

Deuda de oxígeno en el ejercicio submáximo y supramáximo en niños en la altura y a nivel del mar.*

Nicole Fellmann, Mario Bedu, Guy Falgairette, Emmanuel Van Praagh, Jean Coudert, *Hilde Spielvogel.

Abstract

The effect of high altitude (HA) on O_2 debt and blood lactate concentration (L) was examined in 10 to 13-yr-old-children who exhibited the same level of physical fitness.

Fifty-one children acclimatized to HA (3.700 m.) were compared with 40 children living at low altitude (LA, 330 m) during submaximal (20-95% maximal aerobic power, MAP), maximal and supramaximal (115% MAP) bicycle exercise. Results showed that 1) Maximal O_2 uptake ($\dot{V}O_2$ max) and maximal heart rate were significantly ($P < 0.001$) lower at HA than at LA by 15% and 11 beats.min⁻¹, respectively; 2) for a given absolute work load, O_2 debt was higher at HA than at LA, and the slopes of the linear relationships between O_2 debt and O_2 uptake were significantly higher at HA; 3) when related to percent of $\dot{V}O_2$ max, O_2 debts in HA and LA were similar; for 115% MAP maximal O_2 debt and (L) were not significantly different (maximal O_2 debt, 45.7 ± 2.7 and 45.9 ± 3.8 ml. kg⁻¹; (L), 6.0 ± 0.3 and 6.7 ± 0.5 mM) and 4) linear relationships between maximal O_2 debt and (L) were the same at HA and LA. This suggests that HA did not modify the anaerobic capacity in children.

Resumen

Fue estudiado el efecto de la altura (HA) sobre la deuda de oxígeno (O_2) y la concentración de lactato (L) en sangre en niños de 10 a 13 años quienes tenían la misma capacidad física. Se compararon 51 niños aclimatados a la altura (HA) (3.700 m) con 40 niños residentes de tierras bajas (LA, 330 m) durante esfuerzo submáximo (20-95% de la capacidad aeróbica máxima (MAP) y esfuerzo máximo y supramáximo (115% MAP) en el cicloergómetro. Los resultados mostraron que:

* Este trabajo fue publicado con el título "Oxygen debt in Submaximal and Supramaximal exercise in children at high and low altitude" en Journal of Applied Physiology 60 (1): 209-215, 1986.

** Laboratoire de Physiologie, Faculté de Médecine, 63001 Clermont-Ferrand Cedex

*** Instituto Boliviano de Biología de Altura (I.B.B.A) La Paz-Bolivia

- 1) el consumo máximo de oxígeno ($\dot{V}O_2 \text{ max}$) y la frecuencia cardíaca máxima (FC max) fueron significativamente más bajos en HA que en LA por 15% y 11 latidos $\cdot \text{min}^{-1}$ ($P < 0.001$), respectivamente;
- 2) que a una determinada carga de trabajo, la deuda de O_2 fue mayor en HA que en LA y las pendientes de las curvas de correlación entre la deuda de O_2 y el consumo de O_2 fueron significativamente más inclinadas en HA;
- 3) que al comparar las deudas de O_2 con % $\dot{V}O_2 \text{ max}$, fueron similares en HA y LA; para 115% MAP la deuda máxima de O_2 y (L) no fueron significativamente diferentes (deuda máxima de O_2 $45,7 \pm 2,7$ y $45,9 \pm 3,8$ ml. kg^{-1} ; (L) $6,0 \pm 0,3$ y $6,7 \pm 0,5$ mM) y
- 4) que las correlaciones lineales entre la deuda máxima de O_2 y (L) fueron iguales en HA y LA, sugiriendo que HA no modifica la capacidad anaeróbica en niños.

Introducción

A nivel del mar la capacidad anaeróbica en niños es menor que en adultos (1) (2) (3). Los hallazgos en la década pasada mostraron importantes diferencias.

La concentración de lactato en la sangre, el déficit de O_2 y la deuda de O_2 están reducidos (1) (2) (4) (5).

Una capacidad reducida para formar lactato fue sugerida, debido a la menor concentración de lactato y menor actividad de fosfofructokinasa en los músculos (1).

Existen estudios aparentemente contradictorios de los efectos de la altura sobre el metabolismo anaeróbico en adultos. Estas discrepancias dependen en realidad de las condiciones experimentales diferentes. Debido a que el consumo máximo de oxígeno ($\dot{V}O_2 \text{ max}$) disminuye invariablemente con la altura, los cambios de la concentración de lactato, del déficit de O_2 , y de la deuda de O_2 varían de acuerdo a la altura, el período de aclimatación, las condiciones hipóxicas y/o hipobáricas de laboratorio y la intensidad del ejercicio. La concentración de lactato puede permanecer sin cambio (6) (7), aumentar (8) (9), o disminuir (10) (11). Lo mismo ocurre con el déficit de O_2 y la deuda de O_2 ; un incremento (12) o una disminución (13) (9) han sido descritos. El efecto de la altura sobre el metabolismo anaeróbico de niños nunca fue descrito. Para estudiar este aspecto, comparamos la deuda de O_2 y la concentración de lactato en la altura y en lugar bajo en niños de 10 a 13 años

con el mismo nivel de capacidad física, después de ejercicio inframáximo y supramáximo en el cicloergómetro.

Material y Métodos

Sujetos

Se comparan dos grupos de niños varones y mujeres de 10 a 13 años durante condiciones de ejercicio inframáximo, máximo y supramáximo. Los niños fueron sometidos al ejercicio inframáximo o a las pruebas máximas y supramáximas con el consentimiento de sus padres. Las niñas participaron solamente en las pruebas inframáximas. El primer grupo A (21 niñas, 30 niños) estuvo aclimatado a la altura (HA) en La Paz, Bolivia (3.700 m). Los niños habían nacido en La Paz o vivido durante 3 o más años. El segundo grupo B, de 40 sujetos (15 niñas, 25 niños) viven en tierras bajas (LA) en Clermont-Ferrand, Francia (altura 330 m). En una evaluación médica fueron encontrados sanos. Ambos grupos pertenecieron al mismo nivel socio-económico y tuvieron el mismo grado de capacidad física. Los datos antropométricos se muestran en la Tabla I.

Tabla I

DATOS ANTROPOMETRICOS

n	Edad, Años	Peso corporal, kg.	Talla, cm	Superficie Corp. m ²
Altura Grupo A 30 niños 21 niñas	11.04 ± 1.2 (9-14)	34.9 ± 7.3 (25-59)	141.9 ± 8.3 (125-168)	1.20 ± 0.13 (0.91-1.54)
Lugar Bajo Grupo B 25 niños 15 niñas	11.35 ± 0.66 (10-13)	35.6 ± 5.6 (26-56)	145 ± 5.4 (135-162)	1.25 ± 0.07 (1.02-1.59)

Los valores representan promedios con desviación standard (DS) para ambos sexos conjuntamente con los rangos en paréntesis.

n= N° de sujetos

Procedimiento

En la altura las variables ambientales (promedio ± DS) fueron 498.6 ± 0.9 Torr para la presión barométrica (PB), 16.0 ± 1.0 grados centígrados para la

temperatura del laboratorio (T_a) y 45% para la humedad relativa (h_r)

A nivel del mar la PB fue 732.4 ± 5.4 Torr, T_a fue $19,3 \pm 4.0$ grados centígrados con 45% de h_r . Las pruebas de esfuerzo se realizaron con un cicloergómetro marca Monark. La frecuencia de pedaleo fue mantenida a 70 rpm. Durante la prueba se registró la frecuencia cardíaca (FC) mediante un electrocardiograma.

Las muestras de aire espirado fueron recolectadas en bolsas Douglas y los volúmenes fueron medidos en un espirómetro marca Tissot con capacidad de 100 litros. Las fracciones de O_2 y CO_2 en el aire espirado fueron determinadas en analizadores físicos. La ventilación pulmonar (VE), la relación de intercambio de gas respiratorio (Cociente respiratorio $R = V_{CO_2}/V_{O_2}$), donde V_{CO_2} es el CO_2 eliminado y V_{O_2} es el O_2 consumido, y los equivalentes respiratorios para O_2 (VE/V_{O_2}) y CO_2 (VE/V_{CO_2}) fueron calculados para cada recolección de aire espirado.

Pruebas máximas y supramáximas

Se midió el V_{O_2} max por el método directo en 11 niños en la altura y 13 a nivel del mar en una prueba de esfuerzo graduado. De los índices ventilatorios y del intercambio de gas indicados anteriormente se estimó el umbral anaeróbico (AT) en 11 niños del grupo A y en 12 del grupo B. Mediante tests de esfuerzo graduado invasivos en 6 casos del grupo B, evaluamos con más precisión el AT a partir del análisis del lactato sanguíneo además de los criterios respiratorios arriba indicados. Estimamos la deuda de oxígeno a partir del ejercicio supramáximo.

Medición del V_{O_2} max

Después de un calentamiento de 4 minutos con un ejercicio correspondiente a $140-150$ latidos $min^{-1} \pm$ de FC aproximadamente los sujetos incrementaron la potencia por 17,5 W en etapas sucesivas de 1.5 min hasta el agotamiento.

Las muestras de aire espirado se recolectaron en los últimos 30 segundos de cada etapa para la determinación de V_{O_2} y V_{CO_2} .

Determinación de AT. Método no-invasivo

Se determinó AT como el porcentaje de V_{O_2} max en el que VE y V_{CO_2} comenzaron a incrementar en forma no-lineal, con un incremento sistemático en el equivalente respiratorio de O_2 , sin un incremento concomitante del equivalente respiratorio de CO_2 (AT VE/V_{O_2}) (14) (15) (16).

Método invasivo

Los 4 primeros minutos del test consistieron en un pedaleo a 17,5 Watts.

Después se incrementó la carga por 17.5 W hasta el agotamiento. Cada etapa tuvo una duración de 1.5 min. Muestras de sangre (0.5 ml) se tomaron durante los últimos 30 segundos de cada etapa mediante una pequeña cánula que había sido insertada en una vena cubital. Al mismo tiempo se midieron los índices ventilatorios y del intercambio de gases. La sangre fue desproteïnizada inmediatamente y analizada por su contenido de lactato según el método enzimático de Gutmann y Wahlefeld (17). El AT determinado a partir del incremento sistemático de la concentración de lactato fue usado como criterio de medición(AT lact), además de los criterios no invasivos arriba mencionados.

Determinación de la deuda de oxígeno

Varios días después los sujetos fueron estudiados nuevamente .

Después de haber descansado por 10-20 min en posición decúbito dorsal, se recolectó el aire espirado durante 5 min para la determinación del $\dot{V}O_2$ en reposo ($\dot{V}O_2$ RR). Se siguió el mismo procedimiento con el sujeto estando en el cicloergómetro ($\dot{V}O_2$ BR). Después de un calentamiento durante 4 minutos a 50% aproximadamente de la capacidad aeróbica máxima (MAP), la carga fue incrementada de grosso modo a 115% de MAP y fue sostenida por lo menos durante 1.5 min. El aire espirado fue recolectado en 10 bolsas: una muestra durante los últimos 30 segundos del esfuerzo supra-máximo y después 9 muestras durante un período de recuperación de 30 min, mientras que los sujetos permanecían sentados en cicloergómetro.

Fueron excluidos dos experimentos del grupo B porque $\dot{V}O_2$ y FC no correspondieron a los valores máximos obtenidos mediante el método directo. Se tomaron muestras de sangre capilar del pabellón auricular para la determinación del ácido láctico 2 min. después del ejercicio máximo y del ejercicio supra-máximo. La sangre fue desproteïnizada inmediatamente y analizada por su contenido de lactato mediante el mismo método utilizado para AT.

Pruebas inframáximas

En 40 niños del grupo A y 29 del grupo B, determinamos $\dot{V}O_2$ max mediante el método indirecto y estimamos la deuda de O_2 de ejercicios inframáximos.

$\dot{V}O_2$ max. Se determinó el $\dot{V}O_2$ max mediante un método indirecto utilizando la

correlación lineal entre FC y porcentaje de $\dot{V}O_2$ max, descrita en niños a LA por Flandrois y col. (4); para niños: % de $\dot{V}O_2$ max = $0.912 \text{ FC} - 82.3$; para niñas = % de $\dot{V}O_2$ max = $0.996 \text{ FC} - 103.5$.

A HA modificamos estas relaciones, inclusive la frecuencia cardíaca máxima (FC max) que disminuyó por 10 latidos. min de acuerdo a estudios. previos a la misma altura (18); para niños: % de $\dot{V}O_2$ max = $0.912 \text{ FC} - 72.3$ para niñas: % de $\dot{V}O_2$ max = $0.996 \text{ FC} - 93.5$.

Determinación de la deuda de O_2

El $\dot{V}O_2$ en reposo fue determinado en la misma forma como en la deuda máxima de O_2 . El ejercicio se realizó después, a una carga de alrededor de 50W. Todo el aire espirado fue recolectado en 8 bolsas; una bolsa durante el último minuto de la prueba de esfuerzo y después 7 muestras durante el período de recuperación de 25 min, mientras que los sujetos permanecían sentados en el cicloergómetro.

Cálculo de la deuda de O_2

La deuda de oxígeno fue calculada mediante adición de las diferencias secuenciales entre el $\dot{V}O_2$ real medido durante la fase de recuperación y el $\dot{V}O_2$ del estado de equilibrio que correspondió al $\dot{V}O_2$ en reposo.

En las pruebas supra-máximas el $\dot{V}O_2$ del reposo se alcanzó a los 20 minutos de la recuperación y en las pruebas de esfuerzo submáximo a los 15 minutos.

Análisis estadístico

Se utilizó el test de t de Student para comparar los valores promedios entre los dos grupos y los valores fueron considerados significativamente diferentes para $p < 0.05$. En el caso de la evaluación de diferencias en las sensibilidades de pendientes, la comparación de las líneas de regresión se hicieron utilizando el test de F (19).

Resultados

Ejercicio máximo

En la Tabla II se comparan los datos bioenergéticos de los dos grupos A y

Tabla II

Comparación de los datos bioenergéticos del ejercicio máximo entre altura y tierras bajas

	$\frac{VO_2 \text{ max}}{L \text{ STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{ml STPD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}}$		FC max lat.min ⁻¹	R	VE L.BTFS.min ⁻¹ m ²	(L) max mM
Grupo A						
Altura	1,57 ± 0,08	41,8 ± 4,4	193 ± 2	1,18 ± 0,02	63,52 ± 3,64	6,0 ± 0,3
n	11	11	11	11	11	9
Grupo B						
Tierras bajas	1,99 ± 0,07	52,7 ± 1,7	204 ± 2	1,02 ± 0,03	54,14 ± 3,29	6,7 ± 0,5
n	13	13	13	13	13	12
p	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,002	NS

Los valores representan promedios ± DS; n = N° de sujetos; VO₂ max = consumo máximo de oxígeno; FC max = frecuencia cardíaca máxima; R = cociente respiratorio; VE=ventilación pulmonar; (L) max = concentración máxima de lactato; NS = no significativo.

B. $\dot{V}O_2$ max y FC fueron más bajas ($P < 0.001$) en el grupo A que en el B, 15% de $\dot{V}O_2$ max -11 latidos $\cdot \text{min}^{-1}$, R y VE (LBTPS. $\text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) fueron más altos en el grupo A que en el B, +16 y +17% respectivamente. No se encontró diferencia significativa en la concentración máxima de lactato sanguíneo entre los grupos.

Deuda de O_2

Deuda máxima. El ejercicio experimental fue sostenido por un promedio de 102 seg. en el grupo A y 118 seg. en el grupo B, valores que no fueron significativamente diferentes. El promedio de la deuda máxima de O_2 en el grupo A (1.64 ± 0.14 litros o $45.7 \pm 2.7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$, promedio \pm DS) no fue estadísticamente diferente del valor obtenido en el grupo B (1.73 ± 0.16 litros o $45.9 \pm 3.8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$).

De la misma manera, la concentración de lactato medida inmediatamente después del segundo minuto de recuperación no fue diferente entre los dos grupos.

Grupo A ($7.6 \pm 0.6 \text{ mM}$)	Grupo B ($6.5 \pm 0.6 \text{ mM}$)
---	---

Deuda inframáxima. Después de 5 minutos de ejercicio inframáximo, el promedio de la deuda de O_2 no fue significativamente diferente entre los grupos (Grupo A 0.73 ± 0.19 litros o $21.8 \pm 5.9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$; Grupo B 0.71 ± 0.20 litros o $20.8 \pm 5.8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$ promedio \pm DS).

Relación entre deuda de O_2 y $\dot{V}O_2$

La deuda de O_2 aumentó con la intensidad del ejercicio en ambos grupos. Las figuras 1 y 2 muestran la correlación lineal entre la deuda de O_2 y el $\dot{V}O_2$ net (es decir, $\dot{V}O_2 \text{ ex} - \dot{V}O_2 \text{ R}$, donde los signos escritos al lado de $\dot{V}O_2$, ex y R, indican ejercicio y reposo, respectivamente).

Las líneas de regresión en ambos grupos fueron altamente significativas ($P < 0.01$) y la pendiente en el grupo A fue significativamente ($P < 0.01$) más alta que en el grupo B. Igualmente al correlacionar la deuda de oxígeno con el porcentaje de $\dot{V}O_2$ max ($\dot{V}O_2 \text{ ex} - \dot{V}O_2 \text{ R} / \dot{V}O_2 \text{ max} \times 100$), se evidenció una línea de regresión altamente significativa ($P < 0.001$) en ambos grupos como se muestra en la Fig. 3. Las pendientes sin embargo, no fueron estadísticamente diferentes.

En estas relaciones debemos destacar la dispersión de los datos. Particularmente, una estimación muy precisa de la deuda es difícil por dos razones: Primero, en la última parte del período de recuperación, pequeños valores de $\dot{V}O_2$ incrementaron la importancia del error relativo de las mediciones experimentales. Segundo, estas últimas mediciones de $\dot{V}O_2$ exceden el $\dot{V}O_2$ en reposo solamente por pocos mililitros. Sin embargo, hasta esta pequeña cantidad puede tener un efecto importante en el cálculo de la deuda total, debido a su integración por un tiempo largo.

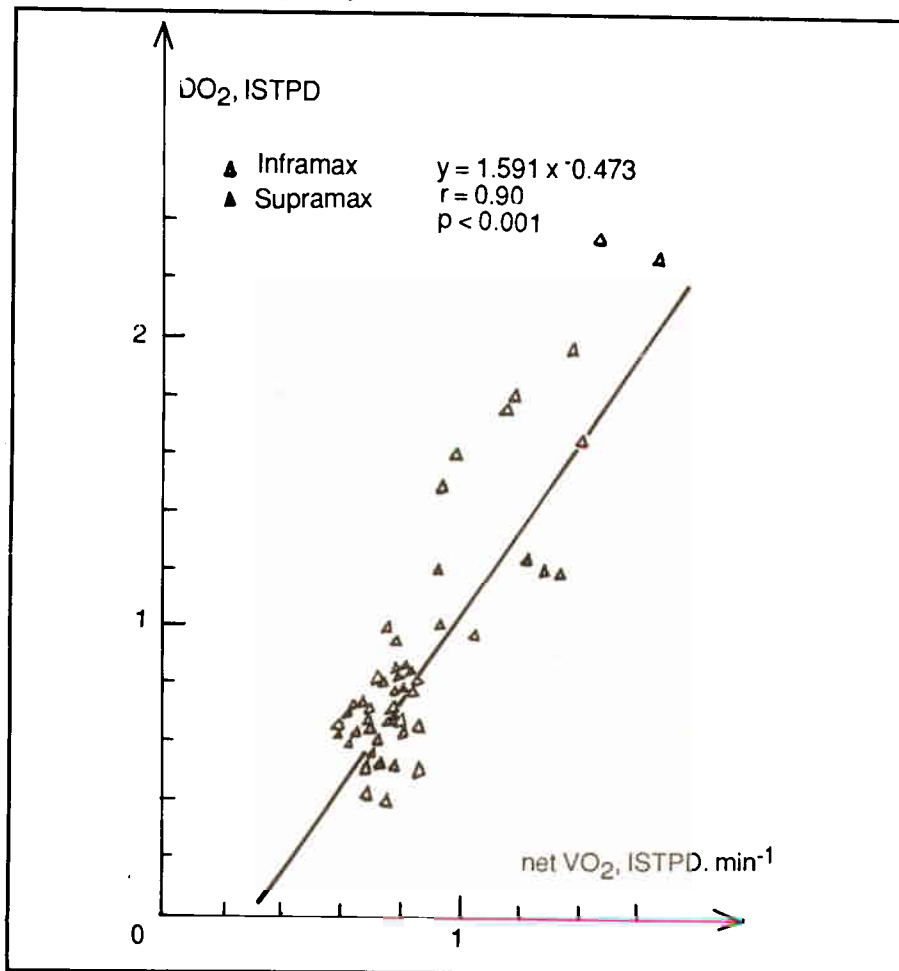


Fig.1. La deuda de oxígeno (DO_2) correlacionada con el respectivo consumo de oxígeno neto ($\dot{V}O_2$) para cada sujeto a dos niveles de carga en la altura.

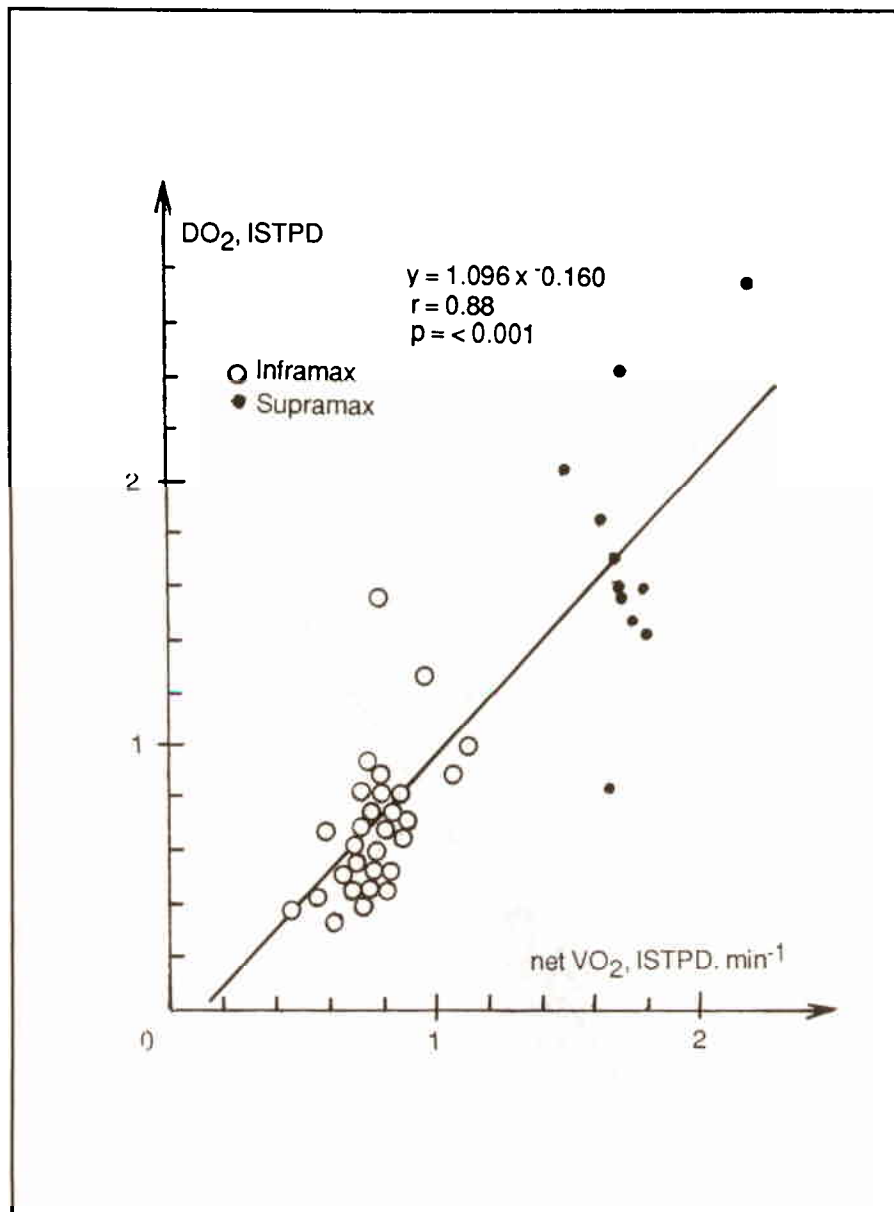


Fig.2. La deuda de oxígeno relacionado con el consumo de oxígeno neto para cada sujeto a dos niveles de carga en tierras bajas.

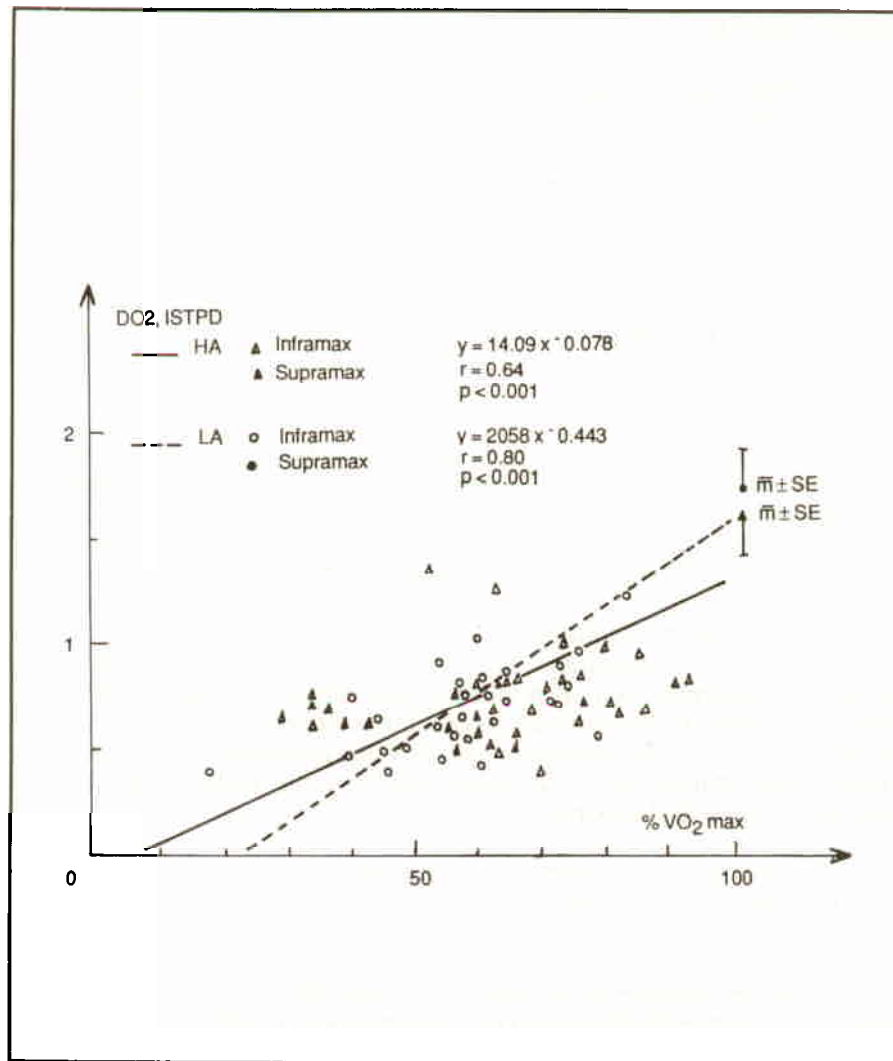


Fig.3. La deuda de oxígeno (DO_2) correlacionada con el respectivo porcentaje relativo del consumo máximo de oxígeno (VO_2 max) para cada sujeto durante el ejercicio inframáximo en la altura (HA) y en tierras bajas (LA). Para el ejercicio supramáximo (100% VO_2 max) los valores de DO_2 son valores promedios $\pm DS$ de todas las pruebas a HA y LA.

Las pendientes de HA y LA no son significativamente diferentes.

Umbral anaeróbico

Solamente están incluidos los datos del equivalente respiratorio para los índices no-invasivos, porque se comprobó que la relación de VE/V_{O_2} es el índice ventilatorio o de intercambio de gases más sensible para la detección de AT (14) (15). Mediante el método no invasivo, AT VE/V_{O_2} en relación con el porcentaje de V_{O_2} max, fue detectado aproximadamente a 70-75% de V_{O_2} max tanto a LA como HA (Fig.5) Como se destaca en la Fig.4 del método invasivo a LA, el AT lact relativo fue detectado a 65% de V_{O_2} max aproximadamente. Este valor estuvo muy cerca al valor predicho de AT por el método invasivo a LA (Fig. 4) y del método no invasivo a LA y HA (Fig. 5).

Discusión

La disminución de V_{O_2} max (15%) observada en los niños de La Paz fue del mismo orden de magnitud encontrado previamente en niños nadadores residentes de La Paz (18) y en niños etiopíes no entrenados de 10 - 12 años habitando a una altura de 3.000 m.(20) . Una disminución a la misma altura fue comunicada por numerosos investigadores en hombres adultos (21), (22), (23), (9). La reducción de 11 latidos.min⁻¹ de la frecuencia cardíaca máxima fue uno de los factores limitantes del transporte de O_2 en el grupo A. Estos valores (193 y 204 latidos.min⁻¹ en el grupo A y B respectivamente) estuvieron en concordancia con los resultados obtenidos en el mismo grupo en el esfuerzo máximo, en la mayoría de los estudios realizados en la altura y a nivel del mar. (1), (2), (5). En asociación con el valor promedio del cociente respiratorio, que siempre fue 1, estos datos indicaron que ambos grupos habían alcanzado su capacidad máxima.

Dos hechos sobresalientes respecto al metabolismo anaeróbico en niños en la altura emergen del presente estudio, y hasta el presente no fue publicado ningún trabajo sobre el tema.

1. La deuda de oxígeno incrementó con la intensidad del trabajo en ambos grupos. Los mismos resultados fueron comunicados en niños y niñas a nivel del mar (5) y en adultos en la altura. (9). Según los investigadores, esto también es real para la duración de las pruebas de esfuerzo. Por lo tanto pudimos comparar nuestros sujetos, puesto que la duración media del ejercicio inframáximo (5 min) y supramáximo (1 min., 50 seg.) fueron similares para ambos grupos. De todas maneras, la deuda de O_2 fue más baja en comparación con otros estudios en adultos, en concordancia con hallazgos previos a nivel del mar (1) (5). Si el ejercicio fue expresado en términos absolutos, los niños del grupo A mostraron deudas de O_2 más altas que los niños del grupo B. Pero si la relación se hace con el porcentaje de V_{O_2} max, todos los valores de la

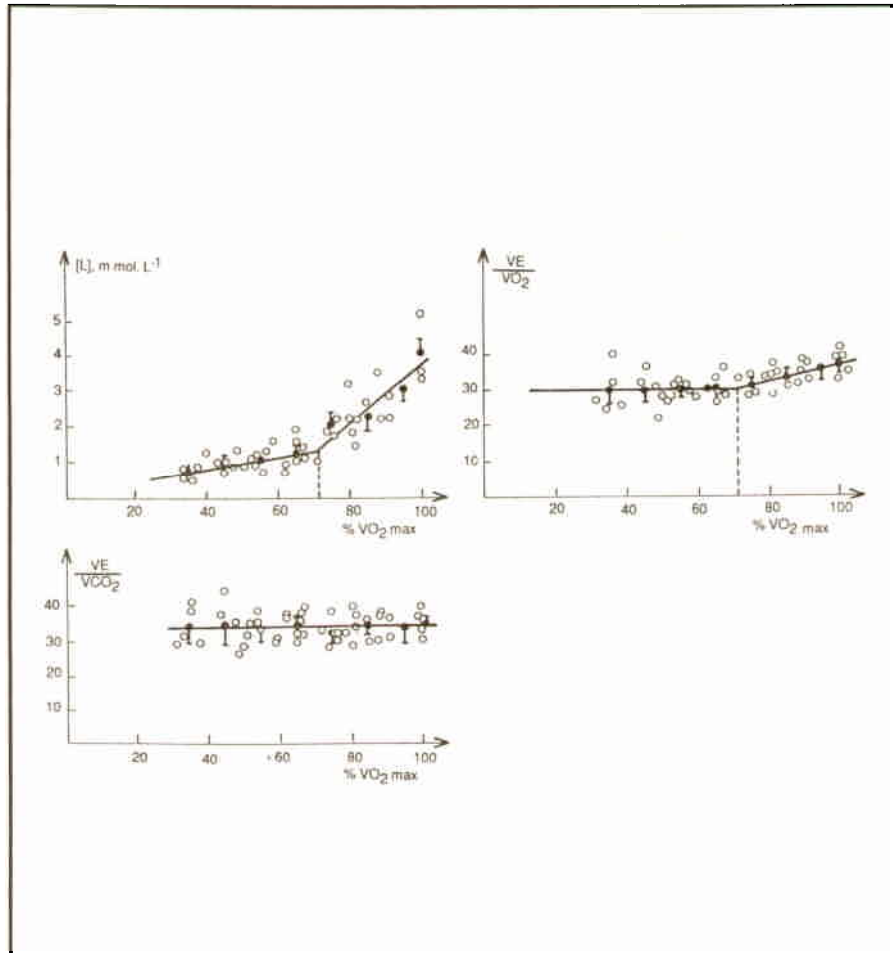


Fig.4. Concentración de lactato sanguíneo (L) y equivalente respiratorio para O₂ y CO₂ correlacionados con el porcentaje del consumo máximo de oxígeno (VO₂ max) para 6 sujetos, determinado durante el ejercicio progresivo en tierras bajas (círculos abiertos). Los datos del equivalente respiratorio son calculados como ventilación pulmonar (VE) ATPS dividida entre el consumo de oxígeno (VO₂) o el anhídrido carbónico eliminado (VCO₂) STPD.

Las líneas sólidas se obtuvieron de los valores promedios (círculos llenos, promedios \pm DS) calculados a 10% intervalos de VO₂ max. Las líneas verticales interrumpidas representan los umbrales anaeróbicos para lactato y VE/VO₂.

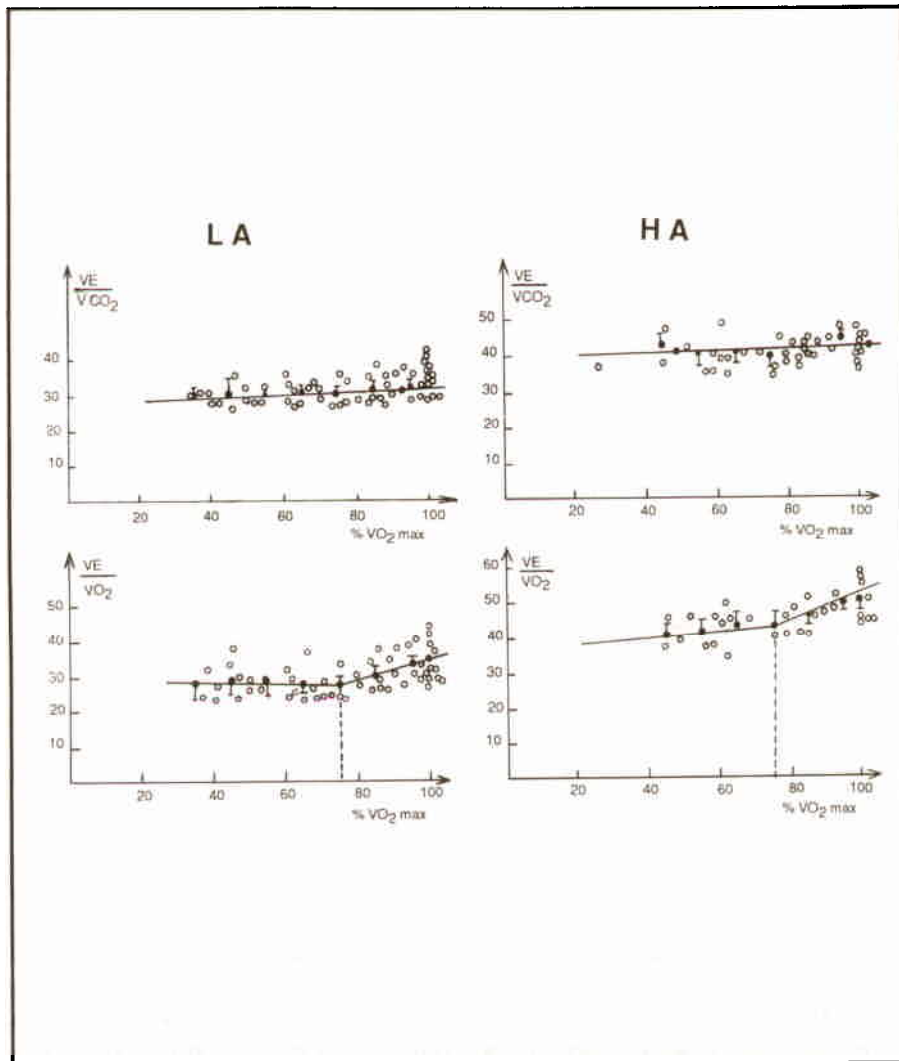


Fig.5. El equivalente respiratorio para O_2 (VE/VCO_2 y VE/VO_2) correlacionado con el porcentaje del consumo máximo de O_2 ($VO_2 \text{ max}$) para 12 sujetos en tierras bajas (LA) y 11 en la altura (HA) calculados en base a los métodos no invasivos (Círculos abiertos). Las líneas sólidas se obtienen de los valores promedios (círculos llenos, promedios \pm DS) como descrito en la leyenda de la Fig. 4. Las líneas verticales interrumpidas representan el umbral anaeróbico para VE/VO_2 a LA y HA.

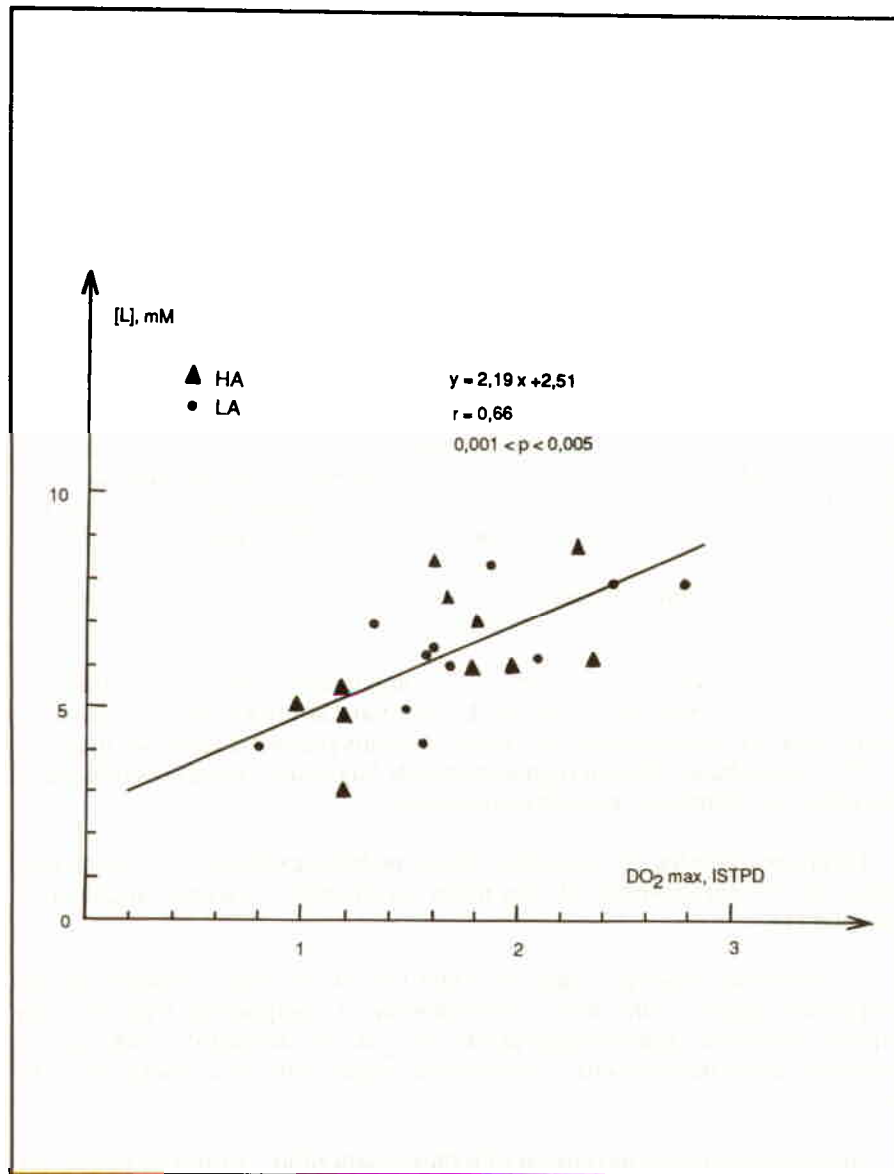


Fig.6. Concentración de lactato sanguíneo ([L]) correlacionada con la deuda de O₂ respectiva durante el ejercicio supramáximo (DO₂ max) para cada niño en la altura (HA) y en tierras bajas (LA).

deuda tanto del grupo A como del grupo B cayeron sobre la misma línea (Fig.3), y en particular no se observó ninguna diferencia entre A (1,64 litros STPD) y B (1,73 litros STPD) en el ejercicio supramáximo. Estos resultados sugieren un AT igual tanto para los niños de A como para los niños de B. Utilizando los índices respiratorios y del intercambio de gases, calculamos el mismo valor de AT para ambos grupos (alrededor de 70-75% de $\dot{V}O_2$ -max). Aunque la detección de AT mediante lactato fue más precisa que los métodos no invasivos, los hallazgos similares de AT $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ y AT lact en el grupo B sugirieron que AT en los niños del grupo A no fue muy distinto de AT en los niños del grupo B. Un estudio previo (24) reportó valores similares de AT en LA para niños de la misma edad y del mismo nivel de capacidad física. Sin embargo, la determinación precisa de AT permanece problemática no obstante los varios protocolos utilizados para su detección.

La determinación no-invasiva de la respuesta de gas tuvo un rango grande de variabilidad según el revisor (25). Una elevación del lactato venoso no se encuentra siempre en las pruebas de esfuerzo, y aunque se observe su incremento, éste siempre queda detrás de la elevación del lactato arterial (25).

Las concentraciones de lactato sanguíneo a HA y LA no fueron diferentes después del ejercicio máximo y supramáximo.

Estos valores que son más bajos en comparación tanto con adultos no-entrenados como entrenados a nivel del mar para la misma carga relativa de trabajo están en concordancia con varios trabajos previos a nivel del mar (2), (3), (5). Sin embargo, fueron ligeramente más bajos que los valores indicados para niños por algunos de estos investigadores.

Diferentes niveles de capacidad física podrían explicar esta diferencia, puesto que el entrenamiento de los niños incrementó el lactato sanguíneo y muscular (1).

La suposición clásica es que, la deuda total de O_2 esté compuesta de un componente rápido y uno lento. Teóricamente el componente lento ha sido definido en adultos como el equivalente en O_2 de la cantidad de ácido láctico formado al inicio del ejercicio y constituye la mayor parte de la deuda total (26) (6).

Nuestros hallazgos apoyan esta hipótesis para niños. Como se puede ver en la Fig.6 el lactato sanguíneo medido durante el ejercicio supramáximo relacionado con la deuda máxima de O_2 correspondiente, mostró una correlación lineal. En adición, fue lo mismo en A y B. Estos resultados sugerirían que el metabolismo del lactato en niños no sea afectado por la hipoxia crónica.

Existe muy poca información respecto al efecto de la hipoxia crónica sobre las actividades enzimáticas de las células. La mayoría de los estudios se realizaron en animales. En ratas y ganado aclimatado a la altura, el metabolismo aeróbico evaluado por el número de mitocondrias y las actividades de adenosintrifosfatasa y citocromo oxidasa incrementó (27), (28), (29), mientras que la capacidad anaeróbica permaneció sin cambio o disminuyó. A nivel del mar, sin embargo, Eriksson y col. (1) estudiaron in extenso el metabolismo muscular y las actividades enzimáticas en niños de 11 a 13 años. Ellos mostraron que una capacidad anaeróbica reducida evaluada por fosfofructokinasa incluyó una habilidad reducida para formar lactato en comparación con adultos. Los mismos autores también demostraron que la fosfofructokinasa y succinato dehidrogenasa (actividad enzimática oxidativa) incrementaron después del entrenamiento.

Nuestros resultados sugieren sin embargo, que la altura no modifica la capacidad anaeróbica de los niños. Por lo tanto sería interesante de obtener más información sobre el metabolismo aeróbico y anaeróbico, particularmente sobre las actividades enzimáticas que están involucradas en el ejercicio de niños en la altura y en tierras bajas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Esperanza Cáceres, Instituto Boliviano de Biología de Altura, La Paz, a Michel Delaitre y Jean-Marie Allard, Laboratorio de Fisiología, Clermont-Ferrand, por su excelente asistencia técnica.

Este trabajo recibió soporte económico del Servicio de la Cooperación Técnica.

Bibliografía

1. ERIKSSON, B.O, P.D. GOLLNICK, and B. SALTIN.
Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11-13 years old.
Acta Physiol. Scand. 87: 485-497, 1973.
2. ERIKSSON, B.O. and G. KOCH,
Effect of physical training on hemodynamic response during submaximal and maximal exercise in 11-13 years old boys.
Acta Physiol Scand. 87: 17-39, 1973

3. ERIKSSON, S. O and B SALTIN,
Muscle metabolism during exercise in boys aged 11 to 16 years compared to adults.
Acta Paediatr. Belg. 28: 257-265, 1974
4. FLANDROIS, M., M.H. MAYET, M. GRANDMONTAGNE and R. FLANDROIS
Essai de validation de l'abaque d' Astrand-Ryhming chez l' enfant (Abstract).
J. Physiol. Paris 77:34, 1981
5. GRANDMONTAGNE, M.,
Evolution de la capacité physique aérobie et anaérobie chez l' enfant ou sédentaire de 10 a 15 ans (these pour le doctorat en Médecine) Lyon, France, 1977
6. DI PRAMPERO, P, E., U. BOUTEILLER and P. PIETSH
Oxygen deficit and stores at onset of muscular exercise in humans
J. Appl. Physiol. 55: 146-153, 1983
7. HOGAN, M., R. COX., and H. WELCH
Lactate accumulation during incremental exercise with varied inspired oxygen fractions.
J. Appl. Physiol 50: 1134-1140, 1983
8. JONES, N., D. ROBERTSON., J. KANE and R.A. HART
Effect of hypoxia on free fatty acid metabolism during exercise.
J. Appl. Physiol 33: 733-738, 1972
9. RAYNAUD., J., J.P. MARTINEAUD, H. BORDACHAR, M.C. TILLOUS and J. DURAND
Oxygen debt and deficit in submaximal exercise at sea level and high altitude
J. Appl. Physiol. 37: 43-48, 1974.
10. CERETELLI, P.,
Limiting factors to oxygen transport on Mount Everest
J. Appl. Physiol. 40: 658-667, 1976
11. EKBLÖM, B., P, D. ASTRAND., B SALTIN., J. STENBERG and B. WALLSTROM
Effect of training on circulatory response to exercise,
J. Appl. Physiol 24: 518-528, 1968

12. DURAND J., C.L. PANNIER, J. DE LATTRE., J.P. MARTINEAUD and J.M. VERPILLAT
The cost of the oxygen debt at high altitude, In: Exercise and Altitude, edited by R. Margaria, Milan: Excerpta Med., 1966 p. 40-47
13. CONSOLAZIO, C.F., R.A. NELSON., L.D. MATOUSH and J.E. HANSEN
Energy metabolism at high altitude (3,475 m.)
J. Appl. Physiol. 21: 1732-1740, 1966
14. CAIOZZO, V., J., DAVIS., J. ELLIS., J. AZUS, R. VANDAGRIFF, C. PRIETTO and W. McMASTER, A
Comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold.
J. Appl. Physiol, 53: 1184-1189, 1982
15. DAVIS, J., M. FRANK, B. WHIPP., and K. WASSERMAN
Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men.
J. Appl. Physiol, 46: 1039-1046, 1979
16. WASSERMAN, M., B.J. WHIPP and K. DAVIS
En: Respiration Physiology edited by J.G. Widdicombe.
Baltimore MD: University Park, 1981, vol 23, p. 149-211.
(Int. Rev. Physiol Ser.)
17. GUTMANN, L., and W. WAHLEFELD
Determination of Lactate dehydrogenase and NAD.
In: Methods of Enzymatic Analysis, edited by H.U. Bergmayer., London: Academic, 1974, vol 3, p. 1464-1468
18. GREKSA, L.P., J.D. HAAS, T.L. LEATHERMAN., H. SPIELVOGEL., M. PAZ ZAMORA., L. PAREDES FERNANDEZ and G. MORENO-BLACK
Maximal aerobic power in trained youths at high altitude.
Ann. Hum. Biol. 9: 201-209, 1982
19. SNEDECOR, G.M., and W.G. COCHRAN.
Méthodes statistiques (6th ed.),
Paris: Assoc. Coord. Tech. Agr. 1971
20. ANDERSEN K.,
The effect of altitude variation on the physical performance capacity of

Ethiopian men. II. Development of physical performance capacity during adolescence.

IN; Physical Fitness, edited by V. Seliger, Prague: Charles University Press, 1973, p. 3-36

21. DILL, D. B. and W.C. ADAMS
Maximal oxygen uptake at sea level and at 3090 m. altitude in high school champion runners
J. Appl. Physiol. 30: 854-859, 1971
22. FAULKNER, J.A., J. KOLLIAS. C. B. FAVOUR., E.R. BUSKIRK and B. BALKE
Maximum aerobic capacity and running performance at altitude
J. Appl. Physiol, 24: 684-694, 1968
23. PAZ ZAMORA M., J. COUDERT., J. ERGUETA COLLAO. D. VARGAS and N.GUTIERREZ
Respiratory and cardiocirculatory responses of acclimatization of high altitude natives (La Paz, 3.500 m) to tropical lowland (Santa Cruz, 420 m)
In: High Altitude Physiology and Medicine I, edited by W. Brendel and R. Zink. New York; Springer-Verlag, 1982, p. 21-27.
24. WEYMANS, M., T. REYBROUCK., H. STIJNS and J. KNOPS
Influence of age and sex on the ventilatory anaerobic threshold in children.
In: Children and Exercise. XI . Proceeding of Pediatric Work Physiology, edited by R.A. Binkhorst, H.G.C . Kemper, and W. Saris. Arnhem, Netherlands: Papendall. 1983
25. YEH,M., R. GARDENER, T. ADAMS. F. YANOWITZ and R. CRAPO
Anaerobic Threshold: Problems of determination and validation
J. Appl. Physiol 55: 1178-1186, 1983
26. DI PRAMPERO, P.E.,
Energetics of muscular exercise.
Rev. Physiol Biochem. Pharmacol. 89: 143-222, 1981
27. HARRIS, P.
Some observations on the biochemistry of the miocardium at high altitude.
In: High Altitude Physiology. Cardiac and Respiratory Aspects.
Edited by R. Porter and J. Knight. Edinburgh & London: Churchill Livingstone, 1071 (Ciba Found. Symp)

28. HOCHACHKA, P., C. STANLEY., J. MERKT and JUMAR VALI-NOWSKI
Metabolic meaning of elevated levels of oxidative enzymes in high altitude adapted animals: an interpretive hypothesis
Respir, Physiol. 52: 303-313. 1983
29. REYNAFARGE, B.
Effect of chronic hypoxia on the kinetics of energy transformation in heart mitochondria.
Cardiology 56: 206-208, 1971-1972.