

Estudio comparativo de las capacidades aeróbica y anaeróbica a gran altitud 3.750 mts. entre atletas nativos de la costa y de la altura

Por: J. Coudert, M. Paz—Zamora, J. P. Gascard y J. Durand.

(Instituto Boliviano de Biología de la Altura)

El consumo de oxígeno máximo ($VO_2\max$) aprecia globalmente el límite superior de la aptitud que posee el organismo para tomar, transportar, distribuir o utilizar el oxígeno atmosférico. La repetición de las medidas en los sujetos venidos de nivel del mar y que viven en la altura y la comparación de los valores obtenidos con la de los nativos de la misma, de aptitud física comparable, permite seguir los progresos de la adaptación.

Pero la literatura no proporciona todavía nada más que pocos de estos datos comparativos (1—3—4—7 8).

El principio del siguiente trabajo es el de:

1° Comparar los valores de la $VO_2\max$ en la altura, en dos grupos homogéneos de atletas; el uno, formado por sujetos recientemente venidos de nivel del mar, el otro constituido por sujetos nacidos y residentes en la altura.

2° Investigar cual es el factor limitante del metabolismo aeróbico en los sujetos transplantados a la altura.

3° Comparar la $VO_2\max$ a la llegada y después de una estadía de 9 días en la altura, de este último grupo.

MATERIAL Y TECNICA.— El estudio ha sido realizado a 3.750 mts. (PB 494 mm. Hg., $PIO_2 = 94$ mm. Hg.) en La Paz Bolivia. Los sujetos, 18 residentes y 18 transplantados eran deportistas profesionales de la misma especialidad (foot—ball) seleccionados para representar a sus países en una competencia considerada como muy importante (Copa del Mundo). Los unos y los otros, han seguido un entrenamiento muy intenso y comparable (Cuadro 1).

El ejercicio ha sido realizado sobre una bicicleta ergométrica (Hellige France) calibrada convenientemente. La potencia aeróbica máxima se la obtuvo por "escalones", según la técnica de Balke (2).

Durante 10 minutos, el sujeto ha efectuado un ejercicio sub—máximo de 100 watts, después la potencia demandada ha sido aumentada en los escalones de 25 watts, hasta que el sujeto obtuvo un consumo de oxígeno máximo.

Los VO_2 han sido medidos en circuito abierto sobre el gas expirado recogido durante 1 minuto en un saco de Douglas, impermeable al CO_2 .

Las fracciones O_2 y CO_2 han sido determinadas físicamente en virtud del efecto para—magnético (Servonex OA — 150) y por absorción infra—roja (ONERA). El volumen del gas fue a su vez medido en un espirómetro Tissot.

Durante toda la duración de la prueba, el E. C. G. ha sido registrado para poder contar con la frecuencia cardíaca.

A la detención del ejercicio (durante el primer minuto) una punción de la arteria femoral ha sido hecha y obtenidas muestras de sangre para medir PaO_2 , $PaCO_2$, PaH (IL METER 127 S1) y la concentración plasmática de ácido láctico por el método enzimático de BOEHRINGER.

P. ha sido calculada según el test de STUDENT, modificado por las pequeñas muestras y aparejada, en el caso de la comparación de datos obtenidos el 3° y 9° días, sobre el grupo transplantado a gran altitud.

RESULTADOS.— (Cuadro II —III).

1° De la comparación de los datos recogidos el 3° y 9° días de estadía en la altura, en los 18 sujetos llegados de nivel del mar, se observa que: $VO_2\max$ no sufre modificaciones significativas; ocurriendo lo mismo con la ventilación y la frecuencia cardíaca máxima, con el hematocrito, la tasa de hemoglobina, y la concentración plasmática de ácido láctico.

CUADRO I

	Número	Edad (años)	Peso (Kg.)	Talla (cm)	Sup. Corp. (m ²)
Atletas del Nivel del Mar	18	26	74	177	1.89
Grupo M		(±3)	(±7)	(±8)	(±0,14)
Atletas Nativos de la Altura	18	25	67	171	1.78
Grupo A		(±3)	(±6)	(±7)	(±0,11)

-Datos biométricos de los dos grupos de sujetos.
Valores medios y desviaciones standar tipo; la superficie corporal ha sido obtenida utilizando la Tabla de
DUBOIS.

CUADRO II

	Atletas del Nivel del Mar		Atletas Nacidos e residentes en la altura	
	3er. Día en La Paz	P	9eno. Día en La Paz	P
V_E				
L/mn BTPS	115,3 ± 9,2	NS	121,3 ± 20,3	0,01 < P < 0,02
L/mn STPD	59,5 ± 10,6	NS	62,7 ± 10,3	P < 0,001
ml/mn STPD	2741 ± 141	NS	2641 ± 880	0,01 < P < 0,02
VO ₂ ml/mn/m ₂ STPD	1360 ± 236	NS	1325 ± 83	P < 0,005
ml/mn/KgSTPD	37 ± 2	NS	36,7 ± 3	0,001 < P < 0,01
F	179 ± 12	NS	175 ± 15	NS
				175 ± 6

-Valores medios y desviaciones standar tipo, de los datos obtenidos en el curso de un ejercicio máximo en los 18 sujetos transplantados, en el curso de su estadía en la altura y en los sujetos nativos de la misma.

CUADRO III

Atletas del nivel del mar

Atletas nacidos y residentes en la altura

	3er Día en La Paz	P	9eno. Día en La Paz	P
HT (%)	53,0 ± 4,6	NS	52,0 ± 3,1	NS
Hb (gr. %)	17,35 ± 2,01	NS	17,16 ± 1,03	NS
Pa O ₂ (mm Hg)	67,86 ± 4,67	NS	66,33 ± 5,36	NS
Pa CO ₂ (mm Hg)	21,95 ± 8,68	NS	21,84 ± 2,85	0,01 < P < 0,02
Pa H	7,314 ± 0,243	NS	7,288 ± 0,100	0,05 < P < 0,10
Ac. Lact. (mM/l)	12,81 ± 2,64	NS	14,84 ± 3,04	0,01 < P < 0,02

-Valores medios y desviaciones standar tipo de los datos obtenidos en el minuto que sigue al ejercicio máximo en los sujetos transplantados en el curso de su estadía en la altura y en los sujetos nativos de la misma.

2° Si comparamos los atletas nativos de la altura a los de nivel del mar, los siguientes hechos resultan:

- a) La VO_2 max es superior en los primeros (grupos A).
- b) El débito ventilatorio correspondiente es menor, de donde un equivalente ventilatorio de un litro de oxígeno inferior.
- c) Las frecuencias cardíacas máximas en los 2 grupos no son significativamente diferentes.
- d) Sucede lo mismo con los valores del hematocrito, de la hemoglobina, y de la PaO_2 . Por el contrario, $PaCO_2$ y la concentración plasmática de ácido láctico son significativamente más elevadas en los atletas nativos de la altura, así como el PaH .

DISCUSION.— El hecho de que la capacidad aeróbica de los atletas procedentes de nivel del mar no mejora al principio de su estadía en la altura es un fenómeno ya conocido (3).

Midiendo cotidianamente en La Paz el consumo de oxígeno en reposo (VO_2r) sobre sujetos que vienen de nivel del mar, nosotros hemos podido constatar una caída significativa de la misma, alrededor del 9° o 10° día (10).

Las modificaciones hormonales y en particular la insuficiencia cortico suprarrenal relativa en el curso de los 10 primeros días de aclimatación observada en la altura, pueden ponerse en relación de una parte con la caída de la VO_2r , y de otra parte con la ausencia de mejoría de la capacidad aeróbica en los sujetos que vienen de nivel del mar.

Hay que hacer notar, que en el grupo de sujetos provenientes de nivel del mar, (grupo M), los factores que intervienen más o menos directamente en el aporte de O_2 hasta los tejidos, son comparables (Fc , max, tasa de Hemoglobina sanguínea, PaO_2) e inclusive superiores a las del grupo nativo de la altura (grupo A).

Grover y col. han mostrado que el volumen sistólico medido a gran altitud no es significativamente diferente entre los nativos y los sujetos venidos de nivel del mar (1—6—8).

Los sujetos del grupo M, tenían a pesar de esto una VO_2 max netamente inferior; hay que admitir entonces que los factores limitantes de su capacidad aeróbica se sitúan aparentemente en gran parte, en la periferia, a nivel muscular (factores vasculares y/o tisulares). La mejor capilarización tisular observada en el curso de la hipoxia crónica (12) podrá ser uno de los factores predominantes en el origen de las diferencias observadas entre los 2 grupos: Ella permitirá en efecto una mejor difusión del O_2 en el seno de los tejidos.

En la medida en que la concentración de ácido láctico en la sangre arterial permite tener una idea aproximada de la importancia del metabolismo anaeróbico, los atletas nativos de la altura, muestran igualmente una capacidad anaeróbica superior a la de los atletas venidos de nivel del mar.

Hay que hacer notar que las diferencias observadas a nivel de la concentración de ácido láctico son

aparentemente minimizadas por el hecho de que los volúmenes de los diferentes compartimientos líquidos, y en particular el volumen plasmático, disminuyen habitualmente en los sujetos transplantados a gran altitud (5—9). Este estado de hemoconcentración descrita en el curso de la aclimatización, explica, entre otras, que los atletas transplantados a La Paz tuvieran un hematocrito y una tasa de hemoglobina sanguínea, idénticas a la de los nativos de la altitud, en los cuales la elevación del hematocrito y de la hemoglobina sanguínea, es debida a un aumento del volumen global sin modificación del volumen plasmático (7).

Notemos en fin, que PaH es menos ácido en el grupo (A), mientras que $PaCO_2$ y la concentración plasmática de ácido láctico son más elevadas.

Este hecho sugiere que el poder tampón de la sangre de los nativos de la altura es superior al de los sujetos provenientes de nivel del mar.

RESUMEN

Un estudio bioenergético comparado ha sido realizado a gran altitud (5.750 m.) sobre dos grupos de atletas; un grupo constituido por sujetos nacidos y que viven a nivel del mar, (grupo M) y un grupo constituido por sujetos nacidos y que residen a gran altitud (grupo A).

De una parte, ha sido constatado que la capacidad aeróbica de los atletas del grupo M., apreciada por la medida del consumo máximo de O_2 , así como su capacidad anaeróbica estimada sobre la concentración plasmática arterial de ácido láctico durante un ejercicio muscular máximo, no sufre ninguna modificación significativa con relación a sus valores de origen, durante los 9 primeros días de estadía en la altura.

De otra parte, a pesar de que las posibilidades de aporte en oxígeno hasta el nivel tisular (ventilación y frecuencia cardíaca máxima, PaO_2 , tasa de hemoglobina sanguínea), sean idénticas e inclusive superiores a la de los nativos de la altura, sus capacidades aeróbica y anaeróbica, son significativamente menores que la de los atletas del grupo A.

Estos hechos sugieren que los factores limitantes deben situarse esencialmente a nivel tisular (factores vasculares y/o tisulares).

SUMMARY

A compared Bioenergetic study has been carried out at high altitude (5.750 m.) on two groups of athletes: one group born and living at sea level (group M) and the other born and living at high altitude (group A).

On one hand, it has been verified that the aerobic capacity of the athletes of group M, which we could appreciate through the measure the maximal consumption of O_2 , as well as their anaerobic capacity, estimated on the production of blood lactic acid, during muscular exercise, do not show any significant alteration during the first ten days of living at high altitude.

On the other hand, although the possibilities of contribution in O_2 to the tissular level (Ventilation and maximal cardiac frequency, PaO_2 , blood hemoglobine rate), are identical and even superior to those of the native athletes at high altitude, their aerobic and anaerobic capacities are significantly smaller than those of the athletes of group A.

This fact may lead to assume the existence of limiting factors at the tissular level: (vascular or and tissular factors).

REFERENCES

- 1.— ALEXANDER K. K., L. H. HARTLEY, M. MODELSKI and R. F. GROVER Reduction of stroke volume during exercise in man following ascent to 3.100 m. altitude.
- 2.— BALKE B., M. O., F. J. NAGLE EdD, and J. DANIELS, M. A. Altitude and maximum performance in work and sports activity *JA. MA*, 194: 646 649 — 1965.
- 3.— CONSOLAZIO C. F., R. A. NELSON, L. O. MATOUSH and J. E. HANSEN Energy metabolism at high altitude (3.750 mts). *J. Appl. Physiol.* 21: 1732 — 1740 — 1966.
- 4.— GROVER R. F., J. T. REEVES, E. B. GROVER and J. D. LEATHERS Muscular exercise in young man native to 3.100 m. altitude. *J. Appl. Physiol.* 22: 555 — 564 — 1967.
- 5.— HANNON J. P., K. S. K., CHINN, and J. L. SHIELDS. Effects of acute high altitude exposure on body fluids. *Federation Proc.* 28: 1178 — 1184 — 1969.
- 6.— HARTLEY L. H., J. K. ALEXANDER H., MODELSKI, and R. F. GROVER Subnormal Cardiac output at rest during exercise in residents at 3.100 mts. altitude. *J. Appl. Physiol.* 23: 839 — 849 — 1967.
- 7.— HURTADO A.
Animals in high altitude: resident man in: *Handbook of physiology* Section 4. Adaptation to the environment, edited by W. O. FENN and H. RAHN Washington, D. C., American Physiological Society P. P. 843. 860 — 1964.
- 8.— KOLLIAS J., E. R. BUSKIRK, R. F. AKERS, E. K. PROKOP P. J. Baker, and E. PICON — REATEGUI.
Work capacity of long-time residents and newcomers to altitude *J. Appl. Physiol.* 24: 792 — 199, 1968.
- 9.— KRZYWIKI H. J., C. F. CONSOLAZIO, L. O. MATOUSH, H. L. Johnson and R. A. BARNHART.
Body composition changes during exposure to altitude *Federation Proc.* 28: 1190 — 0094— 1969.
- 10.— RAYNAUD J., J. P. MARTINEAUD, J. COUDERT, M. TILLOUS and P. MARCO. NNET.
Consommation d'oxygene au repos et a l'exercice au cours de l'acclimatation a l'altitude. *J. Physiol. (Paris)* 61: 167, 1969.
- 11.— PLAS F.
Le comportement du sportif el altitude *Presse Mod.* 76: 1143 — II 46, 1968.
- 12.— VALDIVIA E., H. WATSON, C. M. S. DASS and MADISON Histologie alterations in muscles of guinea pigs during chronic hiporia. *A. M. A. Arch. Path.* 69: 199. 028, 1960.