

EFFECTOS DE LA HIPOXIA SOBRE EL RENDIMIENTO ANAEROBICO

Autores: Néstor; Hellmers Carlos; Raspo Liliana; Gris Gerónimo; Dolce Pablo; Giacchino Diego; Mateos Rodrigo.
Universidad del Salvador - Facultad de Medicina (Licenciatura en Actividades Físicas y Deportivas) 1999.

RESUMEN

El propósito de este estudio fue evaluar en condiciones de hipoxia crónica (HC), a diferencia de la hipoxia aguda (HA), el comportamiento anaerobio de seis deportistas de mediano rendimiento a 4370 mts. en Plaza de Altos en el Cerro Aconcagua, comparándolos a nivel del mar. Para ello se eligió como prueba el Wingate sobre cicloergómetro sobre 30 segundos, con una carga equivalente a 0.075 kg por kilo de peso corporal para cada deportista, previa entrada en calor de 5 minutos en el mismo ergómetro. El primer estudio se realizó a nivel del mar una semana antes de ascender a la altura, mientras que el segundo estudio se efectuó a 4370 mts. 4 días después de haber llegado a Plaza de Altos. Cabe destacar que el ascenso se realizó en forma progresiva, arribando después de tres días de trekking. Esta forma de ascender hasta más de 4000 mts. facilita la adaptación lenta evitando los síntomas agudos de la hipoxia (HA), semejando el comportamiento en la altura estadia con los correspondientes a los de la hipoxia crónica (HC).

Se tomaron muestras de lactato en sangre arterializada (a nivel del pulpejo de los dedos) antes de iniciar la prueba (R), al minuto (1PE), a los tres minutos (3PE) y a los siete minutos (7PE) post-esfuerzo tanto en la prueba realizada a nivel del mar como a 4370 mts.

Los resultados muestran un comportamiento similar en ambos grupos tanto a nivel del mar como en la altura, tanto a la potencia máxima y potencia media determinada (prueba signo rango de Wilcoxon) para grupos apareados, aunque los datos de lactacidemia post-esfuerzo a nivel periférico mostraron una disminución estadísticamente significativa ($p < 0.01$), en las tomas en la altura en relación con los valores de nivel del mar explicando los resultados por la paradoja del lactato. Como conclusión se sugiere la importancia de incentivar los entrenamientos a nivel del mar en aquellos deportistas que por sus características energéticas son de predominancia anaeróbica especialmente teniendo en cuenta la mejor recuperación en condiciones de normoxia (a nivel del mar), no sucediendo lo mismo con los deportistas de predominancia aeróbica donde el rendimiento está afectado por la hipoxia.

Por lo tanto, un buen entrenamiento facilitará un mejor rendimiento, en el caso de competir a más de 4000 mts. Incluso a pesar de la hipoxia, el aporte glicogenolítico es-

tará favorecido por el aumento de las catecolaminas. El comportamiento paradójico del lactato no explica por sí solo el rendimiento anaeróbico en la altura.

Palabras claves: *Hipoxia aguda (HA), Hipoxia crónica (HC).*

INTRODUCCIÓN

Es conocido el esfuerzo que los deportistas deben realizar para adaptarse cuando tienen que competir en condiciones ambientales desfavorables como por ejemplo en alturas superiores a los 3000 mts.; esto fue y por supuesto sigue siendo hasta el momento una gran preocupación para los entrenadores, y médicos que intentan desarrollar los mejores métodos para lograr una adecuada aclimatación antes de las competencias. Pero los distintos comportamientos individuales continúan siendo un misterio y por supuesto respetados al no responder a ningún esquema ó método especial para lograr la adaptación.

En general se sabe que los mayores inconvenientes para competir en la altura lo padecen los deportes de características aeróbicas (9,15), siendo los deportes energéticamente anaeróbicos los más favorecidos por las mismas condiciones que ofrece la altura (hipoxia, menor densidad del aire); algunos estudios indican que las competencias de preponderancia aeróbica deben realizarse inmediatamente después del arribo en la altura ó antes de los tres días siguientes y otros en cambio piensan que la mejor forma para competir es después de una adecuada aclimatación. En el caso de los deportes de características anaeróbicas en cambio, no solo no se han observado cambios en el rendimiento sino que por el contrario, las mejores marcas de las pruebas anaeróbicas se han observado en la altura ya sea por el menor requerimiento de oxígeno como también por el favorecimiento de la menor densidad del aire para lograr una mayor velocidad (1).

En las pruebas de laboratorio, el uso del cicloergómetro ha permitido desarrollar distintos test para estudiar el comportamiento del metabolismo. El Wingate test desarrollado por el Dr. Oded Bar Or, permite precisamente el desarrollo del pico de potencia y el rendimiento anaeróbico ó resistencia al trabajo anaeróbico en una prueba sencilla y práctica de 30 segundos de duración.(2,3,4,5,6)

Así los dos sistemas aláctico como láctico pueden ser evaluados en forma indirecta a través del test. Tanto la

potencia máxima, como la potencia media pueden ser calculados.

Nuestra intención fue observar el comportamiento de la potencia máxima, y la potencia media a nivel del mar y a 4370 mts. de altura en Plaza de Mulas en el Cerro Aconcagua realizando en un grupo de 6 jóvenes deportistas medianamente entrenados, con determinación del lactato antes, inmediatamente después, a los 4 minutos y a los 7 minutos post-esfuerzo.

Una de las características fisiológicas observadas en la altura después de varios días de permanencia es el comportamiento paradójico del lactato, (7,8,10,11,12,13,18) al observar valores iguales ó mayores en pruebas anaeróbicas al llegar a la altura, es decir en condiciones de hipoxia aguda y valores significativamente menores en el caso de hipoxia crónica ó después de un cierto tiempo de permanencia.

Este comportamiento fue observado por primera vez en 1929 por Dill y col., en la expedición a Leadville (18) no encontrándose hasta el momento las causas de este fenómeno.

Se han propuesto varias hipótesis al respecto; una de ellas se relaciona con el comportamiento de las catecolaminas en condiciones de hipoxia aguda y crónica (14,16,17,19,20), aunque en realidad los autores no han podido encontrar las verdaderas causas de este comportamiento.

Nuestra experiencia estuvo basada en efectuar el Wingate Test a 4370 mts. en Plaza de Mulas del Cerro Aconcagua con determinación del lactato a nivel periférico post-esfuerzo comparando los resultados con los efectuados a nivel del mar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Seis jóvenes cuyos datos antropométricos fueron: Edad (años) $25 \pm 7,5$ Peso (Kg.) $66 \pm 12,6$ Talla (cm) $168,5 \pm 9$ (TABLA N° 1), fueron sometidos a un test de Wingate en 30 segundos empleando una carga equivalente a 0.075 kg. por kilo de peso corporal. Todos los deportistas fueron notificados de las características de las pruebas contando con su consentimiento previo.

Antes de la entrada en calor se tomaron muestras a nivel periférico de sangre arterializada del pulpejo del dedo para determinar los valores de lactacidemia. Posteriormente se realizó una entrada en calor de 5 minutos empleando el mismo ergómetro con una velocidad constante, y algunas aceleraciones con una carga equivalente al 30% de la carga máxima a emplear en la prueba. Una vez finalizada la entrada en calor y después de descansar por espacio aproximado de 2 minutos se inició la prueba. Al finalizar el test se volvieron

a tomar muestras de sangre inmediatamente (al minuto), a los 3 minutos y a los 7 minutos post-esfuerzo. Para las tomas de lactato se empleó un Accusport Boeringher Mannheim obteniendo los resultados a los 60 segundos. El test de Wingate se realizó en un cicloergómetro de frenado mecánico marca Zuccolo. El procesamiento estadístico elegido fue la prueba signo - rango de Wilcoxon para muestras apareadas, debido a la escasa cantidad de casos evaluados. El mismo protocolo de trabajo se repitió en la altura a 4370 mts empleando el mismo modelo de cicloergómetro.

TABLA N° 1: DATOS ANTROPOMETRICOS Y LA CARGA UTILIZADA POR CADA SUJETO PARA REALIZAR EL WINGATE TEST

<i>Datos Antropométricos de la Muestra Evaluada</i>				
<u>Individuos</u> <u>(Iniciales)</u>	<u>Edad</u> <u>(años)</u>	<u>Talla</u> <u>(cm)</u>	<u>Peso</u> <u>(kg)</u>	<u>Carga</u> <u>(kg)</u>
P. G.	18	161	52	3.90
D. G.	24	159	55	4.13
R. M.	24	165	65	4.88
J. F.	39	181	87	6.53
M. M.	26	178	72	5.40
L. H.	19	167	65	4.88

RESULTADOS

Al comparar las potencias anaeróbicas obtenidas a nivel del mar como en la altura no se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) de acuerdo al método estadístico empleado (prueba signo - rango de Wilcoxon) para muestras apareadas (GRÁFICO N° 1); mientras que analizamos los valores del lactato post-esfuerzo observamos diferencias significativas ($p < 0,01$) en las comparaciones tanto al minuto como a los 3 minutos y a los 7 minutos después de finalizado el test (GRÁFICOS N°2, N°3 y N°4).

Estos resultados coinciden con estudios similares que relacionan el comportamiento del lactato en esfuerzos de características anaeróbicas en situaciones de hipoxia aguda y crónica. En el primer caso (HALL) observan aumentos significativos en los valores de lactacidemia comparados con pruebas a nivel del mar, mientras que la permanencia den la altura invierte los resultados obteniendo valores de ácido láctico en sangre periférica muy inferiores a los obtenidos

del mar comparando el mismo esfuerzo. Se hace referencia a que si consideramos valores de lactato a nivel muscular (por biopsia), éstos se ven muy elevados en relación a los hallados a nivel de suero.

GRÁFICO N° 1: COMPARACIÓN DE LA POTENCIA MÁXIMA DESARROLLADA EN EL WINGATE TEST TANTO A NIVEL DEL MAR COMO A 4370 MTS.

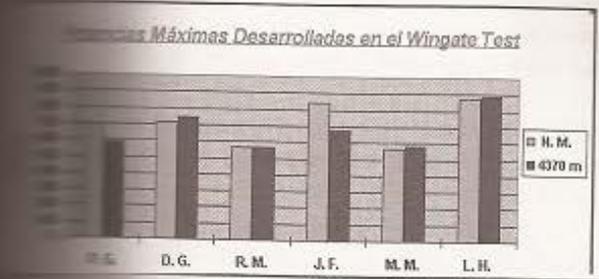


GRÁFICO N° 2: COMPARACIÓN EN LOS VALORES DE ÁCIDO LÁCTICO AL 1' DE RECUPERACIÓN, LUEGO DE REALIZADO EL WINGATE TEST



GRÁFICO N° 3: COMPARACIÓN EN LOS VALORES DE ÁCIDO LÁCTICO A LOS 3' DE RECUPERACIÓN, LUEGO DE REALIZADO EL WINGATE TEST



GRÁFICO N° 4: COMPARACIÓN EN LOS VALORES DE ÁCIDO LÁCTICO A LOS 7' DE RECUPERACIÓN, LUEGO DE REALIZADO EL WINGATE TEST



DISCUSIÓN

Estudios realizados por otros autores han demostrado el aumento de las catecolaminas como consecuencia de la altura especialmente en la etapa aguda con una disminución significativa en la hipoxia crónica o con la aclimatación. Nuestra experiencia en estudios previos nos permitió corroborar este hallazgo observando el aumento altamente significativo de las catecolaminas (epinefrina y norepinefrina) tomadas a 2100 mts. y posteriormente a más 4300 mts. en condiciones de hipoxia aguda, como así también antes y después de realizar una prueba aeróbica máxima en cicloergómetro teniendo presente que los valores post - esfuerzo mostraron disminuciones significativas.

El aumento de las catecolaminas favorecería a través del mecanismo del AMP Cíclico y adenilatociclasa la estimulación de la fosforilasa para una mayor glicogenólisis, por lo que el metabolismo de los carbohidratos en la altura cobra mayor importancia.

En esta oportunidad hemos podido observar que la potencia máxima y la potencia media (ambos componentes de tipo anaeróbicos), se mantienen en la altura, no así con el ácido láctico que disminuye significativamente.

Nuestro comentario al respecto podría interrelacionar estos dos comportamientos (el mantenimiento de la capacidad anaeróbica y la paradoja del lactato) si tenemos en cuenta las hipótesis ya propuestas por otros autores:

- 1) La primera de ellas está muy discutida y relaciona según el efecto Pasteur la aparición de una mayor cantidad de lactato al disminuir el aporte de oxígeno y viceversa.

- 2) La segunda propuesta relaciona el aumento significativo de las catecolaminas en la hipoxia aguda por lo cual se produciría una mayor glicogenólisis y por ende

mayor cantidad de lactato que ingresa a la fibra muscular para ser utilizado como un buen combustible.

Nosotros observamos que si bien las catecolaminas disminuyen con la hipoxia crónica o con la aclimatación, los valores de éstas se mantienen muy encima de los valores correspondientes a nivel del mar (aproximadamente 3000 g/ml) por lo que la disminución del lactato no podría explicarse por este motivo.

A pesar de ello, una posible explicación es que pesar de estar los valores de las catecolaminas muy aumentados con la aclimatación, o la hipoxia crónica (HC) podría saturar los receptores para las catecolaminas a nivel de las membranas y por lo tanto ello conllevaría a una disminución en los valores del lactato por esta vía metabólica (glicogenólisis).

Por otra parte si consideramos que la mayor producción del lactato se produciría por la glicólisis aumentada de acuerdo con la primera hipótesis por la hipoxia aguda, teniendo en cuenta que la eritropoyetina aumenta con la exposición a la altura, ello produciría un aumento en la hemoglobina y eritrocitos con un mayor aporte de oxígeno compensatorio; este mecanismo podría explicar la menor producción de lactato en relación a una misma situación de esfuerzo comparando la exposición aguda con la crónica.

Por supuesto que mayores estudios deberán realizarse para tratar de explicar este fenómeno observado desde hace muchos años.

CONCLUSIÓN

De acuerdo a nuestros resultados podemos aconsejar en aquellos deportes de preponderancia anaeróbica que deben competir en la altura a más de 3000 mts. la realización de buenos programas de trabajo tanto aeróbicos como anaeróbicos a nivel del mar para competir con la máxima potencia en la altura teniendo en cuenta que esta cualidad no se pierde como consecuencia de la hipoxia tanto aguda como crónica. Las competencias anaeróbicas deberían efectuarse al arribo a la altura teniendo en cuenta el mayor aporte de la glicogenólisis por el aumento de las catecolaminas y el lactato como combustible, aunque la permanencia en la altura no perjudica significativamente el rendimiento en los deportes anaeróbicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Barclay, D.M. and S.P. Duvillard. Intermediate and long-term anaerobic performance of elite Alpine Skiers. *Med. Sci.Sports Exerc.* 27:3 305-309 (1995).
- Baugh, O. The Wingate Anaerobic test: an update on methodology, reliability and validity. *Sports Med* 4: 381-384 (1987).
- Baugh, S. Measurement of anaerobic work capacities in humans. *Sports Med* 19:1 32-42 (1995)
- Burton, J.F., M.M. Murphy and F.A. Frederick. Maximal power outputs during the Wingate anaerobic test. *Int J. Sports Med.* 6: 32-8. (1985).
- Chen, M., N. Fellmann, H. Spielvogel, G.Falgairrette, E. Van Praagh, and J. Courdet,. Force-velocidad and 30 seg. Wingate test in boys at high and low altitudes. *J. Appl. Physiol.* 70:1031-37,1991.
- Chowdhury, M.I., Jacobs, I., Pope, J., Symons, D., and Hermiston, A. The effect of hypoxia on performance of the Wingate anaerobic power test. *Can.J.Appl.Sport Sci.* 11:22P, 1986.
- Chrysopeas, Kayser, Guido Ferretti, Bruno Grasi, Tiziano Binzoni, and Paolo Cerretelli. Maximal lactic capacity altitude: effect of carbohydrate loading. *J.Appl.Physiol.* 75(3): 1070-1074, 1993.
- Chrysopeas, Grassi, Mauro Marzorati, Bengy Kauser, Marco Bordini, Angelo Colombini, Marco Conti, Claudio Marconi, and Paolo Cerretelli. Peak blood lactate and blood lactate vs. Workload during acclimatization to 5050 mts. and in deacclimatization. *J. Appl. Physiol* 80 (2): 685-692, 1996.
- Cymerman, P.R., Groves, B.M., McCullough, R.E., McCullough, R.G., Huang, S.Y., Halmilton, A.J., Wagner, P.D., Cymerman, A.C., and Reeves, J.T. Oxygen transport to exercising leg in chronic hypoxia. *J. Appl. Pyisiol.* 65:2592-2597, 1988.
- Cymerman, P.R., Groves, B.M., McCullough, R.E., McCullough, R.G., Trad, L., Young, A.J., Cymerman, A.C., and Reeves, J.T. Decreased exercise muscle lactate release after high altitude acclimatization. *J. Appl. Physiol.* 67:1456-1462, 1989.
- Cymerman, G.A., Butterfield, G.E., Wolfe, R.R., Groves, B.M., Mazzeo, R.S., Sutton, J.R., Wolfel, E.E., and Reeves, J.T. Decreased reliance on lactate during exercise after acclimatization to 4300 mts. *J. Appl. Physiol.* 71: 333-341, 1991.
- Cymerman, G.A., Wolfel, E.E., Groves, B.M., Bender, P.R., Butterfield, G.E., Cymerman, A.C., Mazzeo, R.S., Sutton, J.R., Wolfe, R.R., and Reeves, J.T. Muscle accounts for glucose diaposal but not blood lactate appearance after acclimatization to 4300 mts. *J. Appl. Physiol.* 72: 2435-2445, 1992.
- Cymerman, B., Ferretti, G., Kayser, B., Marzorati, M., Colombini, A., Marconi, C., Cerretelli, P. Maximal rate of blood lactate accumulation during exercise at altitude in humans. *J. Appl. Physiol.* 79: 331-339, 1995.
- Cymerman, R., Richalet, J.P., Corsin, A., Abousahi, I., and Crozatier, B. Hypoxia-induced down regulation of beta adrenergic receptors in rat heart. *J. Appl. Physiol.* 73: 1377-1382, 1992.
- Cymerman, Gougall, J.D., Green, H.J., Sutton, J.R., Coates, G., Cymerman, A., Young, P.M., and Houston, C.S. Operation Everest II: structural adaptations in skeletal muscle in response to extrema simulated altitude. *Acta Physiol. Scand.* 142:421-427, 1992.
- Cymerman, R.S., Bender, P.R., Brooks, G.A., Butterfield, G.E., Groves, B.M., Sutton, J.R., Wolfel, E.E., and Reeves, J.T. Arterial catecholamine responses during exercise with acute and chronic high altitude exposure. *Am. J. Physiol.* 261, (Endocrinol. Metab. 24): E 419-E424, 1991.
- Cymerman, R.S., Brooks, G.A., Butterfield, G.E., Cymerman, A., Roberts, A.C., Selland, M., Wolfel, E.E., and Reeves, J.T. Beta-adrenergic blockade does not prevent the lactate response to exercise after acclimatization to high altitude. *J. Appl. Physiol.* 76:607-615, 1994.
- Cymerman, J.T., Wolfel, E.E., Green, H.J., Mazzeo, R.S., Young, A.J., Sutton, J.R., and Brooks, G.A.
- Oxygen transport during exercise at altitude and the lactate paradox. lessons from Operation Everest II and Pikes Peak. In: *Exercise and Sport Science Reviews*, edited by J. O. Holloszy. Baltimore, MD.: Williams & Wilkins, 1992, vol.20, p. 275-296.
- Cymerman, P.M., Sutton, J.R., Green, H.J., Reeves, J.T., Rock, P.B., Houston, C.S., and Cymerman, A. Operation Everest II. Metabolic and hormonal responses to incremental exercise to exhaustion. *J. Appl. Physiol.* 73:2574-2579, 1992.
- Cymerman, E.P., Hjelmadaht and Kaijser, L. Epinephrine induced changes in muscle carbohydrate metabolism during exercise in man. *J. Appl. Physiol.* 60: 1466-1470, 1986.