

# Capacidad máxima de trabajo de niños en la altura

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

1. Instituto Boliviano de Biología de Altura

2 Universidad Cornell - U.S.A.

3 Clínica Nacional del Deporte

## SUMMARY

*Maximal exercise tests were given to 67 boys of European ancestry and between the ages of 8.8 and 13.1 years in La Paz, Bolivia (mean altitude of 3600 m). Thirtyfour of the boys were born at high altitude while the remaining 33 were born at low altitude. The statures and weights of the boys in both groups were similar to those of normal U.S. boys, suggesting that their growth may not have been affected by hypoxia to any great extent. Although most measures of maximal work performance, including maximal aerobic power ( $\dot{V}O_2\max$ ), did not differ significantly between the samples, maximal work output was significantly greater in the high altitude born boys than in the low altitude born boys. Length of residence at high altitude and maximal work output were positively related in the low altitude born boys but no other relationships were found between maximal work performance and length of exposure to hypobaric hypoxia. The considerable individual variability in the responses of these boys to maximal exercise may have masked these relationships, however, and longitudinal studies may be needed to reveal developmental adaptations to hypoxia.*

## RESUMEN

Pruebas de esfuerzo máximo fueron realizadas en 67 niños de ascendencia Europea y de edades entre los 8,8 y 13,1 años en La Paz, (promedio de altura 3.600 m).

34 de los niños habían nacido en la altura, los 33 restantes en tierras bajas. La talla y el peso de los niños de ambos grupos eran similares a los obtenidos en niños normales de los EE.UU., lo que sugiere que su crecimiento no es afectado en forma apreciable por la altura. Aunque la mayor parte de los parámetros del esfuerzo

máximo, inclusive capacidad aeróbica máxima ( $\dot{V}O_2\max$ ) no diferían significativamente entre los grupos estudiados, el trabajo máximo producido era significativamente más grande en los niños nacidos en la altura que en los nacidos en tierras bajas. El tiempo de residencia en la altura y la producción de trabajo máximo estaban directamente relacionados en los niños nacidos en tierras bajas, pero no se encontraron otras relaciones entre el trabajo máximo realizado y el tiempo de exposición a la hipoxia hipobárica.

La considerable variación individual en las respuestas de estos niños al ejercicio máximo pueden haber en-

mascarado estas relaciones, sin embargo, estudios longitudinales podrían ser requeridos para revelar adaptaciones a la hipoxia en el curso del desarrollo.

## INTRODUCCION

Puesto que la capacidad aeróbica máxima ( $\dot{V}O_2$  max) mide la capacidad funcional del sistema de transporte del oxígeno, el  $\dot{V}O_2$  max se utiliza frecuentemente para evaluar la habilidad de respuesta de los seres humanos a la hipoxia hipobárica. Debido a la reducción característica del  $\dot{V}O_2$  max del recién llegado a la altura, los residentes de la misma generalmente tienen un  $\dot{V}O_2$  max mayor que los residentes de nivel del mar, si ambos grupos son examinados en la altura (Burskirk, 1976). Estudios de Mazess (1969) y Frisancho y col. (1973) sugirieron que el  $\dot{V}O_2$  max relativamente alto del nativo de grandes alturas se puede deber primordialmente a la exposición a la hipoxia hipobárica durante la niñez ó a la adaptación en el curso del desarrollo. Sin embargo, esta hipótesis fué generada por los resultados obtenidos en adultos y existe poca información sobre el desarrollo de la capacidad de trabajo en niños, en la altura. En este estudio presentamos información sobre los cambios de la capacidad de trabajo máximo con la edad en niños jóvenes.

## MATERIAL Y METODOS

La muestra consiste de 67 niños residentes de La Paz, Bolivia (promedio de altura 3600 m) y de edad entre los 8.8 y 13.1 años. 34 de los niños nacidos y habitantes permanentes de la altura (por encima de los 3000 m) y 33 nacidos en tierras bajas (por debajo de los 1000 m). Los niños provenían de dos colegios particulares, estaban todos sanos y con buen estado nutricional, eran de familias de clase media y alta y de ascendencia predominantemente Europea.

Las pruebas de esfuerzo fueron realizadas en el Laboratorio de Bioenergética de la Clínica Nacional del Deporte y del Instituto Boliviano de Biología de Altura en La Paz, Bolivia (3600 m). Los promedios y desviaciones standard de los parámetros ambientales permanentes eran  $501.0 \pm 0.9$  mm Hg para la presión barométrica;  $16.3 \pm 1.8^\circ\text{C}$  para la temperatura ambiental del laboratorio y  $61.6 \pm 11.5$  o/o para la humedad relativa.

Los sujetos realizaron un test continuo y progresivo en un tapiz rodante marca Collins P3800. La carga inicial de trabajo fué puesta a un grado de 3 o/o y a una velocidad de 3.5 kph. La velocidad y la inclinación fueron incrementados en 0.5 kph y 3 o/o respectivamente cada 3 minutos durante los 12 primeros minutos. Las

medidas submáximas se realizaron al final de cada una de estas fases. Si el sujeto no alcanzaba el esfuerzo máximo en el 4to. nivel, la carga era incrementada hasta que el sujeto corría a un grado suficiente como para llegar al agotamiento. Durante el esfuerzo máximo se recolectaron 30" de una a tres muestras de aire espirado en bolsas Douglas. Los sujetos respiraban a través de una válvula Collins J de dos vías. Los volúmenes del aire espirado fueron medidos con un gasometro para gas seco marca Singer, y las fracciones de oxígeno y anhídrido carbónico espirado fueron determinadas mediante analizadores Beckman C-2 y LB-2 respectivamente. Las concentraciones de anhídrido carbónico fueron registradas durante cada ciclo respiratorio en un registrador Hewlett Packard Modelo 7544 y fueron utilizadas para el cálculo de la frecuencia respiratoria (f). El E.C.G. fue registrado mediante un electrocardiógrafo marca Funbec con los electrodos en posición CM5 para determinar la frecuencia cardíaca.

Se determinaron los parámetros standard para cada individuo, inclusive la capacidad aeróbica máxima ( $\dot{V}O_2$  max), la ventilación pulmonar máxima ( $\dot{V}E_{max}$ ) volumen corriente ( $\dot{V}E_{TPS}/f$ ), el porcentaje de oxígeno extraído ( $20.93 - FEO_2$ ) y la producción máxima de trabajo (peso corporal x distancia recorrida x  $\sin \theta$ ). Los análisis estadísticos fueron realizados con SPSS (Nie y col. 1975).

## RESULTADOS

Las características antropométricas de los niños nacidos en la altura (HAB) y de los niños nacidos en tierras bajas (LAB) se muestran en la Tabla 1.

T A B L A 1

CARACTERISTICAS ANTROPOMETRICAS DE 34 NIÑOS NACIDOS EN LA ALTURA (HAB) Y DE 33 NIÑOS NACIDOS EN TIERRAS BAJAS (LAB)

	HAB		LAB	
	$\bar{X}$	DS	$\bar{X}$	DS
EDAD (años)	10.9	1.1	10.4	1.0
TALLA (cm)	141.3	9.6	141.5	8.8
PESO (kg)	34.9	5.9	32.3	5.4
DIAMETRO TRANSVERSAL DEL TORAX (cm)	21.0	1.4	20.9	1.3
CIRCUNFERENCIA DEL TORAX EN INSPIRACION MAXIMA (cm)	73.7	4.6	71.1	5.7
PLIEGUE CUTANEO TRICIPITAL (cm)	11.3	3.8	10.3	2.5
CIRCUNFERENCIA MUSCULAR DEL BRAZO (cm)	16.9	1.1	16.6	1.2

Los niños HAB y LAB eran similares en lo que se refiere a sus medidas antropométricas, pero existían algunas diferencias: p.e. después de haber controlado para diferencias en talla, las circunferencias del tórax eran significativamente más grandes en los niños HAB. Sin embargo, cuando tanto talla como peso fueron controlados, no se encontraron diferencias significativas de la morfología ni de la composición corporal entre los grupos.

La talla y peso de ambos grupos fueron similares a los standards del U.S. National Center for Health Statistics. Las relaciones entre la edad y las respuestas fisiológicas de los niños HAB y LAB al ejercicio máximo fueron primeramente examinadas mediante análisis de regresión. (Tabla 2).

**TABLA 2**  
ANÁLISIS DE REGRESIÓN DE LOS CAMBIOS DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA AL ESFUERZO MÁXIMO CON LA EDAD EN 34 NIÑOS NACIDOS EN LA ALTURA (HAB) Y 33 NIÑOS NACIDOS EN TIERRAS BAJAS (LAB)

	Y = a + b <sub>1</sub> (Edad)			
	HAB		LAB	
	a	b <sub>1</sub>	a	b <sub>1</sub>
FRECUENCIA CARDÍACA (latidos/min)	151.6	3.3 <sup>+</sup>	221.0	-3.0
CÓCIENTE RESPIRATORIO	0.93	0.02	0.98	0.02
VE max BTPS (l/min)	-30.8	9.7 <sup>+</sup>	46.8	2.7
FRECUENCIA RESPIRATORIA (Respiraciones/min)	51.4 <sup>+</sup>	0.8	87.4	-2.3
VOLUMEN CORRIENTE (l)	-4.4 <sup>+</sup>	0.16 <sup>+</sup>	0.37	0.08 <sup>+</sup>
VO <sub>2</sub> max (l/min)	-0.63	0.18 <sup>+</sup>	0.67	0.06
VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min)	19.2	1.9 <sup>+</sup>	46.4	-0.6
TRABAJO PRODUCIDO (kg. m/min)	-303.5	70.0 <sup>+</sup>	-321.3	64.2 <sup>+</sup>
EQUIVALENTE VENTILATORIO	55.9	-0.1	65.2	-0.7
PULSO DE OXÍGENO (ml/latido)	-2.1	0.9 <sup>+</sup>	2.3	0.4 <sup>+</sup>
OXÍGENO EXTRAÍDO (o/o)	3.19	0.04 <sup>+</sup>	3.01	0.04

<sup>+</sup> N = 33

<sup>+</sup> Curva significativamente diferente de cero, p ≤ 0.05

En ambos grupos se observó que el volumen corriente, la producción de trabajo y pulso de oxígeno se incrementaban significativamente con la edad. El VO<sub>2</sub> max, el VEmax y la frecuencia cardíaca máxima en los niños HAB también se incrementaban significativamente con la edad.

Las diferencias en las respuestas de los niños HAB y LAB al ejercicio máximo fueron investigadas además mediante análisis de covarianza de acuerdo a talla y peso. (Tabla 3).

**TABLA 3**

PROMEDIOS DE VARIABLES SELECCIONADAS DE COMPORTAMIENTO DE TRABAJO MÁXIMO EN 34 NIÑOS NACIDOS EN LA ALTURA (HAB) Y 33 NIÑOS NACIDOS EN TIERRAS BAJAS (LAB)

	HAB		LAB	
	X	SE	X	SE
FRECUENCIA CARDÍACA (latidos/min)	187.9	7.1	190.3	6.0
CÓCIENTE RESPIRATORIO	1.21	0.10	1.19	0.10
VE max BTPS (l/min)	75.0	15.8	74.7	12.6
FRECUENCIA RESPIRATORIA (Respiraciones/min)	59.8	10.3	63.3	11.9
VOLUMEN CORRIENTE (l)	1.26	0.25	1.20	0.23
VO <sub>2</sub> max (l/min)	1.38	0.27	1.36	0.21
VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min)	39.6	4.8	40.2	5.4
TRABAJO PRODUCIDO (kg. m/min)	462.7	104.1	348.2	112.7
EQUIVALENTE VENTILATORIO	54.7	6.5	50.0	6.9
PULSO DE OXÍGENO (ml/latido)	7.3	1.4	6.8	1.2

Se realizaron investigaciones adicionales con el fin de determinar si la variabilidad en el comportamiento máximo de trabajo en la muestra de niños LAB estaba relacionada con diferencias de la exposición a la hipoxia hipobárica: la edad de migración a la altura (años), el tiempo de residencia en la altura (años), y la proporción del tiempo de vida pasada en la altura. Todos los parámetros del comportamiento durante el trabajo máximo eran independientes de cada una de las 3 medidas de exposición a la hipoxia hipobárica (valores F ≤ 3.0). Sin embargo aunque sin relación con el tiempo de exposición a la hipoxia hipobárica, existían variaciones considerables en las respuestas de los niños LAB al ejercicio máximo. También se hicieron análisis múltiples de regresión en relación al peso corporal. De 36 relaciones posibles (12 parámetros de ejercicio por 3 medidas de exposición a la hipoxia hipobárica), solamente la relación entre producción de trabajo y tiempo de residencia en la altura, era significativa (p ≤ 0.05). Dado el gran número de relaciones examinadas, una a dos relaciones significativas se esperarían por hazar. Por otra parte, esta relación es importante porque la producción de trabajo fué el único parámetro que era significativamente diferente entre los niños HAB y LAB.

Se calculó la producción de trabajo en los niños LAB en base a esta relación de regresión utilizando la edad promedio de los niños HAB y el peso promedio de los niños LAB habiéndose encontrado en estos últimos una producción de trabajo disminuída en 29 o/o en relación a los niños HAB de la misma edad.

#### DISCUSION

Por lo general se encontró que las poblaciones de tierras altas tienen un crecimiento de estatura y peso

TABLA 4

CARACTERISTICAS ANTROPOMETRICAS Y PARAMETROS DEL ESFUERZO  
MAXIMO DE UNA SELECCION DE GRUPOS DE NIÑOS

	LA PAZ (Frisancho)	ETHIOPIA (Frisancho)	NORUEGA (Anderson y Ghesquiere, 1973)	CHECOSLOVAQUIA (Sclinger y col. 1973)
N	24	8	28	303
EDAD (años)	7.0	7.0	9.3	11.8
TALLA (cm)	145.3	140.4	141.7	148.3
PESO (kg)	34.9	35.0	32.2	38.9
$\dot{V}O_2$ max (l/min)	1.33	1.04	1.49	1.76
$\dot{V}O_2$ max (ml/kg/min)	39.6	40.3	46.7	44.2
$\dot{V}E$ max BTFS (l/min)	75.0	41.3	46.5	58.7
EQUIVALENTE VENTILATORIO	54.7	39.2	31.8	-
PULSO DE OXIGENO (ml/latido)	7.3	5.4	7.8	8.7
FRECUENCIA CARDIACA (lat/min)	187.9	190	191	195

retardado en relación con poblaciones de tierras bajas (Frisancho, 1978; Stinson, 1980). Sin embargo, es difícil determinar el papel de la hipoxia como causante del crecimiento retardado, porque existen también diferencias nutricionales, de salud y posiblemente genéticas entre las muestras de la altura y de tierras bajas estudiadas anteriormente. Aún cuando los niños de nuestro grupo no eran genéticamente homogéneos, todos estaban sanos y bien alimentados. No se encontraron grandes diferencias corporales entre ambos grupos en los que apreciamos estaturas y pesos similares a los de los niños de EE.UU. Esto sugiere que el crecimiento de niños de ascendencia Europea no está afectado por la hipoxia, como ya se ha destacado anteriormente.

Las circunferencias del tórax estaban más estrechamente relacionadas con el peso en el primer grupo (HAB) que en el segundo (LAB). Para la misma talla los niños HAB tenían circunferencias torácicas significativamente más grandes que los niños LAB. Estos resultados corroboran los hallazgos de Frisancho (1969), Beal y col. (1977) y Mueller y col. (1978), pues la hipoxia y el fondo genético parecen tener un impacto sobre el desarrollo del tamaño del tórax en la altura.

El comportamiento durante el esfuerzo máximo de niños normales de la misma edad que los niños HAB de La Paz fue comparado con otros estudios. (Tabla 4).

Los niños etiopíes habitantes en una altura de 3000 m fueron examinados con un cicloergómetro o mediante un test de gradilla. Los niños Noruegos y Checos-

lovacos habitantes en tierras bajas fueron examinados en un cicloergómetro.

El  $\dot{V}O_2$ max promedio (ml/kg/min) de los niños de La Paz es de 4 - 7 ml/kg/min, menor que el  $\dot{V}O_2$ max de los grupos de tierras bajas y similar al  $\dot{V}O_2$ max de los niños etiopíes. La  $\dot{V}E$ max y el equivalente ventilatorio son más altos en los niños de La Paz que en los otros grupos. Si se toman en cuenta las diferencias del tamaño corporal entre los grupos, el pulso de oxígeno es similar para todos ellos.

La producción máxima de trabajo es significativamente más grande en los niños HAB que en los niños LAB, lo que indica que los niños HAB están mejor adaptados a la hipoxia hipobárica. Por otra parte la similitud de  $\dot{V}O_2$ max entre los grupos conjuntamente con la diferencia de la producción máxima de trabajo, sugiere que los niños HAB sacan de la misma cantidad de oxígeno, más energía que los niños LAB, es decir que tienen un metabolismo aeróbico más eficiente, o que una mayor proporción de su energía total fué sacada de fuentes anaeróbicas, o que ambos mecanismos fueron puestos en juego. Este estudio no estaba diseñado para examinar este problema, pero existe evidencia que apoya las dos hipótesis (Billings y col. 1971; Reynafarje y Velasquez, 1966). En la actualidad la segunda hipótesis parece más probable, pero creemos que una investigación más profunda es necesaria. Aunque observamos una variabilidad individual considerable de las respuestas de los niños LAB al esfuerzo máximo, el  $\dot{V}O_2$ max no estaba relacionado con una exposición diferencial a la hipoxia hipobá-

rica. Estos resultados no son compatibles con los resultados de Frisancho y col (1973) quienes encontraron una significativa relación negativa entre el  $\dot{V}O_2\max$  y la edad de migración a la altura y una significativa relación positiva entre el  $\dot{V}O_2\max$  y el tiempo de residencia en la altura en varones que habían migrado a la altura siendo niños.

Jokl y col. (1972) hicieron una revisión de la información existente acerca de la magnitud de la disminución inicial del  $\dot{V}O_2$  y la recuperación del  $\dot{V}O_2\max$  en un período de 2 - 4 semanas, en un estudio realizado en los atletas de los Juegos Olímpicos efectuados en la ciudad de México (2250 m). Ellos encontraron una variabilidad considerable en ambas medidas, lo que sugiere que no todas las personas tienen la misma capacidad de respuesta al stress hipóxico (Velasquez, 1964). Esta variabilidad individual podría explicar la falta de relación entre  $\dot{V}O_2\max$  y tiempo de exposición a la hipoxia en el grupo de los niños LAB, es decir que la relación puede haber sido encubierta debido a que el efecto inicial de la hipoxia era más importante en algunos niños que en otros y porque algunos se recuperaron más rápidamente. Por lo tanto se requieren análisis longitudinales para revelar la adaptación a la hipoxia en el curso del desarrollo.

Finalmente, los  $\dot{V}O_2\max$  de adultos nacidos en la altura, tanto Indios como Europeos, son similares a los  $\dot{V}O_2\max$  de sujetos nacidos a nivel del mar si ambos

grupos son examinados en sus ambientes acostumbrados (Buskirk, 1976). Sin embargo, el  $\dot{V}O_2\max$  de los niños HAB, fue más bajo que el de los niños normales de tierras bajas (Tabla 4). Esta última observación nos hace pensar que aunque los niños HAB estaban mejor adaptados que los niños LAB, no lo estaban completamente. La adaptación cardio-respiratoria a la hipoxia hipobárica puede ser un proceso a largo plazo, que posiblemente para ser completa, requiere la exposición a la misma durante la adolescencia. Estudios comparativos con niños adolescentes y post adolescentes nativos de altura ayudarían a determinar la forma y el tiempo de tales cambios adaptativos.

#### AGRADECIMIENTOS

Este estudio no hubiera sido posible sin la colaboración de varias instituciones gubernamentales bolivianas como el Ministerio de Previsión Social y Salud Pública, la Clínica Nacional del Deporte y el Instituto Boliviano de Biología de Altura. Agradecemos muy especialmente a los colegios de los cuales provenían nuestros sujetos y a los niños mismos.

Esta investigación ha sido apoyada por un grant de la National Science Foundation (BNS 80-17476) y fue publicada in extenso en *Human Biology*, Diciembre 1982, Vol. 54, No. 4 pp. 677-695.

#### BIBLIOGRAFIA

- 1.- ANDERSEN K.L. y J. GHESQUIERE. Sex differences in the development of physical performance capacity during the puberty growth spurt in a population unit at the west coast of Norway. *Physical fitness*. V. Seliger (ed.) Charles Univ. Prague, pp. 55-71, 1973.
- 2.- BILLINGS C.E., R. BASON D.K. MATTHEWS y E.L. FOX. Cost of submaximal and maximal work during chronic exposure at 3800 m. *J. Appl. Physiol.* 30: 406-408, 1971.
- 3.- BEALL C.M., P.T. BAKER, T.S. BAKER y J.D. HAAS. The effects of high altitude on adolescent growth in southern Peruvian Amerindians. *Human Biol.* 49: 109-124, 1977.
- 4.- BUSKIRK E.R. Work performance of newcomers to the Peruvian highlands. *Man in the Andes: a multidisciplinary study of high altitude Quechua*. P.T. Baker and M.A.A. Little (eds.), Dowden, Hutchinson & Ross, Stroudsburg, PA, pp 282-299, 1976.
- 5.- FRISANCHO A.R. Human growth and development among high altitude populations. *The biology of high altitude peoples*. P.T. Baker (ed.) Cambridge Univ. Press, Cambridge, pp. 117-171, 1978.
- 6.- FRISANCHO A.R., C. MARTINEZ, T. VELASQUEZ, J. SANCHEZ y H. MONTOYE. Influence of developmental adaptation on aerobic capacity at high - altitude *J. Appl. Physiol.* 34: 176-180, 1973.
- 7.- JOKL, E., E. DOLL y D. KEPPLER. Energy metabolism of human muscle. Section V: Hypoxia and energy supply. *Med. and Sport* 7: 203-242, 1972.
- 8.- MUELLER W.H., F. YEN F. ROTHAMMER y W.J. SCHULL. A multinational Andean genetic and health program. VII. Lung function and physical growth multivariate analysis in high and low- altitude populations *Aviat. Space, Environ. Med.* 49: 118-1196, 1978.
- 9.- REYNAFARJE B. y T. VELASQUEZ. Metabolic and physiological aspects of exercise at high altitude. I. Kinetics of blood lactate, oxygen consumption and oxygen debt during exercise and recovery breathing air. *Fed. Proc.* 25: 1397-1399, 1966.
- 10.- SELIGER V., J. HORAK, V. CERMAK, P. HANDZO, Z. JIRKA, M. MACEK y J. ULBRICH. Physical fitness indices for Czechoslovak athletes of 12, 15 and 18 years of age. *Physical fitness*, V. Seliger (ed). Charles Univ., Prague, pp. 356-361, 1973.
- 11.- STINSON S. The physical growth of high altitude Bolivian Aymara children. *Amer. J. Phys. Anthropol.* 52: 377-385, 1980.
- 12.- VELASQUEZ T. Response to physical activity during adaptation to altitude. *The physiological effects of high altitude*. W.H. Weihe (ed). The Macmillan Co., New York, pp. 289-300, 1964.