

Capacidad aeróbica de adolescentes europeos y amerindios nativos de altura

*Hilde Spielvogel ** Luis Paredes F.
*Esperanza Caceres *** Lawrence P. Greksa

*Departamento de Bioenergética, Instituto Boliviano de Biología de Altura, La Paz

**Clínica Nacional del Deporte, La Paz

***Case Western Reserve University, Cleveland, Ohio, U.S.A.

Este trabajo fué publicado bajo el título: MAXIMAL EXERCISE CAPACITY IN ADOLESCENT EUROPEAN AND AMERINDIAN HIGH-ALTITUDE NATIVES
Lawrence P. Greksa, Hilde Spielvogel, and Luis Paredes Fernandez. En: American Journal of Physical Anthropology 67: 209-216 (1985)

ABSTRACT

47 highland natives were given maximal exercise tests on a treadmill ergometer at 3,600 m. The subjects were grouped into 4 subsamples on the basis of ethnicity (European vs. Aymara) and age (young vs. old adolescent). Two-way ANOVA indicated that $\dot{V}O_2\max$ adjusted for body size did not differ significantly between ethnic groups but was significantly larger in older than younger boys within each ethnic group ($p < .05$). This finding does not support the hypothesis that Amerindian highland natives have adapted genetically to hypoxia but is consistent with the hypothesis that the relatively high $\dot{V}O_2\max$'s of highlanders are acquired by developmental adaptation. Several measures of ventilation and oxygen transport capacity differed significantly between ethnic groups, suggesting that growing European and Aymara boys may respond somewhat differently to the stress of high altitude hypoxia.

However, despite these differences, $\dot{V}O_2\max$, an integrated measure of the overall functional capacity of the oxygen transport system, did not differ significantly between ethnic groups, suggesting that both groups are equally capable of meeting the body's oxygen requirements during maximal exercise at high altitude.

RESUMEN

47 nativos de altura fueron sometidos a una prueba de esfuerzo máximo en un tapiz rodante a 3600m. Los sujetos fueron agrupados en 4 subgrupos en base a fondo étnico (Europeo-Aymara) y a edad (adolescentes menores - adolescentes mayores). El análisis de dos vías ANOVA indicó que el $\dot{V}O_2\max$ ajustado al tamaño corporal no fué significativamente diferente entre los grupos étnicos, pero fué significativamente elevado en los adolescentes mayores comparado con los menores dentro de cada grupo étnico ($p < 0.05$).

Este hallazgo no apoya la hipótesis de que los Amerindios nativos de altura se han adaptado genéticamente a la hipoxia, pero está de acuerdo con la hipótesis de que el $\dot{V}O_2\max$ relativamente alto de los nativos de altura se adquiere mediante adaptación en el curso del desarrollo. Varias medidas de la ventilación y capacidad de transporte de oxígeno diferían significativamente entre los grupos étnicos, sugiriendo que los niños en fase de crecimiento Europeos y Aymara podrían responder en forma algo diferente al stress de la hipoxia de altura. Sin embargo, a pesar de estas diferencias, el $\dot{V}O_2\max$, una medida integrada de la capa-

cidad funcional total del sistema de transporte de oxígeno, no fué significativamente diferente en los grupos étnicos, lo que sugiere que ambos grupos son igualmente capaces de cumplir con los requerimientos de oxígeno del organismo durante el esfuerzo máximo en la altura.

INTRODUCCION

Las respuestas fisiológicas al esfuerzo máximo, particularmente la capacidad aeróbica ($\dot{V}O_2\text{max}$), se utilizan con frecuencia para medir la adaptación a la hipoxia de la altura, puesto que dan una pauta de la capacidad funcional del sistema de transporte de oxígeno (1). Personas recién llegadas a la altura muestran una significativa disminución del $\dot{V}O_2\text{max}$ (2). Los Amerindios nativos de altura, sin embargo, no parecen estar afectados, hecho que sugiere que ellos se han adaptado bien al ambiente hipoxico (3). Se propusieron dos hipótesis para explicar este hallazgo: la primera indica que los Amerindios nativos se han adaptado genéticamente a la hipoxia durante su larga historia de residencia en la altura (4,5). La segunda hipótesis indica que el $\dot{V}O_2\text{max}$ relativamente alto de los Amerindios nativos de altura es adquirido por cada individuo durante la vida como resultado de la exposición a la hipoxia durante el crecimiento y desarrollo, denominado por Frisancho (6) "adaptación en el curso del desarrollo". El propósito del presente trabajo fué de examinar estas dos hipótesis simultáneamente midiendo la capacidad aeróbica de jóvenes nativos de altura que fueron categorizados según ascendencia étnica (Europea-Aymara) y edad (adolescentes menores - adolescentes mayores).

SUJETOS Y METODOS

Los sujetos eran 47 jóvenes sanos, residentes de La Paz (altura media de 3600 m). Cada joven era nativo y residente de una altura mayor de 3000 m. Algunos jóvenes habían viajado ocasionalmente a lugares bajos por períodos cortos, pero ninguno lo había hecho en los 3 meses previos a la prueba. Los sujetos fueron agrupados en 4 subgrupos de acuerdo a fondo étnico y edad: (I) 14 adolescentes Europeos menores de 11.1 - 13.0 años; (II) 13 adolescentes Aymara menores de 11.1-12.1 años (III) 10 adolescentes Europeos mayores de 17.4-19.6 años; y (IV) 10 adolescentes Aymara mayores de 17.0-19.7 años.

En Latinoamérica el fondo étnico frecuentemente está asociado con el nivel socioeconómico, lo que también es el caso en el presente estudio; Los jóvenes Europeos eran descendientes de familias de nivel socioeconómico medio-alto, que habían vivido en Bolivia por una o más generaciones y provenían de dos colegios particulares. Los jóvenes Aymara eran de un nivel socio-económico más bajo y provenían de un colegio fiscal. La mayoría de los jóvenes indicaban participación en algún deporte dentro o fuera del colegio, pero ninguno entrenaba para eventos competitivos.

ANTROPOMETRIA

Todas las medidas antropométricas fueron tomadas por el mismo investigador utilizando técnicas

standard (7). En cada sujeto se midieron talla, peso, perímetro del brazo relajado y 4 pliegues cutáneos (tricipital, subescapular, suprailiaco, pantorrilla media) que fueron adicionados para obtener la suma de pliegues cutáneos. El perímetro del brazo relajado fué calculado según el método de Jelliffe (8).

PRUEBA DE ESFUERZO

Las pruebas de esfuerzo se realizaron en el Laboratorio de Bioenergética de la Clínica Nacional del Deporte de La Paz (altura 3600 m, PB 498.5 mm Hg, rango 497-500 mm Hg). Los sujetos fueron sometidos a prueba de esfuerzo continuo progresivo en un tapiz rodante marca Collins P3800. El período de calentamiento inicial consistía de una caminata durante 2 minutos a una inclinación de 6% y una velocidad de 4.5 km/h para los adolescentes menores, y 6.5 km/h para los adolescentes mayores. Después se incrementó la velocidad a 6.5 km/h para los adolescentes menores y a 9 km/h para los adolescentes mayores. Estas velocidades se mantuvieron durante todo el test y la inclinación fué incrementada por 2% cada 2 minutos, hasta que el sujeto ya no podía continuar a pesar de que fuera alentado. En este instante se realizaron las siguientes medidas:

Frecuencia cardíaca (FCmax), capacidad aeróbica ($\dot{V}O_2\text{max}$ STPD), ventilación pulmonar ($\dot{V}E_{\text{max}}$ BTPS), frecuencia respiratoria (FRmax), cociente respiratorio (Rmax), equivalente respiratorio ($ER = \dot{V}E_{\text{max}}/\dot{V}O_2\text{max}$) pulso de oxígeno ($\dot{V}O_2\text{max}/FC_{\text{max}}$), y volumen corriente ($VC_{\text{max}} = \dot{V}E_{\text{max}}/FR_{\text{max}}$).

Los adolescentes menores respiraban a través de una válvula J de dos vías y los mayores a través de una válvula Otis McKerrow modificada. El aire espirado fué recolectado en bolsas Douglas que estaban conectadas a la boquilla mediante tubos grandes de plástico y de poca resistencia. Se hicieron 2 recolecciones seguidas de 30 segundos cada una en el momento de agotamiento del sujeto. Los volúmenes de aire espirado en las bolsas Douglas fueron determinados mediante un gasómetro Singer para gas seco que fué calibrado previamente con un equipo Tissot. Las fracciones de O_2 y CO_2 en el aire espirado fueron determinadas en un analizador Servomex modelo OA 150 y un analizador Gould Mark III Capnograph, respectivamente. Estos analizadores fueron calibrados con gases de concentraciones conocidas determinadas mediante la técnica de Scholander. Las concentraciones de CO_2 fueron registradas respiración por respiración en el Capnograph y utilizadas para el cálculo de FRmax. El electrocardiograma fué registrado en un equipo Hewlett Packard (Sanborn) de dos canales estando los electrodos en posición CM5 y utilizado para el cálculo de FCmax. Los criterios para el esfuerzo máximo fueron los siguientes: (a) signos visibles de fatiga y (b) FCmax de por lo menos 190 latidos por minuto o una FCmax de por lo menos 180 latidos por minuto en asociación con un cociente respiratorio de por lo menos 1.20.

ANALISIS ESTADISTICO

Las evaluaciones estadísticas se hicieron mediante el análisis de varianza de dos vías (ANOVA). En

caso necesario se utilizó el análisis de dos vías de covarianza (ANCOVA). Este último método era necesario para el control de diferencias de grasa corporal en la comparación de los grupos, porque no fué posible medir el peso corporal libre de grasa. Los análisis estadísticos se realizaron con SPSS (9).

Como era de esperar, existían diferencias significativas entre los grupos respecto al tamaño corporal (Tabla 1) que deben ser controladas previamente a la comparación de las medidas de volúmenes entre los grupos. Generalmente se controla el tamaño corporal mediante la división de cada medida de volumen entre alguna medida del tamaño corporal. Sin embargo, existe desacuerdo completo respecto a cual de las medidas dé el mejor control del tamaño corporal en adolescentes (10). Se propusieron 6 diferentes términos utilizando peso (W) y talla (H) para este fin, en base a argumentos teóricos: p.e. W-1, H-3, W-0.67, H-2, W-0.75 y H-2.25 (11).

Por esta razón en el presente estudio se realizaron análisis separados utilizando cada uno de estos términos para ajustar las medidas de volumen. Los volúmenes ajustados utilizando los cuatro últimos términos dieron resultados muy similares, y también los volúmenes ajustados mediante los dos primeros términos.

Por esta razón optamos por presentar resultados ANOVA para una medida de cada uno de estos dos grupos mayores. Seleccionamos medidas de volúmenes divididas entre W-1, porque este término se utiliza comunmente, y también medidas de volúmenes divididas entre H-2.25, porque se encontró que este término proporciona el mejor control para el tamaño corporal en una comparación comprensible de métodos (11). Para simplificar nos referiremos a medidas divididas entre W-1 como ajustadas por peso y medidas divididas entre H-2.25 como ajustadas por talla.

RESULTADOS

Edades y características antropométricas de cada grupo se describen en la tabla 1. Los resultados de un ANOVA de dos vías indican que las edades no eran significativamente diferentes en los grupos étnicos. Sin embargo, los adolescentes Europeos tendían a ser significativamente más altos y pesados ($p < 0.001$), tenían perímetros del brazo relajado y sumas de pliegues cutáneos ($p < 0.05$) más grandes que sus semejantes Aymara. Tanto peso como suma de pliegues cutáneos muestran un efecto de interacción significativo ($p < 0.05$).

Las respuestas al esfuerzo de cada grupo ajustadas para el tamaño corporal, en caso apropiado, se muestran en la tabla 2. Los valores absolutos de las medidas de volumen se encuentran en la tabla 1. En la tabla 2 se muestran los resultados de un ANOVA de dos vías para cada variable. La tabla 2 indica que las medidas de volumen ajustadas para la talla demuestran un efecto étnico ligeramente menor y un efecto etareo mucho mayor que las medidas de volumen ajustadas para el peso. Además, con la posible excepción de VCmax y FRmax, no hay sugerencia de un efecto de interacción entre fondo étnico y edad.

FCmax medio y Rmax medio fueron similares en los adolescentes Europeos y Aymara de la misma edad (tabla 2). El $\dot{V}O_2\text{max}$ ($l \cdot \text{min}^{-1}$) fué algo más grande en los niños Europeos que en los niños Aymara (tabla 1), pero después de ajustar para el mayor tamaño corporal de los Europeos, el $\dot{V}O_2\text{max}$ de los niños Aymara era 4-8% más grande que el $\dot{V}O_2\text{max}$ de los Europeos de la misma edad (tabla 2). Estas diferencias no fueron significativas, aunque el $\dot{V}O_2\text{max}$ ajustado para el peso se aproximaba a la significancia ($p < 0.08$). Sin embargo, también esta diferencia moderada entre los $\dot{V}O_2\text{max}$ desapareció una vez controlada la grasa corporal mediante análisis de covarianza controlando para la suma de los pliegues cutáneos (tabla 2).

TABLA 1

DATOS BIOMETRICOS Y RESULTADOS DEL ANALISIS ANOVA DE DOS VIAS SEGUN ASCENDENCIA ETNICA Y EDAD

	ADOLESCENTES MENORES				ADOLESCENTES MAYORES				ANOVA	
	AYMARA		EUROPEOS		AYMARA		EUROPEOS		ETN	EDAD
	(N=13)	(N=14)	(N = 10)	(N = 10)	F	F				
\bar{X}	DS	\bar{X}	DS	\bar{X}	DS	\bar{X}	DS			
EDAD (años)	11.6	0.3	11.9	0.6	17.9	0.9	18.3	0.7	3.7	1150.6***
TALLA (cm)	134.2	5.7	140.8	5.9	162.7	4.8	173.3	5.1	26.9***	356.4***
PESO (kg)	30.2	3.8	34.0	4.7	51.9	4.6	62.1	6.1	22.0***	313.4***
PERIMETRO DEL BRAZO (cm)	15.9	1.2	16.3	1.6	21.0	1.5	23.0	2.4	4.8*	140.0***
SUMA DE PLIEGUES CUTANEOS (mm)	35.8	9.1	40.2	14.9	31.8	5.2	50.9	15.4	9.0**	0.9
$\dot{V}O_2\text{max}$ (l STPD.min ⁻¹)	1.38	0.28	1.43	0.22	2.66	0.48	2.91	0.49	1.9	155.4***
VE max (l BTPS.min ⁻¹)	68.9	14.7	68.4	8.4	130.2	20.2	143.9	26.4	1.2	164.4***
VC max (l BTPS.respiración ⁻¹)	1.19	0.17	1.32a	0.28	2.42	0.41	2.50	0.37	1.4	172.9***
VE max/ $\dot{V}O_2\text{max}$ (l BTPS/l STPD)	49.9	5.4	48.2	4.2	49.8	8.0	49.9	7.9	0.4	0.3
$\dot{V}O_2\text{max}/\text{FC max}$ (ml STPD.lat ⁻¹ .min ⁻¹)	7.2	1.5	7.4	1.2	13.8	2.7	14.7	2.3	1.1	142.2***

nN = 13

* $p < 0.05$

** $p < 0.01$

*** $p < 0.001$

TABLA 2
 PARAMETROS DE ESFUERZO MAXIMO Y RESULTADOS DEL ANALISIS DE ANOVA DE DOS VIAS
 DE ACUERDO A LA ASCENDENCIA ETNICA Y LA EDAD

	ADOLESCENTES MENORES				ADOLESCENTES MAYORES				ANOVA	
	AYMARAS (N=13)		EUROPEOS (N=14)		AYMARAS (N=10)		EUROPEOS (N=10)		ETN	EDAD
	\bar{X}	DS	\bar{X}	DS	\bar{X}	DS	\bar{X}	DS	F	F
FC max (lat.min ⁻¹)	192,8	7,7	194,1	5,0	193,3	5,1	197,5	8,4	1,7	1,0
R max	1,14	0,08	1,15	0,08	1,25	0,10	1,28	0,16	0,3	13,6***
$\dot{V}O_2$ max (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹ b)	45,9	7,5	42,5	6,8	50,9	6,5	47,0	6,8	3,2	5,4*
(ml.cm ⁻² .25.min ⁻¹) x 100 ^c	2,25	0,40	2,09	0,26	2,79	0,40	2,68	0,47	1,6	25,4***
VE max (l BTPS.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	2,28	0,40	2,04	0,32	2,51	0,32	2,32	0,38	4,6x	5,9*
(l BTPS.cm ⁻² .25.min ⁻¹)	1,12	0,20	1,00	0,12	1,38	0,19	1,32	0,26	2,4	25,7***
$\dot{V}O_2$ max/FC max (ml STPD.lat ⁻¹ .kg ⁻¹ .min ⁻¹)	0,24	0,04	0,22	0,04	0,26	0,04	0,24	0,03	4,1x	3,9
(ml STPD.lat ⁻¹ .cm ⁻² .25.min ⁻¹)	0,12	0,02	0,11	0,01	0,14	0,02	0,14	0,02	2,4	21,1***
$\dot{V}E$ max/ $\dot{V}O_2$ max (l BTPS/ l STPD.kg ⁻¹)	1,68	0,30	1,44	0,26	0,97	0,23	0,81	0,16	8,0xx	83,0***
(l BTPS/ l STPD.cm ⁻² .25)	0,82	0,12	0,71	0,10	0,53	0,12	0,46	0,08	8,4xx	69,5***
$\dot{V}C$ max (ml BTPS.kg ⁻¹ .respiración ⁻¹)	39,7	6,1	39,6a	8,8	46,6	6,3	40,2	4,2	2,1	3,6
(ml BTPS.cm ⁻² .25.respiración ⁻¹) x 100	1,94	0,29	1,92	0,38	2,56	0,40	2,28	0,28	1,7	23,5***
FR max (respiración.min ⁻¹)	58,2	9,7	53,5a	9,3	54,1	5,1	58,3	11,0	0,1	0,0

aN = 13; bResultados de ANCOVA controlando para suma de pliegues cutáneos: ETN: F=1.2; EDAD:F = 6.3*

cResultados de ANCOVA controlando para suma de pliegues cutáneos: ETN: F=1.7; EDAD: F=23.9**

* p < .05 ** p < .01 *** p < .001

Los valores medios absolutos de $\dot{V}E_{max}$, $\dot{V}O_{2max}/FC_{max}$, $\dot{V}E_{max}/\dot{V}O_{2max}$ y VC_{max} fueron similares en los dos grupos étnicos o algo mayores en los niños Europeos que en los niños Aymara del mismo grupo etareo (tabla 1). Sin embargo, después de comparar con el tamaño corporal, todas estas medidas tendieron a ser mayores en los niños Aymara que en los Europeos (tabla 2). Por ejemplo, $\dot{V}E_{max}$ medio ajustado para el peso era 8 - 12% mayor en los adolescentes Aymara que en los Europeos del mismo grupo etareo, mientras que $\dot{V}O_{2max}/FC_{max}$ ajustado por peso fué 8 - 9% mayor en los adolescentes Aymara que en los Europeos. Sin embargo, estos dos parámetros solamente diferían significativamente entre los grupos étnicos al ajustar por peso. El equivalente respiratorio, tanto al ajustar por peso como por talla fué significativamente más grande en los adolescentes Aymara que en los Europeos. Al ajustar ER por peso, fué 17 - 20% mayor en los niños Aymara que en los Europeos del mismo grupo etareo. Finalmente, ni VC_{max} , ni FR max diferían significativamente entre los grupos étnicos.

Se encontraron muchas diferencias significativas entre adolescentes menores y mayores, que fueron por lo general de una magnitud similar dentro de cada grupo étnico (tabla 2). FC max no difería significativamente entre los grupos etareos, pero R max fué significativamente más alto en los adolescentes mayores que en los menores. Dentro de cada grupo FC max y FR max fueron negativa pero insignificativamente relacionados con $\dot{V}O_{2max}$, con coeficientes de correlación de -0.14 a -0.47 ($p < 0.05$). Como mencionamos anteriormente, la magnitud del efecto de la edad tendía a ser mayor si las medidas de volumen eran ajustadas para talla que si eran ajustadas para peso. Por ejemplo, $\dot{V}O_{2max}$ fué significativamente más grande en los adolescentes mayores que en los menores tanto al ajustar por peso como por talla. Empero, el $\dot{V}O_{2max}$ ajustado por peso fué por 11% más grande en los adolescentes mayores, mientras que ajustado por talla fué por 24-28% más grande en los adolescentes mayores que en los menores. Como indican los valores F, el control para diferencias en grasa corporal mediante análisis de covarianza actuó en sentido de un ligero incremento de la magnitud de estos efectos de edad (tabla 2). La mayoría de las demás respuestas fisiológicas al esfuerzo máximo difería también significativamente entre los niños menores y mayores (tabla 2). $\dot{V}E_{max}$ ajustado para tamaño corporal fué significativamente más grande en adolescentes mayores que menores, mientras que ER max ajustado para el tamaño corporal fué significativamente menor en los adolescentes mayores que en los menores. Por ejemplo, $\dot{V}E_{max}$ medio ajustado por peso fué por 10-14% más grande en los adolescentes mayores que en los menores, mientras que ER max ajustado por peso fué por 42-44% menor en los mayores que en los menores dentro de cada grupo étnico. $\dot{V}O_{2max}/FC_{max}$ también tendió a ser más grande en los mayores que en los menores, la diferencia fué significativa al ajustarlo por talla. FR max no varió mucho con la edad, pero VC_{max} ajustado por talla fué significativamente más grande en los adolescentes mayores que en los menores, mientras al ajustarlo por peso solamente se

aproxima a la significancia ($p < 0.07$). Como se mencionó más adelante, existió una interacción moderada aunque insignificativa, entre grupo étnico y etareo para estas dos variables. Así, en los adolescentes Aymara, FR max fué por 7% más pequeño en los mayores que en los menores, mientras que VC_{max} ajustado por peso fué por 17% más grande en los mayores que en los menores. Por otra parte, en los adolescentes Europeos, FR max fué por 9% más grande en los mayores que en los menores, mientras que VC_{max} ajustado por peso fué por solamente por 2% más grande en los mayores que en los menores.

DISCUSION

FC max media fué mayor que 190 latidos $\cdot \text{min}^{-1}$ y Rmax medio mayor que 1.14 en todos los grupos (Tabla 2). Esto sugiere que los niños en el presente estudio estaban trabajando a nivel máximo o cerca de él. También, FC max y R max fueron similares en niños Europeos y Aymara de la misma edad. Esto indica que las comparaciones étnicas se hicieron entre grupos que estaban realizando un esfuerzo de magnitud comparable. Sin embargo, Rmax fué significativamente más grande en los adolescentes mayores que en los menores dentro de cada grupo étnico, mientras que FCmax fué similar en adolescentes mayores y menores y no más grande en los menores como se hubiera podido esperar. Este último dato sugiere la posibilidad que los adolescentes menores y mayores dentro de cada grupo étnico no hubieran realizado un esfuerzo de magnitud comparable. Sin embargo, vamos a argumentar que los adolescentes menores y mayores estaban trabajando a niveles similares de esfuerzo. Primeramente, tanto FCmax como Rmax fueron bastante altos en todos los grupos, inclusive en los adolescentes menores. FCmax media en los grupos de adolescentes Europeos y Aymara, aunque algo más baja que en otros estudios de niños (12, 13) fué similar a FCmax encontrada en otros estudios (14, 11, 15). Además, aunque FCmax claramente tiende a disminuir con la edad después de los 20 años, podría ser que cambie poco o nada entre los 11 y 18 años (10, 11, 15). Segundo, todos los adolescentes presentaron signos visibles de fatiga similares. Tercero, si una parte de los adolescentes menores realmente o hubiera estado trabajando a nivel máximo, se esperaría que FCmax y Rmax estuvieran positivamente relacionados con $\dot{V}O_{2max}$. Sin embargo, en realidad FCmax y Rmax estuvieron negativamente relacionados con $\dot{V}O_{2max}$, aunque insignificativamente, dentro de todos los grupos. Por lo tanto, aunque la causa de la diferencia entre los adolescentes menores y mayores respecto a Rmax no se puede determinar a partir de los datos existentes, concluimos que tanto los adolescentes menores como mayores estaban realizando esfuerzo a nivel máximo o cerca de él.

El $\dot{V}O_{2max}$ medio ajustado por peso en los adolescentes Europeos y Aymara variaba de 42 a 46 $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ en los menores y de 47 a 51 $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ en los mayores (Tabla 2). De acuerdo a datos de niños normales no entrenados en tierras bajas (10, 16) el $\dot{V}O_{2max}$ medio de los adolescentes Europeos y Aymara se encuentra dentro de los límites normales en

tierras bajas, el $\dot{V}O_2\text{max}$ medio de los Aymara menores estando en la parte bajo de estos límites y de los Europeos menores un poco por debajo de estos límites. Además el $\dot{V}O_2\text{max}$ medio de los adolescentes Europeos y Aymara es similar a los datos existentes en niños y adultos jóvenes nativos de altura (14, 1, 17, 18, 19).

Los datos obtenidos en el presente estudio no apoyan la hipótesis que la capacidad funcional del sistema de transporte de oxígeno de los Amerindios nativos de altura sea incrementada mediante adaptación genética adquirida durante la historia larga de residencia en la altura (4,5) porque el $\dot{V}O_2\text{max}$ ajustado por el tamaño corporal no difiere significativamente entre los adolescentes Aymara y Europeos (Tabla 2). Existen, sin embargo, varios factores que podrían haber confundido estos análisis. Primero, aunque esta posibilidad no puede ser evaluada en base a los datos obtenidos, las comparaciones podrían haber sido confundidas por la mezcla con genes Amerindios (si se supone que existan genes Amerindios específicos que mejoran el sistema de transporte de oxígeno) en la población Europea de Bolivia. Segundo, debido a su nivel socio-económico más alto, los adolescentes Europeos probablemente estaban más sanos y mejor alimentados que los adolescentes Aymara. Como salud y estado nutricional están relacionados positivamente con el $\dot{V}O_2\text{max}$ (10), el nivel socio-económico más alto de los Europeos puede haber reducido la verdadera diferencia del $\dot{V}O_2\text{max}$ entre los grupos étnicos.

Sin embargo, como los Aymaras no estaban enfermos ni malnutridos de acuerdo a los índices antropométricos del estado nutricional (Tabla 1), no es probable que el nivel socio-económico hubiera podido confundir los análisis en forma importante. Tercero, tampoco es probable que las comparaciones étnicas hubieran sido confundidas por diferencias en el nivel de actividad física porque ningún adolescente estaba realizando entrenamiento deportivo. Por lo tanto, hasta donde se puede determinar con exactitud, parece que $\dot{V}O_2\text{max}$ es verdaderamente similar en estos grupos de adolescentes Europeos y Aymara nativos de altura.

Nuestra capacidad para determinar la validez de la hipótesis de la adaptación en el curso del desarrollo se ve limitada por la naturaleza transversal de nuestros datos y por el hecho de que la forma esperada del desarrollo de $\dot{V}O_2\text{max}$ a nivel del mar todavía no es clara (20). Sin embargo, se puede concluir que los resultados del presente estudio concuerdan con las expectativas de la adaptación en el curso del desarrollo porque $\dot{V}O_2\text{max}$ ajustado para el tamaño corporal fué significativamente más grande en los adolescentes mayores que en los menores dentro de cada grupo étnico. Esta diferencia fué especialmente marcada al controlar para la talla, que según los hallazgos de Bailey (11) es el mejor método de control para tamaño corporal en los análisis de $\dot{V}O_2\text{max}$ en jóvenes. El hallazgo que $\dot{V}O_2\text{max}$ medio de los adolescentes mayores se encuentra dentro del rango normal del $\dot{V}O_2\text{max}$ a nivel del mar, mientras que el $\dot{V}O_2$

max de los adolescentes menores está en la parte baja o por debajo del límite normal del $\dot{V}O_2\text{max}$ de nivel del mar apoya también la hipótesis de la adaptación en el curso del desarrollo. Además el hecho que la diferencia relativa del $\dot{V}O_2\text{max}$ entre los grupos etareos fué similar dentro de cada grupo étnico, sugiere que procesos similares están operando dentro de ambos grupos. Sin embargo se debe notar que la significancia funcional de un incremento de $\dot{V}O_2\text{max}$ de 4-5 ml/kg/min en un ambiente hipóxico se desconoce. Apoyo adicional a la hipótesis de la adaptación en el curso del desarrollo sería dado si se encontrarían diferencias similares de acuerdo a la edad en un estudio longitudinal y también si se encontraría una correlación positiva significativa entre $\dot{V}O_2\text{max}$ y tiempo de residencia en la altura en niños migrantes de tierras bajas a la altura, como fué demostrado por Frisnacho y col. (21) en adultos que habían migrado a la altura como niños. Este hallazgo, sin embargo, no se encontró en migrantes Europeos pre-adolescentes (17), lo que sugiere que la adaptación en el curso del desarrollo, si existe, ocurre sobre todo en la adolescencia.

La Tabla 2 indica que existieron diferencias significativas de la ventilación y la capacidad del transporte de oxígeno asociadas a las diferencias entre los adolescentes menores y mayores respecto al $\dot{V}O_2\text{max}$. Por ejemplo, después de ajuste para tamaño corporal, $\dot{V}E$ max, $\dot{V}O_2\text{max}/\text{FC}$ max y VC max fueron más grandes en los adolescentes mayores que en los menores, mientras que $\dot{V}E$ max/ $\dot{V}O_2\text{max}$ fué más pequeño en los mayores que en los menores. Con excepción de FR max y VC max, la diferencia relativa de estos parámetros entre los adolescentes menores y mayores fué similar en ambos grupos étnicos. En general se puede decir, que estas diferencias son como se esperaba (12, 10), aunque como en el caso del $\dot{V}O_2\text{max}$, no es claro si la magnitud de estas diferencias es más grande que se esperaba. Si ésto fuera el caso, entonces los datos del presente estudio apoyarían la hipótesis que los nativos de altura sufren cambios específicos durante la etapa del desarrollo del componente respiratorio del sistema de transporte de oxígeno como respuesta al impacto de la hipoxia de la altura (22, 23).

A pesar de la similitud del $\dot{V}O_2\text{max}$ en los dos grupos étnicos, existieron diferencias, algunas de ellas significativas, entre los adolescentes Europeos y Aymara, de componentes específicos del sistema de transporte de oxígeno.

Particularmente, $\dot{V}O_2\text{max}/\text{FC}$ max y $\dot{V}E$ max ajustados por peso, fueron significativamente más grandes en los Aymara que en los Europeos, al igual que $\dot{V}E$ max/ $\dot{V}O_2\text{max}$ ajustado por peso ó por talla. Además un incremento de $\dot{V}E$ max ajustado por tamaño corporal en los adolescentes Aymara menores en comparación con los mayores estuvo asociado a un incremento importante en VC max ajustado por tamaño corporal y una disminución sustancial de FR max. En los adolescentes Europeos, sin embargo, el incremento de $\dot{V}E$ max entre los grupos etareos estuvo asociado a un incremento mínimo de VC max y un incremento sustancial de FR max. Estas diferencias,

aunque estadísticamente no significativas, son similares a las diferencias encontradas en otros estudios. Por ejemplo, Buskirk (2) encontró que VE aumentó durante el esfuerzo submáximo tanto en residentes Europeos como Amerindios, pero en los Europeos sobre todo mediante un incremento de FR y en los Amerindios mediante un incremento de VC. Además en varios estudios de caucásicos se encontró que el incremento de VE en reposo durante la exposición aguda a la hipoxia se debía sobre todo a un incremento de FR (24, 25, 26). Aunque se necesita más investigación en este campo, las diferencias entre los adolescentes Europeos y Aymara respecto a VE max, VE max/ $\dot{V}O_2$ max, $\dot{V}O_2$ max/FC max y posiblemente también de VC max y FR max, hacen por lo menos surgir la posibilidad, que los Europeos y Aymara durante el desarrollo podrían responder en diferente manera al impacto de la hipoxia hipobárica. Sin embargo, aunque esto sea confirmado en un futuro, la similitud de $\dot{V}O_2$ max en los dos grupos étnicos, una medida integrada de la capacidad funcional total del sistema de trans-

porte de oxígeno, sugiere que ambos grupos son igualmente capaces de cumplir las demandas de oxígeno del organismo durante el esfuerzo máximo en la altura.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a los estudiantes y profesores de los colegios Aleman, Pedro Poveda y San Calixto, particularmente a los Sres. J. Frank, H. Stemplinger, A. Flores y la Sra. A. Royuela por su colaboración, que hizo posible el presente trabajo.

Esta investigación recibió apoyo financiero a través de una beca del Office of Research Administration, Case Western Reserve University, Cleveland, Ohio, otorgada al Dr. Lawrence P. Greksa.

Agradecemos al Dr. Enrique Vargas P., Jefe del Departamento Respiratorio del I.B.B.A. por sus valiosos consejos en la redacción española del presente trabajo.

BIBLIOGRAFIA

1. — BUSKIRK, E.R. Work capacity of high altitude natives. En P. T. Baker (ed.) *The Biology of High-Altitude Peoples*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 173-187, 1978.
2. — BUSKIRK E.R. Work performance of newcomers to the Peruvian highlands. In P.T. Baker and M.A. Little (eds): *Man in the Andes*. Stroudsburg: Dowden, Hutchinson and Ross, pp. 283-299, 1976.
3. — BAKER P.T. Work performance of highland natives. In P.T. Baker and M.A. Little (Eds): *Man in the Andes*. Stroudsburg: Dowden, Hutchinson and Ross, pp.300-314, 1976.
4. — Baker, P.T. Human adaptation to high altitude. *Science* 163: 1149-1156, 1969.
5. — WAY A.B. Exercise capacity of high altitude Peruvian Quechua Indians migrant to low altitude. *Hum. Biol.* 48: 175-191, 1976.
6. — FRISANCHO A.R. Functional adaptation to high altitude hypoxia. *Science* 187: 313-319, 1975.
7. — WEINER J.S. and LOURIE J.A. *Practical Human Biology*. London: Academic Press, 1981.
8. — JELLIFFE, D.B. *The Assessment of the Nutritional Status of the Community*. Geneva, WHO, 1966.
9. — NIE N.H., HULL C.H., JENKINS J.G., STEINBRENNER K., and BENT D.H. *SPSS: Statistical Package for the Social Sciences*, 2nd ed., New York: McGraw-Hill, 1975.
10. — ASTRAND, P.O. and RODAHL K. *Textbook of Work Physiology*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1977.
11. — BAILEY D.A., ROSS W.D., MIRWALD R.L. and WEESE C. Size dissociation of maximal aerobic power during growth in boys. In J. Borms and M. Hebbelinck (eds.): *Pediatric Work Physiology (Medicine and Sport, Vol 11)*. Basel: Karger, pp. 140-151, 1978.
12. — ASTRAND P.O. *Experimental Studies of Physical Working Capacity*. Copenhagen: Ejnar Munksgaard, 1952.
13. — SHEPHARD R.J., ALLEN J.C., BAR-OR O., DAVIES C.T. M., DEGRE S., HEDMAN R., ISHII K., KANEKO M., LACOUR J.R., di PRAMPERO P.E. and SELIGER V. The working capacity of Toronto schoolchildren. *Can. Med. Assoc. J.* 100: 560-566, 1969.
14. — ANDERSEN K.L. The effect of altitude variation on the physical performance capacity of Ethiopian men. II. Development of physical performance during adolescence. In V. Seliger (ed.): *Physical Fitness*. Prague: Charles University, pp. 34-36, 1973.
15. — GODFREY S. *Exercise Testing in Children*. London: W.B. Saunders Co., 1974.
16. — SHEPHARD R.J. *Human Physiological Work Capacity*. Cambridge: Cambridge University Press, 1978.
17. — GREKSA L.P. and HAAS J.D. Physical growth and maximal work capacity in preadolescent boys at high altitude. *Hum. Biol.* 54: 667-695, 1982.
18. — GREKSA L.P., HAAS J.D., LEATHERMAN T.L., THOMAS R.B., SPIELVOGEL H. and PAZ M. Maximal aerobic power in trained youths at high altitude. *Ann. Hum. Biol.* 9: 201-209, 1982.
19. — GROVER R.F., REEVES J.T., GROVER E.B. and LEATHERS J.E. Muscular exercise in young men native to 3100 m. *J. Appl. Physiol.* 22: 555-564, 1967.
20. — BOUCHARD C., THIBAUT M.C. and JOBIN J. Advances in selected areas of human work physiology. *Yearbook of Physical Anthropology* 24: 1-36, 1981.
21. — FRISANCHO A.R., MARTINEZ C., VELASQUEZ T., SANCHEZ J., and MONTOYE H. Influence of developmental adaptation on aerobic capacity at high altitude. *J. Appl. Physiol.* 34: 176-180, 1973.
22. — FRISANCHO A.R., VELASQUEZ T., and SANCHEZ J. Influence of developmental adaptation on lung function at high altitude. *Hum. Biol.* 45: 583-594, 1973.
23. — LAHIRI S., DELANEY R.G., BRODY J.S., SIMPSON M.,

- VELASQUEZ T., MOTOYAMA E.K., and POLGAR C. Relative role of environmental and genetic factors in respiratory adaptation to high altitude. *Nature*: 261: 133-135, 1976.
24. - BURKI N.K. Effects of acute exposure to high altitude on ventilatory drive and respiratory pattern. *J. Appl. Physiol.* 56: 1027-1031, 1984.
25. - GAUTIER H., MILIC-EMILI J., MISEROCCHI G., and SIAPAKAS N.M. Pattern of breathing and mouth occlusion pressure during acclimatization to high altitude. *Respir. Physiol.* 41:365-377, 1980.
26. - REBUCKI A.S., RIGG J.R.A., and SAUNDERS N.A. Respiratory frequency response to a progressive isocapnic hypoxia. *J. Physiol.* 258:19-31, 1976.