



A
N
U
A
R
I
O

1970

INSTITUTO BOLIVIANO

DE

BIOLOGIA DE ALTURA

LA PAZ - BOLIVIA

CAPACIDAD AEROBICA Y ANAEROBICA DE LOS ATLETAS A GRAN ALTURA

J. COUDERT, M. PAZ ZAMORA, J. ERGUETA, A. FREMINET y
J. P. GASCARD

Instituto Boliviano de Biología de Altura
Facultad de Medicina — 4º piso, la Paz, Bolivia

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 altura, la determinación de consumo máximo de oxígeno va a permitirnos, entre otros objetivos 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) (4) demuestran que la capacidad aeróbica disminuye en los sujetos nativos del nivel del mar y que vienen a la altura. Durante el curso del trabajo anterior (2) 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 objeto de este trabajo es doble:

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 football, profesionales y seleccionados por sus países (Bolivia y Argentina) durante su preparación para las eliminatorias de la Copa Mundial de Football a disputarse en 1970 en México.

1) **Material y Metodología:**

Se trata de 18 atletas argentinos que vienen del nivel del mar y 18 atletas bolivianos nacidos y que viven 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.

Sobre el Cuadro I están representados los datos biométricos de los sujetos estudiados.

Los atletas del grupo 1 fueron estudiados el tercer y noveno día de su estada en La Paz. El consumo máximo de O₂ (VO₂ máx.) 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 inframáximo de 100 wátios. Luego de este calentamiento, el O₂ consumido es medido cada minuto aumentando en gradientes de 25 wátios 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 recogidos 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 (SERVOMEX tipo O A 150). Asimismo, la fracción expirada de CO₂ (FECO₂) es determinada con la ayuda de un analizador a rayos infrarrojos (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 en decúbito 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, as la concentración de ácido láctico — PaO₂, PaCO₂ y el pH han sido medidos en un equipo IL METER modelo 127 C1. Las dosificaciones de ácido láctico han sido hechas luego de centrifugación inmediata, sobre el plasma de la sangre arterial por el método enzimático BOEHRINGER.

La comparación de los valores medios obtenidos han sido estadísticamente realizada utilizando el test "t" de FISHER.

II) Resultados:

1.—COMPARACION DE VALORES OBTENIDOS SOBRE LOS ATLETAS DE NIVEL DEL MAR ENTRE EL 3er. 9no. DIA DE SU ESTADIA EN LA PAZ.

El VO₂ máximo no mejora ($0,5 < P < 0,9$). No se notan diferencias significativas en la concentración sanguínea de la hemoglobina, en el hematocrito y en la concentración plasmática del ácido láctico.

Por el contrario, se observa una disminución muy significativo en reposo, tanto sobre la sistólica como la diastólica ($P < 0,01$ - para la sistólica y para la diastólica). Además en el instante que sigue a la detención del ejercicio máximo la presión arterial logra el tercer día valores elevados con tendencia a disminuir de una manera muy significativa entre el tercer y noveno día de aclimatación ($P < 0,001$ para la sistólica y $0,01 < P < 0,02$ para la diastólica).

2.— COMPARACION DE LOS VALORES OBTENIDOS SOBRE UN GRUPO DE ATLETAS DEL NIVEL DEL MAR (GRUPO 1), DURANTE EL CURSO DEL 9º. DIA DE ESTADIA EN LA PAZ CON VALORES DE ATLETAS NATIVOS DE ALTURA (GRUPO 2).

Este estudio comparativo permite poner en evidencia los siguientes hechos:

- a) VO₂ máx. (expresado en ml STPD/mn/kg o en ml STPD/mn) del grupo 2, es significativamente mas elevado que del grupo 1 ($P < 0.001$) mientras que la ventilación máxima de este segundo grupo (en litros BTPS/mn/m²) es significativamente mucho mas baja ($0.01 < P < 0.02$). Este hecho hace suponer que la eficacia ventilatoria es mayor en los atletas nativos de la altura (grupo 2).
- b) 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 mas bajas en el grupo 2 (en reposo y al final del ejercicio, para la sistólica $0.02 < P < 0.05$ y para la diastólica $P < 0.001$).
- c) Los valores del hematocrito, de la hemoglobina y de PaO₂, y la producción de ácido láctico son significativamente más elevados en el grupo 2 ($P = 0.02$).

III) **Discusión:**

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 en la capacidad aeróbica de los sujetos observados a esa altitud. De otra parte, midiendo en La Paz cotidianamente el consumo de O₂ en reposo sobre los sujetos que vienen del nivel del mar, nosotros hemos podido constatar una baja significativa del consumo de O₂ en reposo alrededor del 9º y del 10º día (6). las modificaciones hormonales de tipo, en particular, de insuficiencia córtico-suprarrenal, señaladas por ciertos autores (Grover, 1963) (3); Plas, 1969 (5) en el curso de los primeros días de aclimata-

ción 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 O₂ a nivel tisular, son comparables (fc máx.) e inclusive superiores a los del grupo 2 (ventilación máxima, Pa O₂ y tasa de hemoglobina sanguínea). A pesar de esto, los sujetos de este grupo tienen un consumo de O₂ 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) se 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 O₂ 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. Señalemos finalmente, que en el grupo 2, el pH arterial es más elevado, mientras que la PaCO₂ y la concentración de ácido láctico muestran valores más elevados que en el grupo 1: este hecho sugiere que el poder tampón de la sangre de los nativos de la altura es superior al de los que vienen de nivel del mar.

IV) Resumen:

Un estudio bioenergético comparado ha sido hecho a gran altitud (3,700 mts.) sobre dos grupos de atletas: Uno de ellos integrado por atletas que han nacido y que viven al nivel del mar (grupo 1) y el otro por atletas que han nacido y que viven a gran altura (grupo 2).

Se constata de una parte, que la capacidad aeróbica de los atletas del grupo 1 apreciada por la medida del consumo máximo de O₂, así como su capacidad anaeróbica, estimada en la producción de ácido láctico sanguíneo durante un ejercicio muscular máximo, no sufren ninguna modificación significativa durante los diez primeros días de vida en la altura.

Por otra parte, aunque las posibilidades de aporte de oxígeno hasta el nivel tisular (ventilación y frecuencia cardíaca máximas, PaO₂, tasa de hemoglobina sanguínea) constata- das en el grupo 1 sean idénticas e inclusive superiores a las de los atletas nativos de la altura, sus capacidades aeróbicas y anaeróbicas son significativamente menores.

Esto dejaría suponer la existencia de factores limitantes a nivel muscular: la mejor capilarización muscular observa- da durante la hipoxia crónica de altura, podría ser uno de los factores que origine las diferencias observadas entre los dos grupos estudiados.

Summary:

A compared bioenergetic study has been carried out of high altitude (3,700 mts.) on two groups of athletes: One group born and living at sea level (group 1) and the other born and living at high altitude (group 2).

On one hand, it has been verified that the aerobic capa- city of the athletes of group 1, which we could appreciate through the measure of the maximal consumption of O₂, as well as their anaerobic capacity, estimated on the production of blood lactic acid, during a maximal 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 contri- bution in O₂ to the tissular level (Ventilation and maxilmal cardiac frequency, PaO₂, blood hemoglobin rate) are identical and even superior to those of the athletes native of high altitude, their aerobic and anaerobic capacities are signifi- cantly smaller than those of the athletes of group 2.

This fact may lead to assume the existence of limiting factors at the muscular level: the better muscular capillariza- tion observed during altitude chronic hypoxia, might be one of the factors that originate the differences observed between the two groups.

Nos es grato agradecer muy particularmente a nuestros colaboradores, Dr. Coevoet B., Lydia Quiroz y Yolanda Mallea, por su activa participación en este trabajo. Asimismo, nues- tro reconocimiento al cuerpo médico, directivo e integrantes de los seleccionados nacionales de football de las Repúblicas de Bolivia y Argentina (C.U.F.B. y A. F. A.).

Abstract. A compared bioenergetic study has been carried out at high altitude (3,700 m.) on two groups of athletes: one group born and living at sea level (group 1) and the other born and living at high altitude (group 2).

It has been verified that the aerobic capacity of the athletes of group 1, which we could appreciate through the measure of the maximal consumption of O_2 , as well as their anaerobic capacity, estimated on the production of blood lactic acid during a maximal muscular exercise, does not show any significant alteration during the first ten days of living at high altitude; although the possibilities of contribution in O_2 to the tissular level (ventilation and maximal cardiac frequencies, paO_2 blood hemoglobin rate), are identical and even superior to those of the athletes native of high altitude, their aerobic and anaerobic capacities are significantly smaller than those of the athletes of group 2.

This fact may lead to assume the existence of limiting factors at the muscular level:

- Atletas nativos de gran altura
- Atletas nativas de gran altura