 0.05$) porcentaje de contribución anaeróbica (Tabla 2). Cuando se utilizó esta última metodología, no se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$) con el déficit máximo de oxígeno acumulado hallado en la prueba incremental (Tabla 2). La mayor ($p < 0.05$) y menor ($p < 0.05$) contribución aeróbica y anaeróbica, respectivamente, fue analizada en el test incremental (Tabla 2). En la Tabla 3 se muestran las correlaciones

analizadas entre las diferentes metodologías para valorar el déficit máximo acumulado de oxígeno.

Tabla 2. Déficit máximos de O₂ y porcentajes de contribución aeróbico y anaeróbico analizados en el test supramáximo e incremental.

		Déficit de O ₂ (ml·kg ⁻¹)	% aeróbico	% anaeróbico
Test supramáximo	1	54.8 ± 16.8*†‡	66.7 ± 7.8*†‡§	33.3 ± 7.8*†‡§
	2	80.0 ± 28.6†	58.4 ± 8.2†‡§	41.6 ± 8.2†‡§
	3	44.5 ± 12.8‡	71.0 ± 7.3‡§	29.0 ± 7.3‡§
Test incremental	4	93.2 ± 46.1	84.2 ± 6.9	15.8 ± 6.9
	5	61.9 ± 46.6	88.9 ± 8.3	11.1 ± 8.3

1- utilizando la relación VO₂-velocidad de las pruebas submáximas; 2- utilizando la relación VO₂-velocidad de las pruebas submáximas y sustituyendo el punto de corte “y” por el valor del VO₂ basal de los sujetos; 3 y 4- atendiendo a la metodología propuesta por Pouilly & Busso (2008); 5- atendiendo a la metodología propuesta por Pouilly & Busso (2008) pero sustituyendo el punto de corte “y” por el valor del VO₂ basal de los sujetos. *, diferencias significativas con 2 ($p < 0.05$). †, diferencias significativas con 3 ($p < 0.05$). ‡, diferencias significativas con 4 ($p < 0.05$). §, diferencias significativas con 5 ($p < 0.05$).

El estudio de la reproductibilidad del déficit máximo acumulado de oxígeno determinado durante la realización de un test incremental indicó una alta variabilidad de los resultados (Tabla 4). Además de esta variable, se analizaron altos coeficientes de variabilidad para el punto de corte “y” de la relación VO₂-velocidad y el porcentaje de contribución anaeróbico. Se hallaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las demandas de O₂ analizadas en las pruebas incrementales y el déficit de O₂, porcentaje de contribución aeróbico y anaeróbico cuando se utilizó el VO₂ basal como punto de corte “y” de la relación VO₂-velocidad (Tabla 4).

Tabla 3. Correlaciones entre las diferentes metodologías usadas para valorar el déficit máximo de O₂ acumulado.

	1	2	3	4	5
1		$r=0.94$ $p<0.001$	$r=0.65$ $p<0.01$	$r=0.44$ $p>0.05$	$r=-0.28$ $p>0.05$
2			$r=0.55$ $p<0.05$	$r=0.35$ $p>0.05$	$r=-0.07$ $p>0.05$
3				$r=0.58$ $p<0.05$	$r=0.03$ $p>0.05$
4					$r=-0.12$ $p>0.05$

1- en el test supramáximo utilizando la relación VO₂-velocidad de las pruebas submáximas; 2- en el test supramáximo utilizando la relación VO₂-velocidad de las pruebas submáximas y sustituyendo el punto de corte "y" por el valor del VO₂ basal de los sujetos; 3 y 4- atendiendo a la metodología propuesta por Pouilly & Busso (2008) en el test supramáximo e incremental, respectivamente; 5- en el test incremental atendiendo a la metodología propuesta por Pouilly & Busso (2008) pero sustituyendo el punto de corte "y" por el valor del VO₂ basal de los sujetos.

Tabla 4. Reproducibilidad de la medición de las variables analizadas (media±SD) durante el test incremental.

	Prueba 1	Prueba 2	ICC	CV
Pendiente de la recta	2.99 ± 0.34	3.12 ± 0.39	0.60, $p<0.05$	7.5 ± 5.3
Punto de corte "y"	8.20 ± 6.17	8.24 ± 5.79	0.87, $p<0.001$	50.6 ± 81.7
Demanda de O ₂ ¹ (ml·kg ⁻¹)	574.8 ± 133.3*	612.5 ± 124.6	0.95, $p<0.001$	7.2 ± 5.0
Déficit de O ₂ ¹ (ml·kg ⁻¹)	93.2 ± 46.1	120.6 ± 65.3	0.75, $p<0.01$	35.9 ± 26.9
% aeróbico ¹	84.2 ± 6.9	80.9 ± 9.4	0.59, $p<0.05$	5.7 ± 4.4
% anaeróbico ¹	15.8 ± 6.9	19.1 ± 9.4	0.59, $p<0.05$	30.4 ± 25.6
Demanda de O ₂ ² (ml·kg ⁻¹)	543.5 ± 124.9*	587.6 ± 9	0.93, $p<0.01$	8.3 ± 4.6
Déficit de O ₂ ² (ml·kg ⁻¹)	61.9 ± 46.6*	95.7 ± 55.3	0.64, $p<0.05$	55.9 ± 46.9
% aeróbico ²	88.9 ± 8.3*	84.0 ± 8.1	0.51, $p<0.05$	5.9 ± 4.7
% anaeróbico ²	11.1 ± 8.3*	16.0 ± 8.1	0.51, $p<0.05$	50.6 ± 49.6

¹atendiendo a la metodología propuesta por Pouilly & Busso (2008); ²atendiendo a la metodología propuesta por Pouilly & Busso (2008) pero sustituyendo el punto de corte "y" por el valor del VO₂ basal de los sujetos. *, diferencias significativas ($p<0.05$).

No se encontraron diferencias significativas en ninguna de las variables analizadas en la primera y segunda prueba incremental (Tabla 5). Se analizaron unos altos ICC y bajos CV en la mayoría de las variables, salvo para la RPE en el RCT y VT. Estos resultados indican la alta fiabilidad y reproductibilidad de las variables, salvo para la RPE. El análisis Bland-Altman reveló unas diferencias entre las velocidades, consumos de O₂ y frecuencia cardiaca máxima (Figura 2), en el RCT (Figura 3) y VT (Figura 4) entre la primera y segunda prueba cercanas al valor 0. Además, el 95% de los sujetos se encontraron entre los límites de acuerdo calculados, lo que indicó una alta concordancia entre las variables.

Cuando se analizó el comportamiento del consumo de O₂, frecuencia cardiaca y RPE a lo largo de las pruebas de esfuerzo realizadas no se encontraron diferencias significativas en ninguno de los escalones completados (Figura 5).

Tabla 5. Resultados (media±SD) obtenidos en el primer y segundo test incremental.

	Prueba 1	Prueba 2	ICC	CV
VO _{2max} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	54.2 ± 6.8	55.1 ± 6.4	0.91	3.9 ± 2.1
Velocidad _{max} (km·h ⁻¹)	17.5 ± 1.8	17.9 ± 1.7	0.93	2.6 ± 1.8
FC _{max} (ppm)	190 ± 7	190 ± 6	0.96	0.7 ± 0.6
VO _{2 RCT} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	45.6 ± 6.4	45.9 ± 5.7	0.96	3.0 ± 2.1
% VO _{2 RCT}	84.2 ± 5.7	83.4 ± 4.3	0.84	3.9 ± 2.9
Velocidad _{RCT} (km·h ⁻¹)	14.2 ± 1.6	14.4 ± 1.3	0.95	2.5 ± 2.7
FC _{RCT} (ppm)	174 ± 12	174 ± 9	0.96	1.4 ± 1.2
RPE _{RCT}	6.4 ± 1.5	6.0 ± 1.2	0.64	14.6 ± 9.3
VO _{2 VT}	35.6 ± 5.6	35.6 ± 4.7	0.87	4.9 ± 3.9
% VO _{2 VT}	65.7 ± 6.6	64.8 ± 5.3	0.76	4.0 ± 2.1
Velocidad _{VT}	10.5 ± 1.5	10.7 ± 1.4	0.90	3.9 ± 4.7
FC _{VT}	150 ± 13	150 ± 11	0.93	2.2 ± 2.1
RPE _{VT}	2.8 ± 1.0	2.5 ± 0.7*	0.09	24.1 ± 18.3

RCT, umbral de compensación respiratoria; VT, umbral ventilatorio; RPE, percepción subjetiva del esfuerzo.

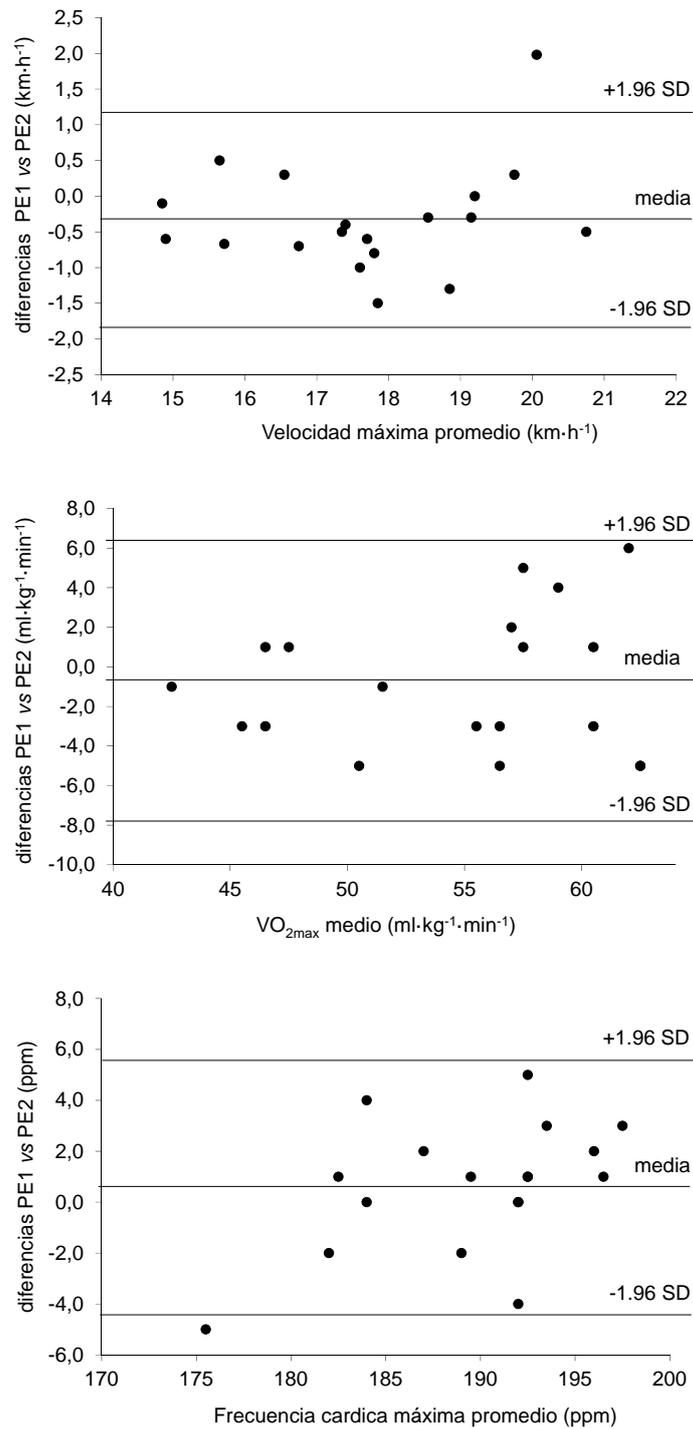


Figura 2. Gráfico Bland-Altman con diferencias estimadas y límites de acuerdo al 95% para la velocidad máxima, consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}) y frecuencia cardiaca máxima obtenidas en la primera (PE1) y segunda (PE2) prueba incremental máxima.

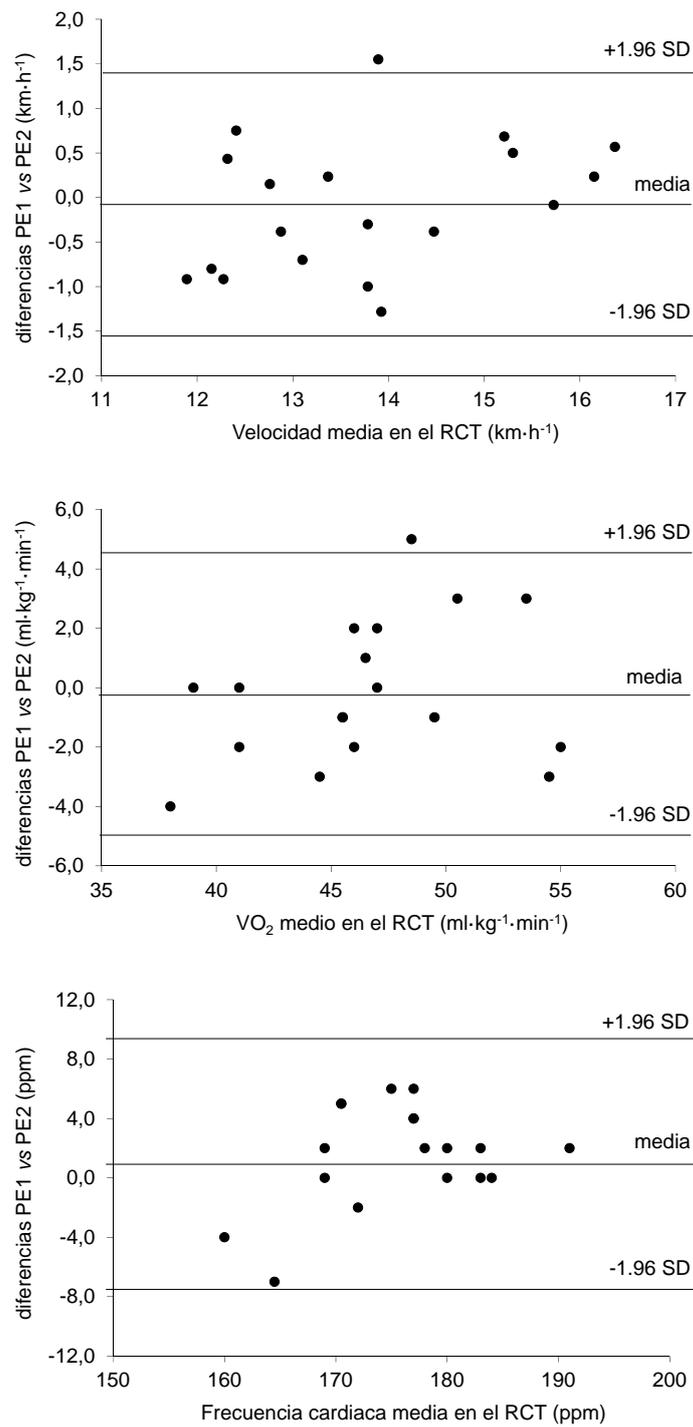


Figura 3. Gráfico Bland-Altman con diferencias estimadas y límites de acuerdo al 95% para la velocidad, consumo de oxígeno (VO₂) y frecuencia cardiaca en el umbral de compensación respiratoria (RCT) obtenidas en la primera (PE1) y segunda (PE2) prueba incremental máxima.

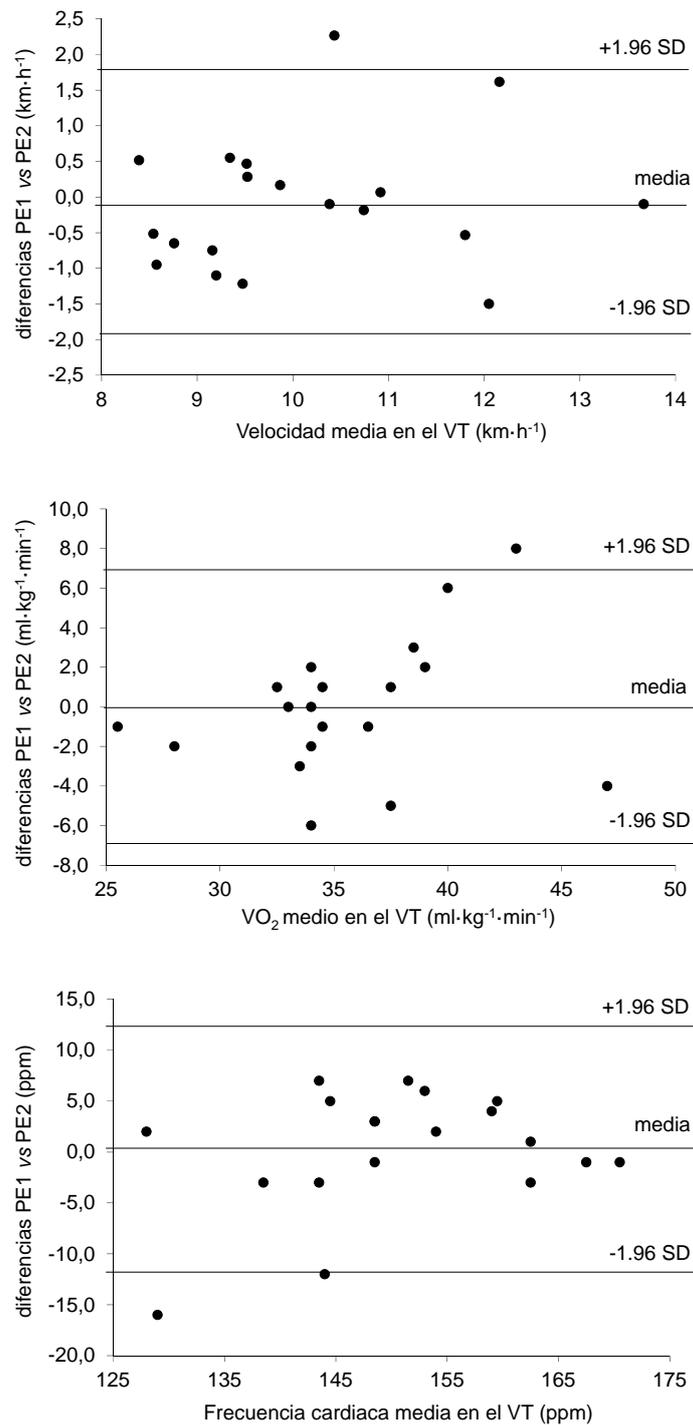


Figura 4. Gráfico Bland-Altman con diferencias estimadas y límites de acuerdo al 95% para la velocidad, consumo de oxígeno (VO₂) y frecuencia cardiaca en el umbral ventilatorio (VT) obtenidas en la primera (PE1) y segunda (PE2) prueba incremental máxima.

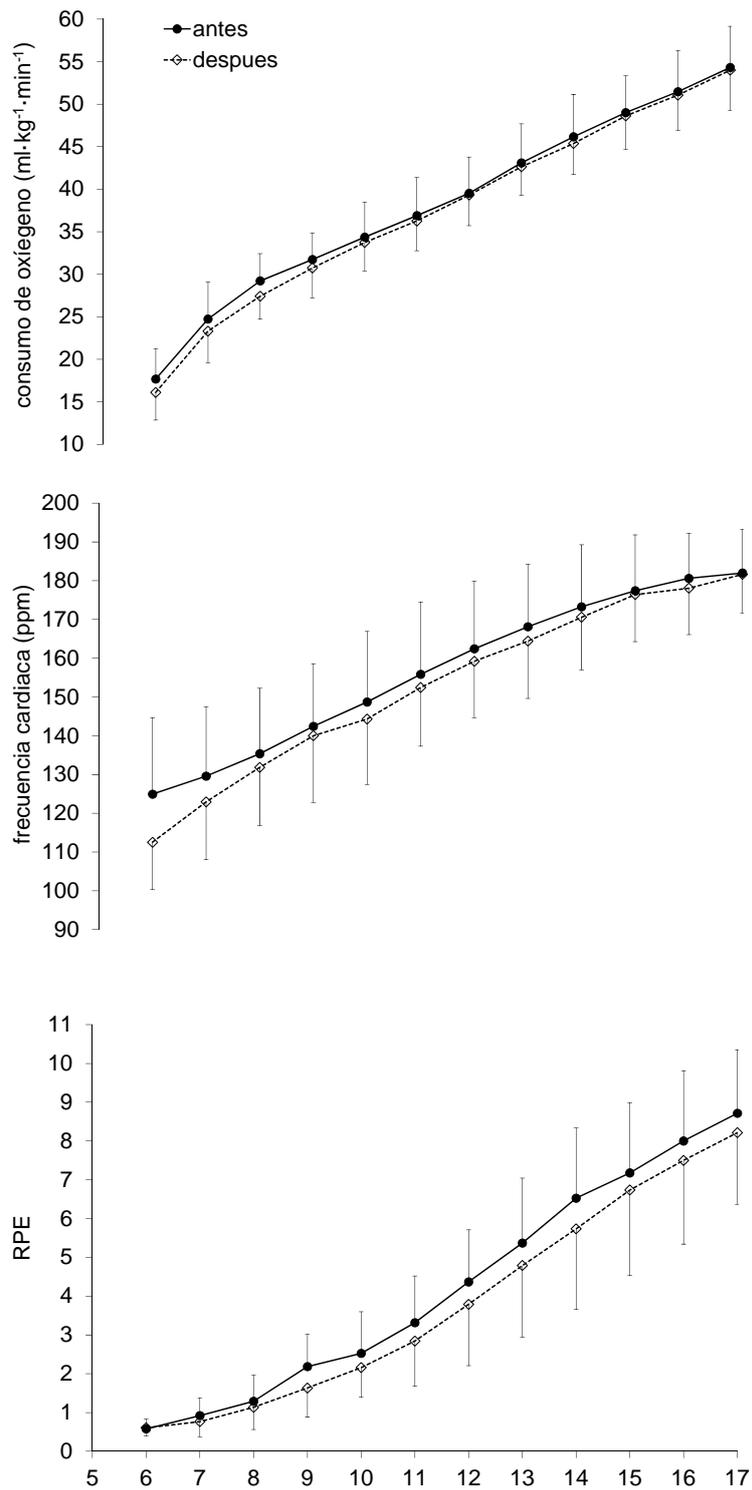


Figura 5. Evolución del consumo de oxígeno, frecuencia cardiaca y percepción subjetiva del esfuerzo en la primera y segunda prueba incremental máxima.

DISCUSIÓN

El principal hallazgo de este estudio, al igual que el de Pouilly & Busso (2008) es que a medida que se desarrolla una prueba de esfuerzo y aumenta la intensidad del ejercicio, el déficit de O₂ se va acumulando, de forma progresiva, a mayor intensidad. Sin embargo, en contra de lo analizado por estos autores, nuestro estudio arroja diferencias significativas con los resultados obtenidos en la metodología tradicional para el cálculo del déficit de O₂. Además, se encontraron unas bajas correlaciones entre métodos (Tabla 3). Pouilly & Busso (2008) hablan de un retardo de 45 segundos para una posible correlación entre el déficit máximo acumulado de oxígeno y el déficit de O₂ estimado en la prueba incremental, como apoyan otros estudios (Davis, J.A., Whipp, B.J., Lamarra & cols., 1982; Hansen, J.E., Casaburi R., Cooper, D.M. & Wasserman, K., 1988; Whipp, B.J., Davis, J.A., Torres, F., Wasserman, K., 1981) referenciados por Pouilly & Busso (2008) para evitar el componente lento inicial y ser más eficaz y preciso a la hora de medir la capacidad anaeróbica, sin embargo nosotros hemos cogido un retardo de 31 segundos medios entre todos los individuos, pues depende de cada individuo y la intensidad a la que desarrolle la prueba supramáxima, para calcular el tiempo medio de respuesta y hallar el déficit de O₂. A mayor intensidad/velocidad mayor será el tiempo a restar para obtener el tiempo medio de respuesta.

De manera que calculando el déficit de O₂ de una forma u otra se obtienen diferentes resultados, que pueden estar correlacionados, pudiendo compararse diferentes métodos para un mismo estudio y/o sujeto o no, simplemente que solo valga para evaluar a un sujeto sin ser posible introducir o comparar varios métodos. Los tres primeros métodos tradicionales de nuestro estudio, no obstante el primero, es el que más respeta el protocolo original, el resto difiere a la hora de calcular la demanda de O₂, por lo tanto el primero, con su recta es el déficit que más se aproxima a los protocolos descritos en Medbo, Mohn, Tabata, Bahr, & cols. (1988) y Medbo & Burgers (1990) para corredores, a excepción de que ellos introdujeron pendiente en su protocolo y nosotros no. Los dos últimos son protocolos que se derivan del uso de un test incremental, no tienen buena correlación con los métodos tradicionales ni entre ellos. El déficit calculado con la metodología tradicional no se aleja de los resultados obtenidos por Gardner, Osborne, & cols. (2003) (52.33 ml·kg⁻¹). Así mismo, en un estudio realizado con corredores (Bangsbo & cols., 1993) se obtuvieron déficits de 51.9 ml·kg⁻¹ comparables a los déficits hallados en el presente estudio utilizando la recta de economía sin modificar o utilizando la recta con el VO₂ basal de los sujetos. Los resultados obtenidos por Bickham & cols. (2002) (43.3 ml·kg⁻¹)

(Noordhof, de Koning, & Foster, 2010) se aproximan más a los obtenidos en este estudio cuando se empleó la recta de economía calculada con los datos obtenidos en la prueba incremental. Además, también se han referenciado valores de déficit de entorno al 30.9-73.8 ml·kg⁻¹ (Bosquet, Duchene, Delhors & cols., 2008). Las diferencias encontradas entre los diferentes valores referenciados en los estudios podría estar debida a las características de los sujetos (nivel y deporte practicado).

CONCLUSIONES

La utilización de un test incremental para la estimación del déficit máximo acumulado de oxígeno en atletas no es un método válido ni fiable. A pesar de la no existencia de diferencias significativas entre el déficit de O₂ calculado en el test incremental y el hallado en el test supramáximo usando el VO₂ basal de los sujetos para ajustar la recta de economía, la alta variabilidad del déficit de O₂ calculado en el test incremental hace de ésta una metodología no fiable. Futuros trabajos deben realizarse para determinar si el uso de un protocolo más rectangular en el test incremental mejora la estimación del déficit de oxígeno.

La valoración del metabolismo aeróbico (i.e., VO_{2max} y umbrales ventilatorios) a través de un test incremental, con los incrementos de carga utilizados en este estudio, es muy fiable debido a la baja variabilidad de los resultados.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bergstrom, H., Housh, T., Zuniga, J., Camic, C. & cols., (2012). Estimates of Critical Power and Anaerobic Work Capacity from a Single, All-Out Test of Less than 3-Min. *J Sports Med Doping Stud.* 2.
2. Borg, G., (1982). Psychophysical bases of perceived exertions. *Med Sci Sports Exerc.* 14: 377-381.
3. Bosquet, L., Duchene, A., Delhors, P.R., Dupont, G. & Carter, H., (2008). A comparison of methods to determine maximal accumulated oxygen deficit in running. *J Sports Sci.* 26: 663-670.
4. Clare, L.W. & Donald A.S., (2000). Maximal accumulated oxygen deficit expressed relative to the active muscle mass for cycling in untrained male and female subjects. *Eur J Appl Physiol.* 82: 255-261.
5. Daniels, J., Scardina, N., Hayes, J. & Foley, P., (1984). Variations in VO₂submax during treadmill running. *Med Sci Sports Exerc.* 16: 108.
6. Davis, J.A., (1985). Anaerobic threshold: Review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports Exerc.* 17: 6-18.
7. Dorado, C., Chavarren, J., & López, J.A., (1997). Influencia del procedimiento empleado para determinar la recta de economía de pedaleo en el cálculo del déficit máximo de oxígeno acumulado. *Revista Motricidad.* 3: 17-32.
8. Fletcher, J.R., Esau, S.P. & Macintosh, B.R., (2009). Economy of running: beyond the measurement of oxygen uptake. *J Appl Physiol.* 107: 1918-1922.
9. Gardner, A., Osborne, M. & cols., (2003) A comparison of two methods for the calculation of accumulated oxygen deficit. *J Sports Sci.* 21: 155-162.
10. Hill, D.W., Ferguson, C.S. & Ehler, K.L., (1998). An alternative method to determine maximal accumulated O₂ deficit in runners. *Eur J Appl Physiol.* 79: 114-117.
11. Lucia, A., Esteve-Lanao, J., Oliván, J., Gómez-Gallego, F., San Juan, A.F., Santiago, C., Pérez, M., Chamorro-Viña, C. & Foster C., (2006). Physiological characteristics of the best Eritrean runners-exceptional running economy. *Appl Physiol Nutr Metab.* 31: 530-540.
12. Medbo J. I. & Burgers, S., (1990). Effect of Training on the anaerobic capacity. *Med Sci Sports Exerc.* 22: 501-507.
13. Medbo, J. I., Mohn A.-C., Tabata, I., Bahr, R., & cols., (1988). Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. *J Appl Physiol.* 64: 50-60.

14. Mezzani, A., Corrà, U., Sassi, B., Colombo, R., y cols., (2006). Maximal Accumulated Oxygen Deficit in Patients with Chronic Heart Failure. *Med Sci Sports Exerc.* 38: 424-432.
15. Minahan, C., Chia, M. & Inbar, O., (2007). Does Power Indicate Capacity? 30-s Wingate Anaerobic Test vs. Maximal Accumulated O₂ Deficit. *Int J Sports Med.* 28: 836-843.
16. Morgan, D.W., Craib, M.W., Krahenbuhl, G.S., Woodall, K., Jordan, S., Filarski, K., Burleson, C. & Williams, T., (1994). Daily variability in running economy among well-trained male and female distance runners. *Res Q Exerc Sport.* 65: 72-77.
17. Noordhof, D.A., de Koning, J.J & Foster, C., (2010). The Maximal Accumulated Oxygen Deficit Method A Valid and Reliable Measure of Anaerobic Capacity? *Sports Med.* 4: 285-302.
18. Noordhof, D.A., Vink, D.M.T., de Koning, J.J & Foster, C., (2011). Anaerobic Capacity: Effect of Computational Method. *Int J Sports Med.* 32: 422-427.
19. Pouilly, J.P. & Busso T., (2008). Accumulated Oxygen Deficit during Ramp Exercise. *Int J Sports Med.* 29: 16-20.
20. Pugh, L.G., (1970). Oxygen intake in track and treadmill running with observations on the effect of air resistance. *J Physiol.* 207: 823-835.
21. Ravier, G., Dugue, B., Grappe, F. & Rouillon, J.-D., (2005). Maximal Accumulated Oxygen Deficit and Blood Responses of Ammonia, Lactate and pH after Anaerobic Test: a Comparison between International and National Elite Karate athletes. *Int J Sports Med.* 26: 1-8.
22. Roberts, A.D., Clark, S.A., Townsend, N.E., Anderson, M.E., & cols., (2003). Changes in performance, maximal oxygen uptake and maximal accumulated oxygen deficit after 5, 10 and 15 days of live high: train low altitude exposure. *Eur J Appl Physiol.* 88: 390-395.
23. Scott, C., Roby, F., Lohman, T. y Bunt, J., (1991). The Maximal Accumulated Oxygen Deficit as an Indicator of Anaerobic Capacity *Med Sci Sports Exerc.* 23: 618-624.