



REVISTA CUBANA DE MEDICINA DEL DEPORTE Y LA CULTURA FÍSICA

Versión On-line ISSN 1728-922X

VOLUMEN 11, NÚMERO 3, La Habana, septiembre-diciembre, 2016

TRABAJO ORIGINAL

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

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

Díaz Santos Zamira* , González Revuelta María Elena** .

* Especialista en Medicina del Deporte

** Dra. C. Médicas, Máster en Control Médico del Entrenamiento, Especialista en Fisiología Normal y Patológica, Profesora Titular y Consultante, Investigadora Titular. mariele@inder.cu

Manuscrito recibido: 2 de Dic. de 2016

Aceptado para publicación: 8 de Dic. de 2016

RESUMEN

Se realizó un estudio longitudinal de cohorte transversal durante una estancia de tres meses en altura moderada, con 6 remeros de elite de la selección nacional de Venezuela. Los objetivos fueron describir el comportamiento del MVO₂ durante el periodo de entrenamiento en condiciones de altura, así como comparar los resultados de la estimación del MVO₂ utilizando la fórmula predictiva que brinda el software del remoergómetro Concept 2, con otras ecuaciones predictivas que incluyen variables diferentes a la ecuación que se utiliza habitualmente. Para el estudio los remeros fueron sometidos a un test máximo de 2000 ms en un remoergómetro Concept 2 en tres momentos de la estancia en altura. Se estimó el MVO₂, en todas las pruebas mediante la fórmula de Nilsen que brinda el remoergómetro encontrándose que todos los remeros mostraron una tendencia a mejorar los valores de este indicador principalmente los hombres a los 60 días de estancia en la altura. Además se realizó un estudio de regresión lineal para la obtención de una ecuación predictivas 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 en altura tuvo un impacto positivo en el rendimiento aerobio de los remeros venezolanos, no encontrándose diferencias marcadas entre los valores estimados por las diferentes ecuaciones utilizadas. Los datos se muestran en tablas y gráficos.

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

ABSTRACT

A longitudinal cross-sectional study cohort was conducted during a three-month stay at moderate altitude, with 6 elite rowers from the national team of Venezuela. The aims were to describe the behavior of MVO₂ during the period of training at moderate altitude conditions, and compare the results of MVO₂ estimation using Nielsen's predictive formula that provides rowing ergometer Concept 2's software with other predictive equations that include different variables from the equation commonly used. All rowers were subjected to a maximum test of 2000 ms in a Concept 2 rowing ergometer at three moments of stay in altitude. The MVO₂ estimated, in all tests by the Nielsen's formula founded that all rowers showed a tendency to improve the values of this indicator mainly in men at 60 days of altitude stay. In addition, a linear regression study for obtaining a MVO₂ predictive equation was made using various indirect variables that provides the

Concept 2, comparing lately the average values of MVO₂ obtained in the rowing ergometer, with estimates for the new equation. It was concluded that the stay in altitude had a positive impact on aerobic performance of Venezuelan rowers, without marked differences between values estimated by different equations used. The data are shown in tables and graphs..

Keywords: moderate height, 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 de tres meses entrenando en la altura moderada por lo que con este trabajo pretendemos describir el comportamiento de este indicador 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 en México a una altura moderada de 2800 msnm, con 6 remeros elite de la selección nacional de Venezuela, con edades entre 21-25 años, 3 hombres (2 PL y 1 PA) y 3 mujeres (2 PA y 1 PL).

Los remeros fueron sometidos a un test máximo de 2000 metros en un remoergómetro Concept 2 en tres momentos de la estancia, la primera un mes después de la llegada a la altura, y las otras dos determinaciones en pruebas realizadas con 30 días de separación entre ellas.

Durante el test 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)

Se estimó también de forma indirecta el MVO₂ absoluto (l/min) al final del test mediante la fórmula $\text{Kcal} / \text{tiempo} \times 5^6$, que brinda el software del remoergómetro Concept 2.

Se realizó 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 MVO₂ en cada sexo entre las 3 pruebas realizadas para un nivel de significación de $p = 0,05$

Se realizó además un análisis de regresión lineal, para un intervalo de confianza del 95%.estableciéndose diversas ecuaciones de predicción para el MVO₂ 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 mostró 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 se procedió a estimar

mediante la misma el MVO2 así como el MVO2/KG, utilizando los valores promedio de las variables indirectas involucradas en la formula, en cada una de las tres pruebas realizadas y en cada sexo, para posteriormente establecer las diferencias entre los resultados

Para el procesamiento estadístico se utilizó el paquete estadístico SPSS 20.0 Todos los remeros que formaron parte del estudio dieron su consentimiento informado para participar en la 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 los 60 días de estancia en la altura, donde se obtuvieron los mejores resultados de la prueba ergométrica, a diferencia de lo que se aprecia en las mujeres, (Tabla II) donde los mejores resultados se producen hacia el final de la etapa.

En las figuras 1 y 2 se muestran los comportamientos del MVO2 (l/min) y del MVO2/Kg en las tres pruebas realizadas, en ambos sexos, observándose en los hombres el aumento más marcado de ambos indicadores a los 60 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.

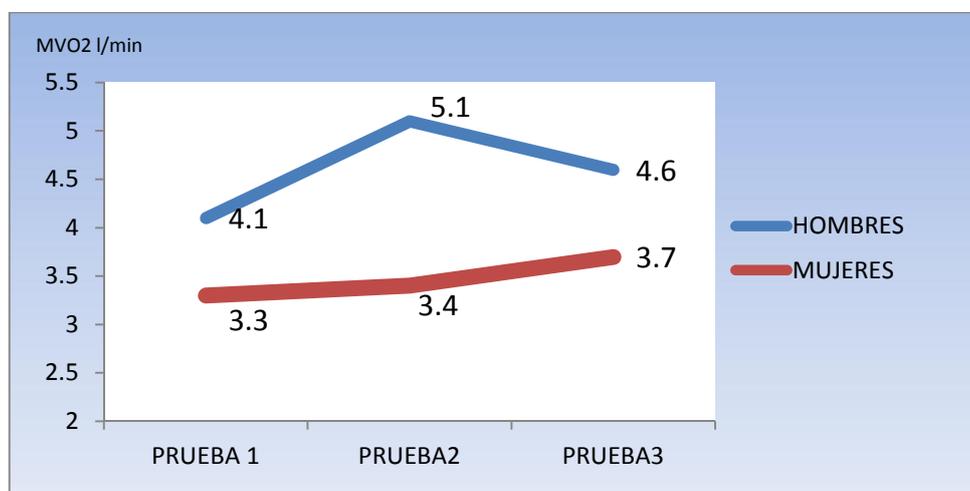


Figura 1. Comportamiento del MVO2 según sexos durante las tres pruebas realizadas

en condiciones de altura. Fuente: Base de datos del autor.

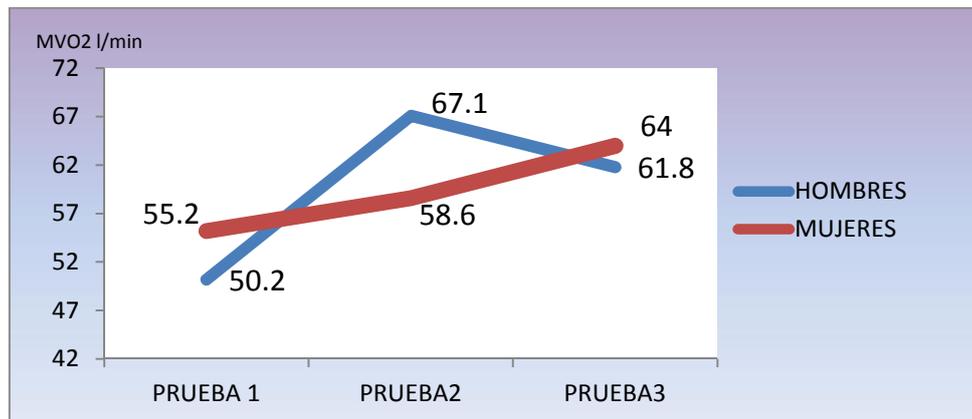


Figura 2. Comportamiento del MVO2/Kg según sexos durante las tres pruebas realizadas en condiciones de altura. Fuente: Base de datos del autor.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas para el MVO2 absoluto ni relativo para un nivel de significación de $p < 0,05$, entre las tres pruebas realizadas en ambos sexos lo que hacemos dependiente del pequeño número de casos que fueron estudiados, lo que además constituye una de las limitaciones que tiene este estudio.

En la Tabla III (Ver 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 que además toma 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 (Ver anexos) se reflejan los valores 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 (No. 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 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 2500 ms 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 metabólica¹¹.

Como se refleja en las tablas I y II (Ver anexos) y en los gráficos 1 y 2, los hombres mostraron los mejores valores de rendimiento funcional durante la prueba ergométrica así como de MVO₂ a los 60 días de estancia en altura, mientras que las mujeres mostraron una tendencia ligera a incrementar los valores de sus indicadores aerobios en la última medición, es decir alrededor de los 90 días de estancia en la altura.

Consideramos que esta diferencia entre ambos sexos en cuanto al momento de presentarse los mejores resultados del rendimiento funcional aerobio, podría ser una consecuencia, de la actividad volitiva de los hombres y mujeres para desarrollar el máximo esfuerzo en cada uno de las pruebas realizadas.

No hemos encontrado valores de referencia del MVO₂ de otros remeros en condiciones de altura por lo que no podemos proceder a la comparación. Tampoco se dispone de los valores de estos parámetros en los remeros estudiados antes de subir a la altura, lo cual constituye otra limitación de este trabajo.

Al ser el número de remeros venezolanos tan reducido, no se tomó en cuenta para este estudio la categoría en la que compiten, no obstante, si comparamos el valor promedio de MVO₂ estimado en los remeros venezolanos a los 60 días de estancia en altura (5,1 l/min) con el valor encontrado en remeros elites cubanos, (6,16 l/min y 5,24 l/min en hombres peso abierto y peso ligeros, respectivamente a nivel del mar⁵, y el valor encontrado en las remeras venezolanas a los 90 días de su estancia en altura (3,7 l/min) con los valores reportados en remeras cubanas de elite a nivel del mar (peso abierto y peso ligero (4,25 l/min y 3,95 l/min) respectivamente)⁵ nos damos cuenta que los remeros venezolanos se encuentran muy cercanos al valor de MVO₂ de remeros elites cubanos de categoría peso ligero medidos a nivel del mar.

Debemos hacer notar, no obstante, que las pruebas de significación estadística realizadas para encontrar diferencias entre las tres pruebas realizadas no arrojaron diferencias significativas para un nivel de $p < 0,05$ en ningún sexo.

Aun cuando los resultados arrojados durante las tres pruebas realizadas apunta hacia el hecho de que los hombres se reservaron durante la ejecución del test máximo de 2000 ms en la última prueba, no realizando el máximo esfuerzo, como metodológicamente debió haber sido^{12,13,14}, podemos plantear que la estancia en la altura de los remeros venezolanos, produjo una ligera mejoría del MVO₂, no produciéndose otros efectos adversos, derivados de una estadía prolongada en altura más allá del tiempo habitualmente recomendado de tres semanas para obtener beneficios al competir a nivel del mar⁸.

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.

Con los resultados arrojados durante las tres pruebas realizadas en la altura y a pesar de la situación observada en el caso de los hombres en la última prueba, podemos

concluir que la estancia en la altura resulto beneficiosa en estos deportistas, aun cuando se prolongó más allá de lo que habitualmente se reporta para la obtención de beneficios en el momento de competir a nivel del mar, lo que a nuestro juicio podría estar en correspondencia con el efecto combinado de la hipoxia y de un manejo adecuado del régimen de entrenamiento en relación al proceso de adaptación prolongada a la altura⁸.

Después de conocer los resultados del trabajo realizado por Martínez la Rosa y cols⁵ 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 Concept 2), 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 formula 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 pudimos comprobar que la ecuación que arrojó un mayor nivel de correlación (0,893) entre las variables indirectas o predictoras y el MVO₂ fue la que incluyó el sexo y la potencia del trabajo realizado además del gasto calórico y el tiempo de trabajo, variables estas dos últimas que también se encuentran presentes en la formula de Nilsen. Sin embargo el hecho de incluir dos variables mas para el cálculo de estimación del MVO₂, no arrojó en los remeros estudiados por nosotros, grandes diferencias con relación a los resultados obtenidos con la fórmula de Nilsen, aunque sí se observó que la fórmula de Nilsen sobreestima 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.

No obstante, se puede concluir que la estancia prolongada de entrenamiento en altura, resultó 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. También se concluye que aunque no se encontraron grandes diferencias en la estimación del $\dot{M}VO_2$, utilizando una ecuación predictora diferente a la fórmula de Nilsen, si se apreció una ligera tendencia a la sobreestimación 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](http://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, Lleras A. Determinación del error de estimación del MVO₂ obtenido mediante una remoergometría en remeros cubanos. Rev Cub Med Dep & Cul Fís Sept-Dic 2015; 10(3) [consultado 10 Enero 2016]; Disponible en:: http://www.inder.cu/medicina_deportiva/revista
6. Nilsen T, 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 Biomedica 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>. Última actualización: 13/Mar/2014. Ultimo acceso: 15/Nov/2016
12. Urdampilleta OA. Análisis de los requerimientos fisiológicos y características de las competiciones de remo olímpico. efdeportes.com. Octubre 2010; Año 15, N° 149, : [citado 12 Nov 2010]; Disponible en: URL: <http://www.efdeportes.com/>
13. Ingham SA, Whyte GP, Jones K, Nevill AM. Determinants of 2,000 m rowing ergometer performance in elite rowers. Eur J Appl Physiol. 2002; 88(3):243-
14. Cosgrove MJ, Wilson J, Watt D, Grant SF. The relationship between selected physiological variables of rowers and rowing performance as determined by a 2000 m ergometer test. J Sports Sci. 1999; 17(11):845-52

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

Fuente: Base de datos del autor

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

Fuente: Base de datos del autor

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

VARIABLES INCLUIDAS	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

Fuente: Base de datos del autor

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 en cada uno de los remeros estudiados.

No de caso /sexo	Formula de Nielsen		Estimación ECUACIÓN 6		Dif/ecuaciones	
	MVO2 l/min (a)	MVO2 ml/kg/min (b)	MVO2 l/min (c)	MVO2 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

Fuente: Base de datos del autor