

# Capacidad aeróbica máxima de nadadores a grandes alturas

Jere D. Haas,<sup>2</sup> Lawrence P. Greksa,<sup>2</sup> Thomas L. Leatherman,<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Geraldine Moreno-Black,<sup>2</sup> Luis Paredes Fernandez<sup>3</sup>  
Mario Paz Zamora,<sup>1</sup> Hilde Spielvogel<sup>1</sup>

1 Instituto Boliviano de Biología de Altura

2 Universidad Cornell - U.S.A.

3 Clínica Nacional del Deporte

## SUMMARY

*The sample for this study consisted of 25 males and 19 females between the ages of 8.8 and 19.5 years. The subjects were healthy, well nourished and trained swimmers residing in La Paz, Bolivia (mean altitude 3700 m.). The purpose of this study was to provide normative values for the work capacity of high-altitude youths. Mean  $\dot{V}O_{2max}$  was 46.9 ml/kg/min in males and 39.3 ml/kg/min in females.  $\dot{V}O_{2max}$  increased significantly with age in males but not in females. Mean  $\dot{V}O_{2max}$  tended to be 10-20 o/o lower in the swimmers than in sea-level athletes.*

## RESUMEN

Fueron estudiados 25 varones y 19 mujeres de edades entre los 8,8 y 19,5 años. Los sujetos eran nadadores sanos, bien alimentados y entrenados residentes de la ciudad de La Paz (promedio de altura 3600 m.). El propósito de este estudio era establecer los valores de norma para la capacidad de trabajo de jóvenes habitantes de altura. El  $\dot{V}O_2$  max promedio era de 46.9 ml/kg/min en los varones y de 39.3 ml/kg/min en las mujeres. Teniendo en cuenta el  $\dot{V}O_2$  max en función de la edad éste aumenta significativamente en los varones, pero no en las mujeres; por otra parte fué de 10 a 20 o/o más bajo en los nadadores que en atletas a nivel del mar.

**PALABRAS CLAVE:** Capacidad aeróbica, nadadores de la altura, adaptación durante el desarrollo.

## INTRODUCCION

La capacidad aeróbica máxima o consumo máximo de oxígeno ( $\dot{V}O_{2max}$ ) mide la capacidad funcional del

sistema cardio-respiratorio y de distribución celular del  $O_2$  durante el esfuerzo ( $\dot{W}$ ), por lo tanto puede ser utilizada para evaluar la capacidad de adaptación a la hipoxia. Sin embargo, poco se sabe sobre el  $\dot{V}O_2$  max de niños y adolescentes residentes de altura.

## MATERIAL Y METODOS

Los nadadores pertenecían a los dos clubes de natación más grandes de La Paz. Las edades estaban comprendidas entre los 8.8 y 19.5 años para los varones y entre los 9.5 y 14.7 años para las mujeres, pertenecían a familias de clase social media y alta y de ascendencia predominantemente Europea, siendo todos jóvenes normales, en buen estado nutricional y entrenados, aunque no como atletas de elite. Cuatro hombres y seis mujeres habían nacido a nivel del mar, pero sus familias emigraron a La Paz antes o durante su tercer año de vida. Los nadadores restantes eran nativos y residentes permanentes de alturas por encima de los 3000 m.

Su entrenamiento era de un promedio de 12 horas por semana (Tabla 1).

TABLA 1  
CARACTERISTICAS DE LOS NADADORES

|  | VARONES (N = 25) |      | MUJERES (N = 19) |      |
|--|------------------|------|------------------|------|
|  | $\bar{x}$        | D.S. | $\bar{x}$        | D.S. |
| EDAD (años)                                      | 14.1             | 3.0  | 12.2             | 1.6  |
| TALLA (cm)                                       | 154.6            | 14.8 | 146.0            | 9.9  |
| PESO (kg)  | 48.2             | 12.1 | 39.9             | 9.5  |
| PLIEGUE TRICIPITAL (mm)                          | 9.6              | 4.3  | 12.9             | 3.8  |
| CIRCUNFERENCIA MUSCULAR DEL BRAZO calculada (cm) | 27.7             | 3.8  | 25.3             | 2.7  |
| ENTRENAMIENTO (horas/semana)                     | 12.8             | 3.8  | 11.3             | 3.6  |
| <b>RESPUESTAS AL ESFUERZO MAXIMO</b>             |                  |      |                  |      |
| FRECUENCIA CARDIACA (lat/min)                    | 189              | 6    | 192              | 7    |
| COCIENTE RESPIRATORIO                            | 1.19             | 0.08 | 1.20             | 0.07 |
| $\dot{V}E_{BTPS}$ (l/min)                        | 113.7            | 36.8 | 81.2             | 17.2 |
| $\dot{V}O_{2max}$ (l/min)                        | 46.9             | 6.0  | 39.3             | 3.8  |
| $\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg/min)                    | 49.7             | 5.1  | 32.7             | 3.1  |
| EQUIVALENTE VENTILATORIO                         | 12.2             | 4.2  | 12.7             | 3.8  |
| PULSO DE OXIGENO (ml/latido)                     |                  |      |                  |      |
| FRECUENCIA RESPIRATORIA (respiraciones/min)      | *57              | 8    | 56               | 9    |

\*N = 23

Los nadadores mayores entrenaban semanalmente 2 a 3 veces más que los menores.

Las pruebas de esfuerzo se hicieron en el Laboratorio de Bioenergética de la Clínica Nacional del Deporte, situada en el Estadio Olímpico de La Paz a una altura de alrededor de 3.600 m. Los valores promedios y desviación standard de los parámetros ambientales fueron de  $449.0 \pm 1.2$  mm Hg para la presión barométrica,  $19.5 \pm 2.0^\circ\text{C}$  para la temperatura ambiental en el laboratorio, y  $51.7 \pm 12.1$  o/o para la humedad relativa.

Los sujetos fueron sometidos a un test de esfuerzo progresivo en una estera rodante (marca Collins p3800). Como carga inicial de trabajo en el sexo femenino se utilizó una inclinación del 3 o/o con una velocidad de  $3.5 \text{ km h}^{-1}$  y  $4.0 \text{ km h}^{-1}$  para los varones. La velocidad y la inclinación fueron incrementadas por  $0.5 \text{ km h}^{-1}$  y 3 o/o respectivamente cada 3 minutos para los primeros 12 minutos. Al final de este protocolo submáximo, la carga fué incrementada para que el sujeto corriera hasta su agotamiento. En este tiempo se recolectaron una a tres muestras consecutivas de 30 seg. de aire espirado en bolsas Douglas. La mayoría de los sujetos respiraban a través de una válvula Collins 2-vías-J, pero una válvula Otis McKerrow fué necesario utilizar en los varones mayores. Los volúmenes de aire espirado en las bolsas Douglas fueron determinados mediante un gasómetro para gas seco marca Singer y las fracciones de oxígeno y anhídrido carbónico en el aire espirado fueron determinadas mediante analizadores Beckman C-2 y LB-2, respectivamente. El  $\text{CO}_2$  espirado de cada ciclo fué inscrito en un registrador Hewlett Packard 7544, que al mismo tiempo

permitía el cálculo de la frecuencia respiratoria (f). El ECG fué registrado mediante un electrocardiógrafo Funbec, con los electrodos colocados en posición CM5 para la determinación de la frecuencia cardíaca. En cada sujeto fueron medidos los parámetros standard: capacidad aeróbica máxima, ventilación pulmonar, cociente respiratorio, equivalente ventilatorio, ( $\dot{V}E_{BTPS}/\dot{V}O_2 \text{ STPD}$ ) y el pulso de oxígeno ( $\dot{V}O_2 \text{ STPD}/\text{frecuencia cardíaca} \times 1000$ ) Los valores promedios y su desviación standard se muestran en la Tabla 1. Los análisis estadísticos se hicieron con SPSS (Nie, Hull, Jenkins, Steinbrenner y Bent, 1975).

## RESULTADOS

Las medidas antropométricas básicas están incluidas en la Tabla 1. Haciendo la comparación respectiva, los nadadores tienden a ser más altos y pesados que los niños Quechuas, pero más bajos y livianos que niños de los EE.UU.

La frecuencia cardíaca máxima, la frecuencia respiratoria, el cociente respiratorio y el equivalente ventilatorio no cambian significativamente con la edad tanto en los varones como en las mujeres ( $P > 0.05$ ) y no fueron significativamente diferentes entre los sexos ( $P > 0.05$ ).  $\dot{V}O_{2max}$  (l/min),  $\dot{V}E$  y pulso de oxígeno aumentan significativamente con la edad tanto en los varones como en las mujeres, pero las relaciones del cambio con la edad en estos parámetros no difieren significativamente teniendo en cuenta el sexo. El  $\dot{V}O_{2max}$  (ml/kg/min) es independiente de la edad en las mujeres ( $-0.51 \text{ ml/kg/min/año}$ ), pero se incrementa significativamente con la edad en los varones ( $1.63 \text{ ml/kg/min/año}$ ), de tal manera que la relación de incremento con la edad es mayor en los varones que en las mujeres ( $P \leq 0.05$ ). También existía una relación más fuerte entre  $\dot{V}O_{2max}$  (ml/kg/min) en los varones ( $r^2$  ajustado = 0.67) que en las mujeres ( $r^2$  ajustado = -0.01).

Entre los nadadores 10 habían migrado a la altura a temprana edad y por lo tanto, no habían sido expuestos a la hipoxia durante toda su vida. Con el propósito de determinar si este factor afectaba el crecimiento físico, o el desarrollo de la capacidad de trabajo en estos jóvenes, se hicieron análisis de covarianza teniendo en cuenta la edad entre los nadadores nacidos a nivel del mar y los nativos de altura. Talla, peso, pliegue tricípital y las ocho medidas de respuesta al esfuerzo máximo enumeradas en la Tabla 1 fueron comparadas entre estas muestras. El cociente respiratorio era significativamente más alto ( $P \leq 0.05$ ) en los varones nacidos a nivel del mar, y la frecuencia respiratoria más baja ( $P \leq 0.05$ ) en las mujeres nacidas a nivel del mar. Sin embargo, dado el número de comparaciones, estas dos diferencias podrían haber sido circunstanciales.

## DISCUSION

Todos los datos comparativos sobre consumo máximo de  $\dot{V}O_2$  (ml/kg/min) en nativos de grandes alturas se refieren a varones y según nuestros conocimientos, el único estudio en niños fue realizado por Andersen (1973), quien examinó niños etiopíes no entrenados de 10 y 12 años de edad quienes vivían a una altura de 3000 m., él encontró un  $\dot{V}O_2$  promedio de alrededor de 40 ml/kg/min, para ambos grupos etareos.

El  $\dot{V}O_2$  promedio en nadadores varones de 10 años demostrado por la ecuación de regresión del  $\dot{V}O_2$  en función de la edad, fué similar al  $\dot{V}O_2$  de los niños etiopíes, mientras que los nadadores de 12 años tenían un  $\dot{V}O_2$  promedio de 3-4 ml/kg/min más grande que los niños etiopíes.

Otros estudios de  $\dot{V}O_2$  max, en la altura se refieren sobre todo a adolescentes mayores o jóvenes adultos. Estos datos por lo tanto, son solamente comparables con los nadadores mayores de nuestro estudio.

Coudert y Paz Zamora (1970) examinaron jugadores de futbol profesionales y estudiantes, ambos grupos con una edad promedio de 23 años y encontraron un  $\dot{V}O_2$  promedio de alrededor de 59 ml/kg/min que es similar al  $\dot{V}O_2$  de los nadadores varones mayores. Grover y col (1967) examinaron corredores nativos de Leadville (edad promedio 17 años) a 3100 m. de altura y reportaron un  $\dot{V}O_2$  promedio de 47 ml/kg/min, o alrededor de 5 ml/kg/min menos que el promedio de los nadadores varones de 17 años. Buskirk (1978), calculó un  $\dot{V}O_2$  max promedio para campesinos nativos de la altura de alrededor de 46 ml/kg/min, también bastante por debajo del  $\dot{V}O_2$  de los nadadores mayores. El  $\dot{V}O_2$  max (ml/kg/min) fué también comparado entre los nadadores de La Paz y nadadores de nivel del mar examinados en estera rodante (Holmer, 1972). Por lo general, el  $\dot{V}O_2$  max tiende a ser 10 - 20 o/o más bajo en los nadadores de La Paz que en los nadadores de nivel del mar. Probablemente los atletas de nivel del mar fueron sometidos a un proceso de selección y a un programa de entrenamiento más riguroso que los nadadores de La Paz, y por lo tanto, es difícil evaluar hasta qué punto el  $\dot{V}O_2$  max (ml/kg/min) de los nadadores de La Paz se debe a limitaciones impuestas por la hipoxia hipobárica. Sin embargo, el  $\dot{V}O_2$  max de los nadadores varones mayores fué similar al  $\dot{V}O_2$  max de la muestra Coudert y Paz Zamora (1970) y fue más grande que el  $\dot{V}O_2$  max de los corredores examinados por Grover y col. (1967), lo que indica que los nadadores varones mayores estaban bien entrenados. Esto sugiere que en la diferencia podría intervenir la hipoxia hipobárica.

Por lo general, se encontró que el  $\dot{V}O_2$  max (ml/kg/min) aumentaba con la edad en niños entrenados (Ekblom, 1969; Parizkova, 1977; Sprynarova y col. 1978). El  $\dot{V}O_2$  max (ml/kg/min) aumenta significativamente con la edad en los varones de La Paz, no así en las mujeres, este hallazgo sugiere que el nivel de entrenamiento de las mujeres podría haber sido mal reportado. Empero, también puede haber una mala correlación entre la edad cronológica y la edad biológica en las mujeres.

Los  $\dot{V}O_2$  max (ml/kg/min) de varones adultos nativos de la altura, tanto indígenas como europeos, son similares a los  $\dot{V}O_2$  max de adultos del nivel del mar, si ambos grupos son examinados en su ambiente acostumbrado (Buskirk, 1976), Mazess (1969) y Frisancho y col. (1973) sugieren que el consumo máximo de  $\dot{V}O_2$  relativamente alto, en los adultos de la altura, podría ser explicado sobre todo por existir una exposición a la hipoxia hipobárica durante el crecimiento y desarrollo. Shephard (1978) reportó como valores normales de  $\dot{V}O_2$  max para jóvenes no entrenados de nivel del mar, entre los 8 y 18 años: 48 a 50 ml/kg/min en varones y 38 a 42 ml/kg/min en mujeres. La revisión de la ecuación de regresión del  $\dot{V}O_2$  en función de la edad sugiere que, por lo general, los  $\dot{V}O_2$  max de los nadadores de La Paz son más bajos que la norma del nivel del mar hasta una edad de alrededor de 16 años, mientras que las nadadoras han alcanzado la norma de nivel del mar ya a la edad de 10 años, a pesar de que las mujeres parecen estar menos bien entrenadas. Dada la similitud de los  $\dot{V}O_2$  max de los adultos residentes en la altura y a nivel del mar, la forma de incremento del  $\dot{V}O_2$  max con la edad en los varones podría reflejar no solamente un efecto de entrenamiento sino también una adaptación continua a la hipoxia hipobárica durante el crecimiento. Igualmente, la falta de diferencia significativa del  $\dot{V}O_2$  max (ml/kg/min) entre los nadadores nacidos en la altura y los migrantes a la altura a una edad temprana está de acuerdo con el hallazgo de Frisancho y col. (1973). Finalmente, el alcance más temprano de las normas de nivel del mar de  $\dot{V}O_2$  max en las mujeres de La Paz en comparación con los varones, sugiere que las mujeres podrían responder al stress de la hipoxia hipobárica a una edad más temprana que los varones.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio no hubiera sido posible sin la colaboración de varias organizaciones bolivianas, tanto gubernamentales como privadas, incluyendo al Ministerio de Previsión Social y Salud Pública, la Clínica Nacional del Deporte, el Instituto Boliviano de Biología de Altura y la Asociación de Natación de La Paz. Deseamos expresar nuestros más sinceros agradecimientos a estas organizaciones y también a los dirigentes y nadadores de los Clubes Tenis La Paz y The Strongest.

Esta investigación ha sido apoyada por una beca de la National Science Foundation (BNS 80-17476) y ha sido publicada in extenso bajo el título "Maximal Aerobic Power in Trained Youths at High Altitude" en "Annals of Human Biology", 1982, Vol. 9 No. 3, 201-209.

### BIBLIOGRAFIA

- 1.- ANDERSEN K.L. The effect of altitude variation on the physical performance capacity of Ethiopian men, Part II, Development of physical performance capacity during adolescence. *Physical Fitness*, edited by V. Seliger (Prague: Charles University), pp. 34-36, 1973.
- 2.- BUSKIRK, E.R. Work performance of newcomers to the Peruvian higlands. In *Man in the Andes: A Multidisciplinary Study of High-Altitude Quechua* edited by P.T. Baker and M.A. Little (Stroudsburg, P.A.: Dowden, Hutchinson & Ross) pp. 283-299, 1976.
- 3.- COUDERT J. y PAZ ZAMORA M. Estudio del consumo de oxígeno en La Paz (3700 m) sobre un grupo de atletas nativos en la altura. *Anuario del Instituto Boliviano de Biología de Altura* (La Paz, Bolivia), 1970.
- 4.- EKBLOM B. Effect of physical training in adolescent boys. *Journal of Applied Physiology*, 27, 350-355, 1969.
- 5.- FRISANCHO A.R., MARTINEZ C., VELASQUEZ T., SANCHEZ J. and MONTTOYE H. Influence of developmental adaptation on aerobic capacity at high altitude. *Journal of Applied Physiology* 34, 176-180, 1973.
- 6.- GROVER R.F., REEVES J.T., GROVER E.B. and LEATHERS J.E. Muscular exercise in young men native to 3100 m. *Journal of Applied Physiology*, 22, 555-564, 1967.
- 7.- HOLMER L. Oxygen uptake during swimming in man. *Journal of Applied Physiology* 33, 502-509, 1972.
- 8.- MAGEL J.R. and FAULKNER J.F. Maximum oxygen uptake of college swimmers *Journal of Applied Physiology*, 22, 929-938, 1967.
- 9.- MAZESS R.B. Exercise performance at high altitude in Peru Federation Proceedings, 28, 1301-1306, 1969.