



REVISTA CUBANA DE MEDICINA DEL DEPORTE Y LA CULTURA FÍSICA

Versión On-line ISSN 1728-922X VOLUMEN 12, NÚMERO 1, La Habana, Enero-Abril, 2017

ARTICULO ORIGINAL

Título: Consumo máximo de O₂ de remeros venezolanos en altura moderada. Estimación mediante diferentes ecuaciones de predicción

Title: Maximum oxygen consumption in Venezuelans rowers at moderate altitude. Estimates using different prediction equations

Díaz Santos Z*, González Revuelta ME**.

* Especialista en Medicina del Deporte

**Dra C. Medicas, Máster en Control Médico del Entrenamiento, Especialista en Fisiología Normal y Patológica, Profesora Titular y Consultante, Investigadora Titular.

E-mail: mariele@inder.cu

Manuscrito recibido: 22 de Marzo de 2017

Aceptado para publicación: 25 de Marzo de 2017

RESUMEN

Se realizó un estudio longitudinal de cohorte transversal durante una estancia de tres meses y medio en altura moderada de 2200msnm, con 6 remeros (3 hombres y 3 mujeres) de la selección nacional de Venezuela, con el objetivo de describir el comportamiento del consumo máximo de oxígeno (MVO₂) durante el periodo prolongado de entrenamiento en altura, así como comparar los resultados de la estimación del MVO₂ utilizando la fórmula que brinda el software del remoergómetro Concept 2, con otras ecuaciones que incluyen variables predictivas diferentes. Para el estudio los remeros fueron sometidos a un test máximo de 2000 metros en el remoergómetro a mediados de la etapa de preparación general, y al inicio y final de la preparación especial. Se encontró que mientras los hombres, mostraron una tendencia discreta a mejorar los valores de este indicador, las mujeres mostraron una mayor estabilidad en sus valores. Además se realizó un estudio de regresión lineal para la obtención de una ecuación predictora del MVO₂ utilizando variables indirectas diferentes a las que brinda el Concept 2, comparándose luego los valores promedio de MVO₂ obtenidos en el remoergómetro, con los estimados por la nueva ecuación. Se concluyó que la estancia prolongada en altura no provocó un deterioro del MVO₂ de los remeros venezolanos. Tampoco se encontraron diferencias marcadas entre los valores de MVO₂ estimados por las diferentes ecuaciones utilizadas aunque la fórmula de Nilsen mostró una discreta tendencia a sobreestimar los valores. Los datos se muestran en tablas y gráficos.

Palabras claves; altura moderada, máximo consumo de oxígeno, estimación del MVO₂

ABSTRACT

A cross-sectional longitudinal study was conducted during a three and a half-month stay at moderate altitude of 2200ms with 6 rowers (3 men and 3 women) from the Venezuelan national team, in order to describe the behavior of Maximum Oxygen consumption (MVO₂) during the extended period of altitude training, as well as to compare the results of the MVO₂ estimation using the formula provided by the software of the rowingergometer Concept 2, with other equations that included different predictive

variables. For the study rowers were subjected to a maximum test of 2000 ms, at the middle of general preparation stage, and at the beginning and end of the special preparation. It was found that, while men, showed a discrete tendency to improve the values of this indicator, women showed greater stability in their values. In addition, a linear regression study was performed to obtain a predictive equation of MVO₂ using indirect variables different from those provided by Concept 2, comparing the average values of MVO₂ obtained in the rowingergometer with those, estimated by the new equation. It was concluded that the prolonged stay in altitude didn't cause a deterioration of the MVO₂ of the Venezuelan rowers. There were also no marked differences between the MVO₂ values estimated by the different equations used, although the Nilsen formula showed a discrete tendency to overestimate the values. The data are shown in tables and graphs.

Keywords: moderate altitude, maximum oxygen consumption , estimation of MVO₂

INTRODUCCIÓN

Las posibilidades de obtener energía de forma aerobia están íntimamente relacionadas con la capacidad de los sistemas cardiovascular y respiratorio, de satisfacer las demandas metabólicas de los tejidos en acción, de la cantidad de masa muscular que se utiliza, así como de las transformaciones energéticas de sus células^{1, 2}.

El metabolismo aerobio sustenta del 75% al 80% de la energía que se utiliza en una competencia de remo, por lo que se destaca la importancia del rendimiento funcional aerobio en este deporte¹.

De ahí que se considere que el máximo consumo de oxígeno representa las posibilidades de un sujeto de realizar una actividad física prolongada, con un alto aporte de oxígeno a la contracción muscular³.

Se han reportado efectos beneficiosos de las capacidades aerobias a nivel del mar después de una estancia en la altura. De forma general se ha planteado que el tiempo mínimo para que los efectos perduren es de una semana, y el máximo para garantizar un buen estado físico es de tres semanas⁴.

No existen antecedentes de estudios que aborden el comportamiento del MVO₂ durante el tiempo que los remeros venezolanos realizan una estancia prolongada superior a los tres meses entrenando en la altura moderada por lo que con este trabajo pretendemos describir el comportamiento de este indicador en estas condiciones .

Por otro lado si se tiene en cuenta que en estudios anteriores realizados en remeros cubanos los valores de MVO₂ estimados de forma indirecta mediante la fórmula que brinda el Concept 2 sobreestima el valor de este indicador con un porcentaje de error de estimación muy cercano al límite máximo aceptado⁵; otro objetivo de este trabajo fue determinar el comportamiento de otras ecuaciones predictivas diferentes a la que utiliza el remoergómetro para estimar el MVO₂ en condiciones de altura

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio longitudinal de cohorte transversal durante una estancia de tres meses y medio en México a una altura moderada de 2200 msnm, con 6 remeros elite de la selección nacional de Venezuela, 3 hombres y 3 mujeres con edades entre 21 y 25 años.

Los remeros fueron sometidos a un test máximo de 2000 ms en un remoergómetro Concept 2 en tres momentos de la estancia, la primera a los 37 días después de la llegada a la altura, (mediados de la preparación general,) y las otras dos determinaciones en pruebas realizadas a los 72 y 108 días de estancia en altura, (las que coincidieron con el inicio y final de la preparación especial.)

Se estimaron de forma indirecta el MVO_2 absoluto (l/min) y el MVO_2 relativo al peso (ml/kg/min) al final del test, mediante la fórmula de Nilsen $\text{Kcal} / \text{tiempo} \times 5^6$, que brinda el software del remoergómetro Concept 2.

Durante el test también se determinaron las siguientes variables que brinda el remoergómetro:

Peso corporal (Kg)

Gato calórico total (Kcal)

Potencia total alcanzada (Watts)

Tiempo total (min y segs)

Frecuencia cardíaca final (FCF lat/min)

Para el análisis de los resultados se utilizó el paquete estadístico SPSS V. 20 realizándose un “test no paramétrico de comparación de medias de varias muestras relacionadas” con un post hoc de Friedman para buscar diferencias entre los valores del MVO_2 , en cada sexo entre las 3 pruebas realizadas con un nivel de significación de $p \leq 0,05$

Se realizó además un análisis de regresión lineal, para un intervalo de confianza del 95%.estableciéndose diversas ecuaciones de predicción para el MVO_2 diferentes a la que brinda el Concept 2, determinándose sus niveles de precisión en relación a la estimación.

De todas las ecuaciones determinadas se seleccionó aquella que mostro los mejores valores de correlación entre variables, así como de coeficientes de determinación y error estándar de la estimación.

Para comprobar el comportamiento de la ecuación seleccionada procedimos a estimar mediante la misma el MVO_2 así como el MVO_2/KG , utilizando los valores promedio de las variables indirectas involucradas en la fórmula, en cada una de las tres pruebas

realizadas y en cada sexo, para posteriormente establecer las diferencias entre los resultados

Todos los remeros que formaron parte del estudio dieron su consentimiento informado para participar en el misma.

RESULTADOS

En las Tablas I y II (Ver Anexos) se muestran los valores promedio y desviaciones estándar de las variables que brinda el remoergómetro en ambos sexos y en las tres pruebas realizadas

En el caso de los hombres (Tabla I) se aprecia que fue en la segunda medición, es decir a inicio de la preparación especial (o fin de la preparación general), donde se obtuvieron los mejores resultados de la prueba ergométrica, a diferencia de lo que se aprecia en las mujeres, (Tabla II) donde en este mismo momento, los valores de MVO₂, se mostraron prácticamente sin modificación, en relación a la primera determinación con un discreto aumento hacia el final de la etapa.

En las Figuras 1 y 2 se muestran los comportamientos del MVO₂ (l/min) y del MVO₂/Kg (ml/kg/min) en las tres pruebas realizadas, en ambos sexos, observándose en los hombres el aumento más marcado de ambos indicadores a los 72 días de estancia en la altura, mientras que en las mujeres solo se observó una tendencia al aumento de éstos al final de la estancia en la altura.

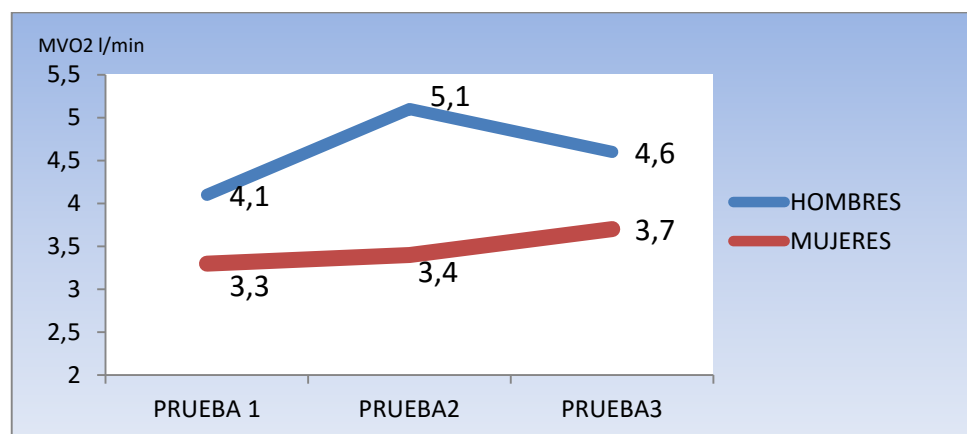


Figura 1 Comportamiento del MVO₂ según sexos durante las tres pruebas realizadas en condiciones de altura. Fuente: Base de datos del autor.

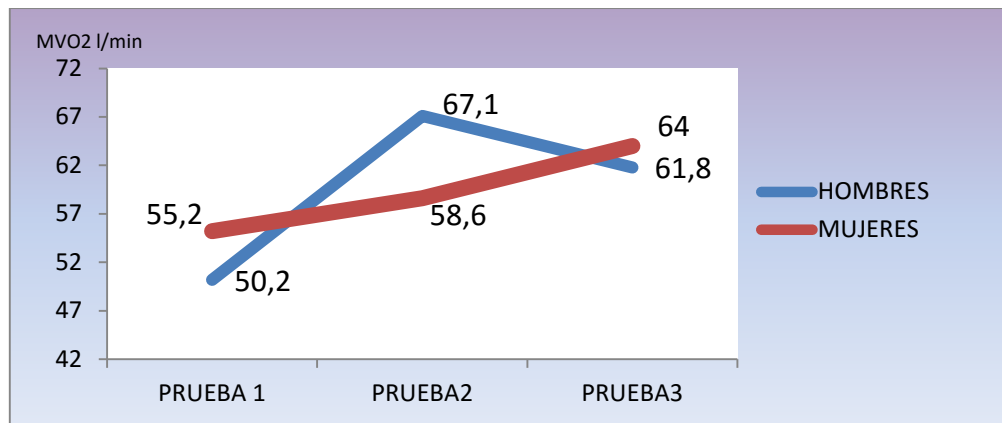


Figura 2 Comportamiento del MVO2/Kg según sexos durante las tres pruebas realizadas en condiciones de altura. Fuente: Base de datos del autor.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas para el MVO2 absoluto ni relativo para un nivel de significación de $p \leq 0,05$, entre las tres pruebas realizadas en ambos sexos.

En la Tabla III (Anexos) se aprecian los resultados del estudio de regresión lineal realizado con la finalidad de establecer ecuaciones de predicción para el MVO2.

Se observa que la ecuación que relacionó como variables independientes a las mismas variables utilizadas por la Ecuación de Nilsen, (Kcal y tiempo)⁶, pero además tomo en cuenta otras variables independientes como el sexo y la potencia arrojó los mejores resultados relacionados a la capacidad predictiva de la ecuación. (Ecuación No 6)

En la Tabla IV (Anexos) se reflejan los Valores de promedio de MVO2 absoluto y relativo obtenidos al final de la estancia en altura en ambos sexos, según la fórmula de Nilsen, según la ecuación de estimación seleccionada (ecuación 6) así como la diferencia entre las estimaciones brindadas por cada una de las ecuaciones.

Como puede observarse en ambos sexos, la ecuación de Nilsen ⁶ arrojó resultados de estimación ligeramente superiores a la ecuación propuesta, con la excepción de solo dos casos, un hombre y una mujer, en los que la diferencia entre los valores promedio de las estimaciones mostró un comportamiento opuesto.

DISCUSIÓN

Se conoce que la exposición a la altura tiene efectos beneficiosos en el rendimiento de los deportistas^{7,8}.

Para mantener un buen rendimiento a elevaciones superiores a los 2000 metros sobre el nivel del mar se requiere de un proceso de adaptación progresiva a la altura no solo en relación a la máxima elevación a alcanzar, para evitar los efectos adversos relacionados con la hipoxia⁷, sino también en relación a la forma de conducir el entrenamiento para que puedan producirse las adaptaciones deseadas y que den lugar a una mejora del rendimiento físico⁸.

Una estancia de entrenamiento de altura, puede resultar beneficiosa sobre todo para aquellos deportistas en los que sus valores de MVO₂ no son óptimos en el momento de subir a la altura^{9,10}.

Sin embargo también se sabe que la estadía prolongada en condiciones de altura puede generar efectos adversos que pueden conspirar contra el rendimiento deportivo tales como un efecto negativo sobre el sistema inmune, una mayor cantidad de la hormona del estrés Cortisol que puede provocar un estado de sobreentrenamiento así como la pérdida de masa muscular debido al aumento en la tasa metabólica.¹¹

Como se refleja en las tablas I y II y en las Figuras 1 y 2, los hombres mostraron los mejores valores de rendimiento funcional durante la prueba ergométrica así como de MVO₂ a los 72 días de estancia en altura (5,1l/min), para luego disminuir discretamente (4,6l/min) al final de la estancia mientras que las mujeres mostraron una tendencia ligera a incrementar los valores de sus indicadores aerobios desde la primera hasta la última medición (3,3 a 3,7 l/min) en la última medición, es decir alrededor de los 108 días de estancia en la altura, pero sin que se encontraran diferencias estadísticamente significativas para un nivel de $p \leq 0,05$ entre ninguna de las tres pruebas y en ningún sexo, lo que hacemos dependiente del pequeño número de casos que fueron estudiados, lo que además constituye una de las limitaciones que tiene este estudio.

No obstante, si tenemos en cuenta que la altitud lleva a una disminución de la presión parcial de oxígeno a nivel de la mitocondria, generando una disminución del MVO₂, y esta disminución del MVO₂ es más evidente a partir de los 1500 ms de altitud, y es del orden del 1% por cada 100 ms que se asciende por encima de esa altitud, podemos considerar que si los remeros venezolanos ascendieron a una altura de 2200 msnm, los valores encontrados en el momento de la primera medición (4,1 y 3,3 l/min hombres y mujeres respectivamente) podrían estar aproximadamente un 7% por debajo de sus valores habituales a nivel del mar como consecuencia de la hipoxia ambiental, siendo sus valores así estimados a nivel del mar, ligeramente superiores, es decir de (4,4 y 3,5 l/min en hombres y mujeres respectivamente), aunque también se sabe que existe gran variabilidad individual en esta disminución

observándose una relación directa, entre el MVO₂ a nivel del mar y su disminución con el ascenso en altitud (a mayor MVO₂ a nivel del mar es mayor su disminución en altitud)^{4,8}.

Por lo tanto después de realizar este análisis podemos plantear que la estancia prolongada en la altura de los remeros venezolanos, no produjo en ellos, un detrimento del valor del MVO₂, sino que por el contrario se evidenció una tendencia muy discreta a su aumento, hasta llegar a sobrepasar en 200 ml/min los hombres y en 100 ml/min las mujeres los valores estimados a nivel del mar, en la prueba realizada a los 108 días de estancia en la altura, lo que en gran medida refleja el proceso de adaptación prolongada a la altura por el efecto combinado del estímulo hipóxico mantenido y el plan de entrenamiento desarrollado durante las diferentes etapas del entrenamiento en la altura^{4,8}.

En cuanto al nivel de precisión para estimar el MVO₂ se sabe que la determinación directa consistente en el análisis de gases intercambiados mediante la respiración del deportista durante la prueba de esfuerzo, constituye el método más exacto, pero es también una realidad que no siempre existe la disponibilidad de un analizador de gases que permita hacer esta determinación.

Después de conocer los resultados del trabajo realizado por Martínez la Rosa y colaboradores en remeros elite cubanos con la finalidad de determinar el error de estimación del MVO₂ cuando se utiliza la Formula de Nilsen (que es la que trae incluida el software del remoergómetro Concept2)⁶, con relación a la determinación directa y en el que se comprobó que existe un porcentaje de error de estimación que se acerca o sobrepasa el límite superior permitido para dar credibilidad a los resultados que se obtienen en el momento de estimar el MVO₂, principalmente a expensas de que la fórmula de Nilsen tiende a sobreestimar el valor del MVO₂⁵, consideramos necesario determinar cómo se comporta el nivel de estimación del MVO₂ de esta ecuación en los remeros venezolanos que se estudiaron en condiciones de altura.

En el análisis de regresión realizado (Tabla III) pudimos comprobar que la ecuación que arrojó un mayor nivel de correlación (0,893) entre las variables indirectas o predictivas y el MVO₂ fue la que incluyó el sexo y la potencia del trabajo realizado además del gasto calórico y el tiempo de trabajo (ecuación No 6), variables estas dos últimas que también se encuentran presentes en la fórmula de Nilsen⁶.

Sin embargo el hecho de incluir dos variables más para el cálculo de estimación del MVO₂, no arrojó en los remeros estudiados, grandes diferencias con relación a los resultados obtenidos con la formula de Nilsen⁶, aunque si se observó que dicha

fórmula, tendió a sobreestimar ligeramente el resultado del indicador en el 67% de los casos estudiados, lo que se corresponde con lo planteado por Martínez la Rosa y cols⁵, aunque otra de las limitaciones de este trabajo para haber podido llegar a una conclusión más objetiva del resultado encontrado en relación a lo planteado por estos autores, es que no se dispuso de un analizador de gases para comparar con los resultados de la medición directa, además del número reducido de sujetos, lo que ya ha sido comentado.

Finalmente, se puede concluir que la estancia prolongada de entrenamiento en altura, no resultó perjudicial para la evolución del MVO₂, lo que seguramente estuvo condicionado por una buena conducción metodológica del entrenamiento, en relación a la dosificación de las cargas bajo la existencia del estímulo hipóxico. Además se concluye que aunque no se encontraron grandes diferencias en la estimación del MVO₂, utilizando una ecuación predictiva diferente a la fórmula de Nilsen⁶, si se apreció una ligera tendencia a la sobreestimación del MVO₂ utilizando esta última ecuación.

Referencias Bibliográficas

1. Secher N. The Physiology of rowing. J.Sport Science 1983; 1: 23-53.
2. Sherphard RJ. Science and medicine of rowing. J. Sport Science 1998; 16:603-20.
3. Alum CR. Remo. El consumo máximo de oxígeno de los atletas. Disponible en : www.Monografias.com/salud/deportes Ultimo acceso 15/Nov 2016
4. Venegas P. Entrenamiento en altitud: Fundamentos fisiológicos y efectos sobre el rendimiento. Arch Soc Chil Med Deporte 2000; 45:139-50.
5. Martínez la Rosa R, González R ME, Llera A. Determinación del error de estimación del MVO₂ obtenido mediante una remoergometría en remeros cubanos. Versión On-line Rev Cub Med Dep & Cul Fís Sept-Dic 2015; 10(3). Disponible en: <http://www.inder.cu/medicina deportiva/revista>
6. Nilsen Th, Ibarra R, Müller A. Manual de remo olímpico para entrenadores de clubs, Federación Internacional de Remo; Noviembre, 1999.
7. Levine B, Stray-Gundersen J. Positive effects of intermittent hypoxia (live high: train low) on exercise performance are mediated primarily by augmented red cell volume. J Appl Physiol 2005, 99:2053-55.
8. Venegas P. Ejercicio y entrenamiento en altitud. En: Nutrición, Fisiología y Ejercicio en Altitud. M. Sandoval y J. Bravo, Eds. Santiago de Chile, 1999.
9. López Calbet JA. Entrenamiento en altura e hipoxia intermitente. Encuentro sobre Alto Rendimiento Deportivo, Málaga, 2006.
10. Subiela DJV. Mitos y realidades del entrenamiento en altura. VITAE Academia Biomédica Digital Fac. de Medicina, Universidad Central de Venezuela. Enero-Marzo 2014 N°57 ISSN 1317-987X
11. Nybo M. Advantages & Disadvantages of Altitude Training. Disponible en: <http://www.livestrong.com/article/354736-advantages-disadvantages-of-altitude-training> Ultima actualización. Mar.13, 2014. Ultimo acceso 15/Nov/2016.

ANEXOS

Tabla I. Medias y desviaciones estándar de las variables estudiadas en los hombres

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
PESO (Kg)	77,1 ± 8,4	76,6 ± 8,9	75,0 ± 6,5
Gasto Calórico (KCAL)	161,1±5,4	163,1 ± 6,2	147,0 ± 17,0
POTENCIA (watts)	353 ± 19,8	360,5 ± 23,3	354 ± 22,5
TIEMPO(min y seg)	6,38 ± 0,07	6,30 ± 6,42	7,05 ± 1,2
FCF (lat/min)	175 ± 16,2	185 ± 5,6	175 ± 10,5
MVO2 (L/min)	4,1 ± 1,5	5,1 ± 0,26	4,6 ± 0,5
MVO2/Kg ml/kg/min	50,2 ± 14,2	67, 1 ± 4,4	61,8 ± 10,5

Tabla II. Medias y desviaciones estándar de las variables estudiadas en las mujeres

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
PESO (Kg)	60 ± 1,0	58 ± 0,7	57,8 ± 0,72
Gasto Calórico (KCAL)	130,1± 1,7	128,5 ±2,2	138,3 ± 7,6
POTENCIA (watts)	201,6 ± 11,7	210,3 ± 7,1	222,3 ± 7,6
TIEMPO(min y seg)	7,2 ± 1,5	7,5 ± 0,5	7,4 ± 0,05
FCF (lat/min)	181,6 ± 4,9	182,6 ± 10,5	184 ± 10,7
MVO2 (L/min)	3,3 ± 1,5	3,4 ± 0,08	3,7 ± 0,17
Mvo2/Kg ml/Kg/min	55,2 ± 3,1	58,6 ± 1,7	64,0 ± 3,8

Tabla III. Resultados del estudio de regresión lineal entre las variables funcionales estudiadas .Ecuaciones de estimación del MVO2

VARIABLES INCLUIDAS EN LAS ECUACIONES	R	R CUADRADO	R CUADRADO CORREGIDO	EEE
1. PESO, POTENCIA, SEXO	0,831	0,691	0,614	0,495
2. PESO, POTENCIA, SEXO TIEMPO	0,851	0,725	0,624	0,489
3. PESO, POTENCIA, SEXO KCAL	0,859	0,737	0,642	0,477
4. PESO, POTENCIA, SEXO , FCF	0,871	0,759	0,672	0,457
5. PESO, POTENCIA, SEXO , FCF Y TIEMPO	0,891	0,794	0,691	0,443
6. KCAL, TIEMPO, SEXO Y POTENCIA	0,893	0,798	0,725	0,418

MVO2 (l/min) = + 3,205 (SEXO) +0,029 (WATTS)+ 0,546 (TIEMPO) +0,027(KCAL) – 16,826

Masculino = sexo 1 Femenino =sexo 2

Tabla IV. Valores de MVO2 absoluto y relativo obtenidos al final de la estancia en la altura en ambos sexos según la fórmula de Nilsen, el resultado estimado por la ecuación predictiva 6 y la diferencia entre los resultados entre ambas ecuaciones en cada uno de los remeros estudiados

No de caso /sexo	Formula de Nielsen		Estimación ECUACIÓN 6		Dif/ecuaciones	
	MVO2 l/min (a)	MVO2 /kg ml/kg/min (b)	MVO2 l/min (c)	MVO2 /Kg ml/kg/min (d)	c-a l/min	d-b ml/kg/min
Hombres	4,1	50,2	4,4	57,7	0,3	7,5
	5,1	67,1	4,6	61	- 0,5	-6,1
	4,6	61,8	4,5	59,5	- 0,1	-2,3
Mujeres	3,3	55,2	2,8	47,9	-0,5	-7,3
	3,4	58,6	3,2	55,9	-0 ,2	-2,7
	3,6	64	3,8	65,8	0,2	1,8