

# RENDIMIENTO FISICO A GRANDES ALTURAS: DIFERENCIA ENTRE SUJETOS ENTRENADOS (CICLISTAS) Y NO ENTRENADOS (SEDENTARIOS).

ELVA EUGENIA ESPEJO ALIAGA, HENRY FLORES AYLLON, DANELY INÉS VARGAS QUIROGA, MARIANELA VARGAS VALDIVIA, **ASESOR:** DRA. HILDE SPIELVOGEL, DR. RUDY SORIA  
**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES.**

## RESUMEN

**Palabras clave:** Capacidad aeróbica - rendimiento físico – gran altura - hipoxia hipobarica

El presente trabajo fue realizado en el Instituto Boliviano de Biología de Altura. Fue medido el consumo máximo de oxígeno ( $VO_2\max$ , capacidad aeróbica) mediante el método del circuito abierto como expresión del rendimiento físico en sujetos aeróbicamente entrenados (ciclistas) y no entrenados (sedentarios) con el fin de determinar las diferencias existentes entre ambos grupos y comparar los resultados con los hallazgos descritos a nivel del mar. Si bien en nuestro medio fueron realizados numerosos trabajos en deportistas y en personas no entrenados, según nuestros conocimientos nunca se hizo un estudio comparativo. Los resultados obtenidos muestran que también a gran altitud (La Paz, 3600 m) los sujetos entrenados tienen una capacidad aeróbica mayor que los no entrenados, pero en comparación con ciclistas de nivel del mar, el trabajo realizado y la capacidad aeróbica es menor en la altura.

## ABSTRACT

The present study was conducted in the Instituto Boliviano de Biología de Altura (Bolivian Institute of Altitude Biology). We measured maximal oxygen uptake ( $VO_2\max$ , aerobic capacity) by the open circuit method as expression of physical work capacity in aerobically trained subjects (cyclists) and in untrained subjects (sedentary men) with the purpose to assess the differences between both groups and to compare the results with the findings reported at sea level. Eventhough in La Paz (3600 m), a variety of studies in athletes and untrained subjects has been reported, there does not, to our knowledge, exist a comparative study. Our results show that also at high altitude, trained subjects show a higher aerobic capacity than untrained subjects but in comparison with cyclists at sea level, physical work capacity and aerobic capacity are smaller at high altitude.

## INTRODUCCION

La investigación sobre ejercicio físico y altura tuvo un auge en la década de los años 60 cuando las naciones estaban preparándose para los Juegos Olímpicos en la Ciudad de México (2240 m) en el año 1968. Durante los Juegos también fueron realizadas observaciones que posteriormente fueron divulgadas. Fue demostrado que en alturas medianas como de la Ciudad de México se pueden realizar absolutamente todos los deportes sin causar daño al deportista, de tal manera, en estos Juegos Olímpicos en todas las disciplinas anaeróbicas con excepción de 110 m con vallas, los atletas batieron los records mundiales existentes en aquella época pero no en las carreras de mediana y larga distancia (aeróbicas) en las cuales las marcas se encontraron de 4 a 6% por encima de los records mundiales (Hollmann y Hettinger, 1976).

En nuestro medio se hicieron las primeras experiencias en gran escala en deportistas tanto provenientes de nivel del mar como nativos de altura en ocasión de los VIII Juegos Deportivos Bolivarianos en La Paz en el año 1977. Entre los 17 records bolivarianos batidos en aquella ocasión hubo 2 records en disciplinas aeróbicas, batidos ambos por deportistas colombianos, es decir por deportistas provenientes de altura mediana: 20 Km. marcha (varones) y 1500 m planos (damas). Los 15 records restantes batidos en atletismo fueron exclusivamente en disciplinas anaeróbicas y de lanzamiento (Paz Zamora y col., 1995). Si bien a lo largo de los años fueron realizados numerosos estudios relativos al rendimiento de deportistas y personas físicamente activas en la altura (Coudert y col., 1970; Greksa y col., 1981; Paz Zamora y col., 1981; Greksa y col., 1982; Greksa y col., 1984; Greksa y col., 1985; Greksa y col., 1993; Favier y col., 1995; Brutsaert y col., 1999; Brutsaert y col., 2000), no existe en nuestro un estudio comparativo entre atletas

y personas sedentarios. Por esta razón nos pusimos la pregunta: ¿Cuál es la diferencia en el rendimiento físico entre sujetos entrenados (ciclistas) y no-entrenados (sedentarios) en la ciudad de La Paz? Nuestra hipótesis fue que los individuos entrenados tienen mayor rendimiento físico expresado por un mayor consumo máximo de oxígeno que los sujetos no entrenados.

## OBJETIVOS

### a) *Objetivo General*

- Contribuir a los conocimientos relativos al rendimiento físico a gran altura.

### b) *Objetivos Específicos*

- Determinar si la hipoxia a la altura de La Paz tiene influencia en el rendimiento físico, independientemente del estado de entrenamiento.
- Comparar el consumo máximo de oxígeno como medida del rendimiento físico entre sujetos entrenados y no entrenados.

## MATERIAL Y METODOS

### a) *Sujetos*

- Los sujetos de estudio fueron jóvenes voluntarios sanos, seleccionados de acuerdo a los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

#### 1. *Criterios de Inclusión*

- Edad comprendida entre 17 y 35 años
- Ser ciclista en fase de entrenamiento para un próximo evento deportivo o no realizar entrenamiento físico alguno
- Buen estado físico y de salud
- Haber nacido en la altura o residir en altura por encima de 3000 msnm por lo menos durante los últimos 5 años.

#### 2. *Criterios de Exclusión*

- Índice de masa corporal mayor o menor del rango normal
- Antecedentes de patología cardíaca y/o pulmonar
- Antecedentes de eritrocitosis o anemia

De esta manera fueron formados dos grupos: uno constituido por 9 ciclistas entre 17 y 35 años de edad y otro compuesto por 12 estudiantes del mismo rango de edad que no practicaban deporte alguno.

### b) *Equipos y Métodos*

El trabajo fue realizado en el Laboratorio de Bioenergética del Instituto Boliviano de Biología de Altura en los meses junio-septiembre 2003.

Los sujetos recibieron información detallada sobre los objetivos y procedimientos del trabajo así como respecto a los beneficios y posibles riesgos. Todos firmaron un consentimiento informado.

Después fue realizado un examen clínico, fueron medidos peso y talla y se tomó muestra de sangre del pulpejo del dedo para determinación de la concentración de hemoglobina [Hb] y medición del hematocrito (Hto). La [Hb] fue determinado con el método de cianomethemoglobina y Hto. mediante el micrométodo en el laboratorio de Hematología, IBBA.

Para realizar las pruebas de esfuerzo graduado progresivo hasta el máximo utilizamos un cicloergómetro marca "Ergomeca" con freno mecánico y contador de vueltas de la rueda incorporado.

El consumo de oxígeno y parámetros relacionados fueron obtenidos con el método de circuito abierto mediante un sistema denominado "Rayfield Oxygen Uptake System" que estuvo compuesto por un regulador de voltaje (Camsco, AVR-2000N), volu metro (Rayfield, Chicago IL, USA), analizador de oxígeno (Applied Electrochemistry Inc., Sunnyvale, CA), analizador de CO<sub>2</sub> (Beckman LB-2), cámara de mezcla, Integrador "Rayfield", mediante el cual los datos fueron introducidos en una computadora Apple IIe y el promedio de 60 seg. de los datos fue impreso en un Apple ImageWriter II en intervalos de 60 segundos. Los equipos fueron calibrados antes de cada prueba con un gas estable de calibración que contenía 17% de O<sub>2</sub> y 5% de CO<sub>2</sub> y el resto N<sub>2</sub>. Para tal efecto fueron registrados los parámetros ambientales Presión Barométrica (PB, mmHg), humedad (%), temperatura (T°C).

La frecuencia cardíaca fue obtenida mediante telemetría electrocardiográfica bipolar (Sporttester) y la saturación arterial de oxígeno (SaO<sub>2</sub>%) mediante un oxímetro de pulso Criticare 504 cuyo captor fue fijado en el lóbulo del pabellón auricular derecho.

Los sujetos respiraron por la boca con la nariz tapada mediante pinza-nariz a través de una válvula Hans -Rudolph fijada en un casco de soporte de tal forma que todo el

*fue que los individuos entrenados tienen mayor rendimiento físico expresado por un mayor consumo máximo de oxígeno que los sujetos no entrenados.*

aire espirado entra en la cámara de mezcla de donde pasaron continuamente muestras a los analizadores del sistema.

Después de la calibración de los analizadores y la preparación del sujeto fueron recolectados los datos de reposo durante 5 minutos estando el sujeto sentado en el cicloergómetro. La prueba de esfuerzo fue iniciada con una fase de calentamiento de 3 minutos que los entrenados hicieron con una carga de 1 Kg. (60 W) y los no entrenados con 1/2 Kg. (30 W). Los sujetos fueron alentados para mantener el ritmo indicado por el metrónomo de 60 revoluciones de pedal por minuto. Las cargas fueron incrementadas por 1/2 Kg. cada 3 minutos ; al final de cada etapa fueron registrados FC, SaO<sub>2</sub> y el incremento de revoluciones de la rueda indicadas en el contador. Los criterios de nivel máximo fueron adicionalmente los signos visibles de cansancio del sujeto, frecuencia cardiaca a nivel máximo predicho para la edad y un planteo del VO<sub>2</sub> que a pesar de incremento de la carga en el cicloergómetro no incrementó.

Al final de la prueba el sujeto seguía pedaleando sin carga para evitar descenso brusco de la presión arterial y hasta que FC hubiera bajado por debajo de 130 latidos por minuto.

A cada nivel de la prueba fueron obtenidas las siguientes variables:

- Consumo de oxígeno - VO<sub>2</sub> L/min<sup>-1</sup> y mL/min<sup>-1</sup> x Kg.<sup>-1</sup>
- Anhídrido carbónico eliminado - VCO<sub>2</sub> L/min<sup>-1</sup>
- Cociente Respiratorio (RER) - VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>
- Volumen de aire espirado (Ventilación Pulmonar)
- VE l..min<sup>-1</sup>
- Frecuencia respiratoria (FR) – respiraciones/min<sup>-1</sup>
- Frecuencia cardiaca (FC)) – latidos/min<sup>-1</sup>
- Saturación de la sangre arterial con oxígeno - SaO<sub>2</sub>%
- Cronómetro de revoluciones de la rueda del cicloergómetro.

En base a las variables obtenidas fueron hechos varios cálculos:

En primer lugar fue necesario convertir la ventilación pulmonar a condiciones BTPS puesto que el Rayfield Oxygen Uptake System indica todos los valores en STPD. Fue empleada la siguiente fórmula:

De acuerdo a la presión barométrica este factor de corrección variaba entre 1.9349 (PB 493 mmHg) y 1.9219 (PB 496 mmHg).

El trabajo en Watts a cada nivel fue calculado según la siguiente fórmula:

$$W = \frac{\text{no. de revoluciones} \times \text{Kg}}{\text{tiempo (min.)} \times 4}$$

donde Kg. se refiere a la carga puesta al cicloergómetro en Kg., el tiempo es la duración del nivel (3 minutos en nuestro estudio), 4 es una constante puesto que cada revolución de pedal da 4 revoluciones de rueda.

Puesto que las revoluciones son acumuladas en el contador fue necesario restar el número de revoluciones de la carga anterior del número de la presente carga antes de realizar el cálculo.

Finalmente se calculo el equivalente respiratorio (ER) dividiendo la ventilación pulmonar en Litros BTPS entre el consumo de oxígeno en Litros STPD.

**c) Análisis Estadístico**

Para el análisis estadístico hemos empleado el análisis de varianza (ANOVA) mediante el cual hemos comparado la interacción de los promedios por grupo y por nivel de esfuerzo de las diferentes variables. La significancia fue establecida a 5%. El paquete estadístico utilizado fue el StatView 4.1 para el Macintosh.

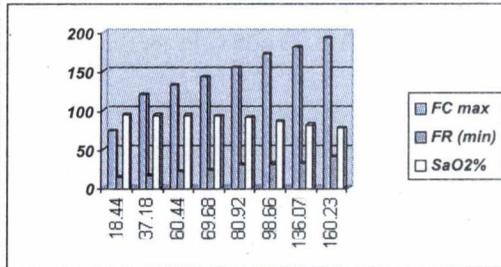
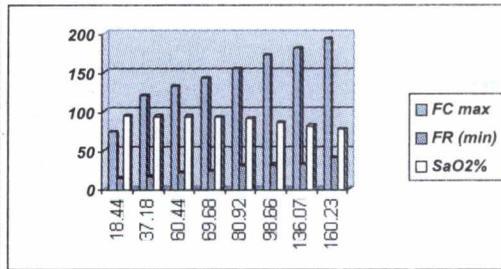
**RESULTADOS**

Los datos biométricos de los dos grupos son mostrados en la Tabla 1.

Variables	Ciclistas	Sedentarios
Edad, años	25.2 ± 6.1	23.7 ± 2.6
Peso, Kg.	64.4 ± 6.7	70.5 ± 11.02
Talla, m	1.67 ± 0.06	1.71 ± 0.06
IMC	22.78 ± 1.8	23.79 ± 2.9
Hb., g/dl	16.66 ± 0.69	17.82 ± 0.20

**CONCLUSIONES.-  
CAPACIDAD AEROBICA**

Con respecto a la capacidad aerobica pudimos demostrar que los ciclistas tienen una mayor capacidad aerobica, en relación los sujetos sedentarios. Ya que los ciclistas superaron en un 20% a los sujetos sedentarios. Debiendose esto a la capacidad del



organismo de poder utilizar el oxígeno como fuente primaria de energía

### RENDIMIENTO FISICO

En cuanto al rendimiento físico se comprobó que en los ciclistas tienen un mayor rendimiento físico, en relación a los sujetos sedentarios. Ya que los ciclistas superarán en un 20% a los sujetos sedentarios. Esto se debe al constante entrenamiento de los ciclistas, los cuales desarrollan un tono muscular adecuado para realizar el ejercicio aeróbico, teniendo en cuenta que un músculo en entrenamiento tiene la capacidad de volver a utilizar el Ac. Lactico para volver a obtener energía, al contrario el músculo de los sujetos sedentarios no tiene desarrollada la capacidad de volver a utilizar el Ac. Lactico, el cual se acumula en forma de cristales a nivel de las terminaciones nerviosas, provocando el dolor y cansancio muscular.

### SATURACION DE OXIGENO EN SANGRE

Llegamos a la conclusión de que los ciclistas tienen menor saturación de oxígeno en relación a los sujetos sedentarios los cuales presentan una mayor saturación de oxígeno en sangre. Esto se debe a que el sujeto entrenado utiliza el oxígeno como fuente primaria de energía, ya que este oxígeno va hacia la vía de la glucólisis lo que impide la formación de ácido láctico y que el piruvato vaya al ciclo del ácido cítrico, para

obtener energía juntamente con la vía de la cadena respiratoria.

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

**ASTRAND PER-OLOF y RODAHL KAA-RE.** *Fisiología del trabajo físico. Bases fisiológicas del ejercicio*, Buenos Aires, Editorial médica Panamericana.

**CALBET, J.A.L. (2000)** *Hipoxia y rendimiento: Adaptaciones fisiológicas*. II Simposium Avances en Fisiología del Ejercicio (pp. 59-63). Universidad de Las Palmas de G. C.: Las Palmas de G. C.

**FOX, EDWARD L. (1987)**, *Fisiología del deporte*, Profesor y director del Laboratory of Work Physiology, the Ohio State University, Columbus, Ohio, *M High-Altitude Medicine and Pathology*, Donald Heath & David Reid. Oxford University Press, 4th edition-1995.madrid. Pp. 45-52

**PUGH, L.G.C.E.; GILL, M.B.; LAHIRI, S.; MILLEDGE, J.S.; WARD, M.P. & WEST, J.B.(1964)** "Muscular exercise at great altitudes" *J Appl Physiol*, 19(3), 431-440.

**STEPHENSON.** Oxigen consumption of chronically stimulated skeletal muscle. *J. THORAC CARDIOVASC SUG.* 1987.

### Revistas

- A. High Altitude Medicine & Biology.
- B. En : "Anuario del Instituto Boliviano de Biología de la Altura ",1979 Pp.146-155 La Paz .
- C. En : "Anuario de Biología de la Altura " 1970 Pp 89-95 La Paz
- D. Tratado de medicina de la altura, D.Frisancho, O.Frisancho. universidad nacional del altiplano, Puno, 1993. Artículo de Psicología del Deporte Lic. Abdón Calleja
- F. Bioestadística Inferencial Edición 1era, Dr. Hugo de la Quintana

en los ciclistas tienen un mayor rendimiento físico, en relación a los sujetos sedentarios. Ya que los ciclistas superarán en un 20% a los sujetos sedentarios.