

Prensa Médica

**ORGANO OFICIAL DEL
ATENEO DE MEDICINA DE LA PAZ**

DIRECTOR:

Dr. Roberto Suárez Morales

SUB-DIRECTOR:

Dr. Luis Gallardo Alarcón

COMITE DE REDACCION:

**Dr. Cecilio Abela Deheza
Dr. Hugo Berrios Ledezma
Dr. Carlos Castaños Arellano
Dr. Luis F. Hartmann
Dr. Santiago Medeiros O.
Dr. Mario Michel Zamora
Dr. Fernando Patiño Villegas
Dr. Carlos Alfredo Rivera
Dr. José Valle Antelo**

**VOLUMEN XXI — Nº 5
Septiembre — Octubre, 1969
LA PAZ — BOLIVIA**

FISIOLOGIA Y FISIOPATOLOGIA DE ALTURA
--

Adaptación Fisiológica de los Atletas en la Altura (3.700 mts.): Estudio Bioenergético

J. COUDERT - M. PAZ ZAMORA - J. ERGUET A COLLAO - A. FREMINET - J. P. GASCARD*

Es particularmente interesante para poder apreciar la capacidad física de un atleta, medir su consumo máximo de oxígeno (VO_2 max.) durante un ejercicio muy intenso (ejercicio máximo). Este valor da en efecto una idea de su capacidad aeróbica, que depende de las posibilidades que posee el organismo para recibir, transportar, distribuir y utilizar el oxígeno necesario a los tejidos durante este ejercicio muscular máximo.

Cuando el atleta se encuentra en condiciones de vida de hipoxia crónica, que es el caso de la vida a gran altitud, la determinación del consumo máximo de oxígeno va a permitirnos, entre otros, poder apreciar la adaptación del sujeto a su nuevo medio ambiente.

Algunos trabajos realizados sobre este tema, (Consolazio y col. 1966) (1) (Grover y col. 1967) (2) demuestran que la capacidad aeróbica disminuye en los sujetos nativos de nivel del mar y que vienen a la altura. Durante el curso del trabajo anterior (3) que hemos realizado en La Paz sobre un grupo de 29 atletas, corredores de fondo y semi fondo, que por el tipo de deporte que practican, poseen una capacidad aeróbica mayor, nacidos y que viven a una altura igual o superior a los 3.700 mts. hemos encontrado valores de consumo máximo de oxígeno parecidos a aquellos que han sido encontrados por diferentes autores sobre atletas de la misma especialidad a nivel del

mar (57,7 ml. STPD/min./Kg.); lo que significa que la aclimatación natural propia de los nativos de la altura les permite tener, a pesar de la hipoxia crónica de su ambiente una capacidad aeróbica tan buena como la de los sujetos nacidos y estudiados al nivel del mar.

El principio de este trabajo es doble:

1) Comprobar las posibilidades máximas en La Paz, de dos grupos homogéneos de atletas: (un grupo que viene del nivel del mar y el otro de sujetos nacidos y que viven a gran altura).

2) Tratar de encontrar los factores limitativos de la capacidad aeróbica de los sujetos que vienen del nivel del mar y estudiar las eventuales modificaciones de sus posibilidades máximas durante su estada en La Paz al realizar un ejercicio intenso.

Nosotros hemos tomado, para este objeto, dos equipos de deportistas que practican el foot-ball, profesionales y seleccionados por sus países (Bolivia y Argentina), durante su preparación para las eliminatorias de la Copa Mundial de Foot-ball a disputarse en 1970 en México.

Se trata de 18 atletas argentinos que vienen del nivel del mar y 18 atletas bolivianos nacidos y que viven (la mayor parte de ellos) a gran altitud.

Estos diferentes atletas de la misma especialidad y sometidos a un entrenamiento similar constituyen, a nuestra manera de ver, un grupo de estudio particularmente homogéneo y comparable.

* Instituto Boliviano de Biología de Altura - La Paz - Bolivia.

CUADRO 1.— Valores biométricos medios de los dos grupos de atletas estudiados en La Paz (3.700 mts.).

	Número	Edad (años)	(Peso (Kg.))	Talla (mts.)	Superficie Corporal (mt ²)
ATLETAS DEL NIVEL DEL MAR (Grupo 1)	18	26	74	1,76	1,89
ATLETAS NATIVOS DE LA ALTURA (Grupo 2)	18	25	67	1,71	1,78

I) Metodología.

Los atletas del grupo 1 fueron estudiados el tercer y noveno día de su estada en La Paz. El consumo máximo de O₂ (VO₂ max.) ha sido medido directamente, utilizando el método llamado en "Palier", es decir en gradientes ascendentes.

El sujeto, colocado sobre una bicicleta ergométrica, (tipo Monarch) correctamente calibrada, efectúa un calentamiento previo durante 10 minutos, realizando un ejercicio inframaximal de 100 watos. Luego de este calentamiento el O₂ consumido es medido cada minuto aumentando en gradientes de 25 watos la potencia desarrollada hasta que el sujeto llega a sus posibilidades máximas de pedaleo.

La frecuencia cardíaca es controlada durante toda la prueba mediante registro electrocardiográfico. Para realizar la medida del oxígeno consumido, los gases expirados son recojidos cada minuto en grandes sacos de caucho.

La fracción expirada de O₂ (FEO₂) es determinada gracias a un analizador que utiliza las propiedades paramagnéticas del O² (Sevonex tipo O A 150). Asimismo la fracción expirada de CO₂ (FECO₂) es determinada con la ayuda de un analizador a rayos infrarojos (tipo ONERA) siendo por otra parte los volúmenes de gases expirados medidos en un espirómetro Tissot.

En el minuto que sigue al fin del ejercicio máximo realizado, la presión arterial es medida, por una parte, con el método esfigmomanométrico sobre el sujeto echado; realizándose por otra parte una punción intra-arterial (femoral) para permitir la determinación de las presiones parciales de O₂ y CO₂ (PaO₂) (PaCO₂) y del pH arterial, así como la concentración de ácido láctico — PaO₂ PaCO₂ y el pH han sido medidos en un equipo IL METER modelo 127 Sl. Las dosificaciones de ácido láctico han si-

do hechas luego de centrifugación inmediata, sobre el plasma de la sangre arterial por el método enzimático BOEHRINGER.

La comparación de los valores medios obtenidos ha sido estadísticamente realizada utilizando el test T de FISHER y calculando los valores de P, es decir la probabilidad de que las diferencias observadas sean obtenidas al azar.

II) Resultados.

1. Comparación de los valores obtenidos sobre los atletas del nivel del mar entre el 3º y 9º día de su estada en La Paz (columnas 2 y 3 del cuadro 2).

A pesar de una mejoría significativa de la ventilación máxima (P<0,001), el consumo máximo de O₂ no se mejora (0,5<P<0,9); de otra parte no se notan diferencias significativas en la concentración sanguínea de la hemoglobina (0,2 P 0,3) ni del ácido láctico (P=0,50). Por el contrario, se observa una disminución significativa de la presión arterial en reposo tanto sobre la sistólica como sobre la diastólica (P<4,001 por la sistólica y por la diastólica).

En el instante que sigue a la detención del ejercicio máximo, la presión arterial logra el 3º día valores elevados que tienen tendencia a disminuir de una manera muy significativa entre el 3º y 9º día de aclimatación (P<0,001 para la diastólica y 0,01 P<0,02, para la diastólica).

2. Comparación de los valores obtenidos sobre un grupo de atletas del nivel del mar (grupo 1) durante el curso del 9º día de estada en La Paz y de los que han sido obtenidos sobre el grupo de atletas nativos de la altura (grupo 2) (columnas 3 y 4 del cuadro 2).

Cuadro 2.— Valores obtenidos en La Paz (3.700 mt.) en un grupo de atletas venidos del nivel del mar (grupo 1) y un grupo de atletas nacidos y que viven en la altura (grupo 2).

Valores obtenidos en el curso de un ejercicio máximo	3er. día en La Paz	9º día en La Paz	Atletas de La Paz (3.700 mts.)
VE BTPS 1/mn.	115,3 ± 87,37	121,3 ± 20,3	103,03 ± 18,675 (±Δ*)
VE BTPS 1/mn./mt ² .	60,91 ± 11,04	65,16 ± 10,8	57,88 ± 15,91
VE STPD 1/mn.	59,5 ± 10,6	62,7 ± 10,35	53,30 ± 10,34
VO ₂ ml./mn.	2741,25 ± 141	2599 ± 775	3228 ± 306,9
VO ₂ /ml.mn./kg.	36,99 ± 1,62	36,67 ± 3,47	48,38 ± 11,06
F/mn.	179,2 ± 11,7	175 ± 14,8	175 ± 6,4
PA repos (mn. Hg.):			
Sistólica	130,3 ± 13,3	113,4 ± 8,9	111,2 ± 9,3
Diastólica	84,7 ± 9,9	75,5 ± 5,8	66,7 ± 10,4
Valores obtenidos durante el minuto que sigue al final del ejercicio.			
PA (mm. Hg.):			
Sistólica	191,9 ± 34,7	177,0 ± 32,2	171,2 ± 17,5
Diastólica	83,1 ± 10,0	80,4 ± 8,9	60 ± 10,8
Ht. (%-)	53,0 ± 4,6	52,0 ± 3,1	53,2 ± 4
Hb. (gr. por ciento)	17,35 ± 2,01	17,16 ± 1,03	16,87 ± 0,65
PaO ₂ (mm. Hg.)	67,86 ± 4,67	66,35 ± 5,36	64,59 ± 4,64
PaCO ₂ (mm. Hg.)	21,95 ± 8,68	21,84 ± 2,85	25,25 ± 3,98
pH	7,314 ± 0,243	7,288 ± 0,1	7,348 ± 0,95
Ac. Lact. mm/l	12,81 ± 2,64	14,84 ± 3,04	20,08 ± 3,21

* Δ = Desviación Standard.

Este estudio comparativo permite poner en evidencia los hechos siguientes:

α) El consumo máximo de O₂ (VO₂ max.) expresado en ml. STPD/min./Kg. o en ml. STPD/min. del grupo 1, es significativamente

menos elevado que del grupo 2 (P 0,001) mientras que su ventilación máxima (en lts. BTPS/min. mt²) es significativamente más elevado (P<0,001. Este hecho hace suponer que la eficacia ventilatoria es más grande en los atletas nativos de la altura (grupo 2).

Las frecuencias cardíacas máximas (f. max.) son idénticas en los dos grupos. Por el contrario las presiones arteriales medidas en reposo y durante el minuto que sigue al fin del ejercicio máximo son significativamente más elevadas en el grupo 1, (en reposo y al fin del ejercicio $0,02 < P < 0,05$ por la sistólica y $P < 0,001$ por la diastólica).

A pesar que el hematocrito es significativamente más elevado en el grupo 2 ($P < 0,001$) la concentración sanguínea en hemoglobina es significativamente menor ($0,001 < P < 0,01$) siendo igualmente lo mismo para la presión parcial de oxígeno arterial (P_{aO_2}) ($0,001 < P < 0,01$). En fin, la producción de ácido láctico es significativamente más elevada en el grupo 2 que en el grupo 1 ($P = 0,02$).

III) Comentarios.—

El hecho de que la capacidad aeróbica de los atletas provenientes del nivel del mar no mejora entre el 3º y 9º día de vida en la altura es un fenómeno conocido.

En efecto Consolazio y col. (1) han demostrado ya sobre un grupo de sujetos trasladados del nivel del mar a una altura de 3.734 mts. que se debe esperar una veintena de días para observar una mejoría neta de la capacidad aeróbica de los sujetos observados a esa altitud. De otra parte midiendo en La Paz cotidianamente el consumo de O_2 en reposo sobre los sujetos que vienen del nivel del mar, nosotros hemos podido constatar una baja significativa del consumo de O_2 en reposo alrededor del 9º y del 10º día (4). Las modificaciones hormonales de tipo, en particular, de insuficiencia cortico-supra-renal, señaladas por ciertos autores (Grover 1.963) (5) (Plas 1968) (6) en el curso de los primeros días de aclimatación en la altura están, parece, relacionadas por una parte con la ausencia de mejoría de la capacidad aeróbica de los sujetos que vienen del nivel del mar durante los 10 primeros días de su vida en la altura. Por otra parte, es notable observar entre los dos grupos, que en el grupo 1 (sujetos que vienen del nivel del mar) los factores que intervienen más o menos directamente en el mejor aporte de O_2 a nivel tisular, son comparables: (F max.) e inclusive superiores a los del grupo 2 (ventilación máxima, P_{aO_2} y tasa de hemoglobina sanguínea). A pesar de esto, los sujetos de este grupo tienen un consumo de O_2 máximo

netamente menor. Los factores limitantes de su capacidad aeróbica deben pues situarse en la periferia a nivel muscular.

La mejor capilarización tisular observada en el curso de la hipoxia crónica de la altura (Valdivia y col 1960) (7) es, parece, uno de los factores predominantes en el origen de las diferencias observadas en los dos grupos de atletas; ella permite en efecto una mayor difusión del O_2 en el seno de los tejidos y eleva así la capacidad aeróbica de los sujetos.

Por otra parte, en la medida en que la concentración del ácido láctico de la sangre arterial nos permite tener una idea aproximada de la importancia del metabolismo anaeróbico, los atletas nativos de la altura presentan una capacidad anaeróbica superior a la de los atletas que vienen del nivel del mar.

Nos es grato agradecer muy particularmente a nuestros colaboradores, Dr. Coevoet B., Lydia Quiroz y Yolanda Mallea por su activa participación en este trabajo. Así mismo nuestro reconocimiento al cuerpo médico, directivo e integrantes de los seleccionados nacionales de Foot-ball de las Repúblicas de Bolivia y Argentina.

BIBLIOGRAFIA

1. FRANK CONZOLAZIO, RICHARD A. NELSON, LE ROY O. MATOUSH, and JAMES E. HANSEN: Energy metabolism at high altitude (3475 m.) J. Appl. Physiol. 21: 1732-1740. 1966.
2. GROVER R. F. J. T. REEVES, E. B. GROVER and J. E. LEATHERS: Muscular exercise in young men native to 3.100 altitude — J. Appl. Physiol. 22: 555, 1967.
3. JEAN COUDERT Y MARIO PAZ ZAMORA. Estudio del consumo máximo de oxígeno en altitud sobre un grupo de atletas (1º coloquio boliviano - peruano de Fisiopatología de Altura, La Paz, Bolivia 9-11 diciembre 1968). Enfermedades del Tórax 2: 67-69, 1969.
4. J. RAYNAUD, J. P. MARTINEAUD, J. COUDERT, M. C. TILLOUS et P. MARCONNET: Consommation d'oxigène au repos et à l'exercice au cours de l'acclimatation à l'altitude. J. Physiol. 61: 1967, 1969.
5. GROVER R. F., J. Appl. Physiol. 18: 909, 1969.
6. PLAS F. Presse Med. 76: 1143, 1968.
7. VALDIVIA E. WATSON J. M. DASS, C.M.S. and MADISON: Histologic alterations in muscles of guinea pigs during chronic hypoxia A. M. A. Arch. Path 69: 199, 1960.