

Vicente Rodríguez, G. (2002). Respuesta cardíaca en reposo y durante el esfuerzo submáximo, en el proceso de aclimatación a la altura, implicaciones para el entrenamiento. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, vol. 2 (7) pp. 235-243 <http://cdeporte.rediris.es/revista/revista7/respuesta.htm>

RESPUESTA CARDÍACA EN REPOSO Y DURANTE EL ESFUERZO SUBMÁXIMO, EN EL PROCESO DE ACLIMATACIÓN A LA ALTURA. IMPLICACIONES PARA EL ENTRENAMIENTO

HEART RATE RESPONSE DURING REST AND SUBMAXIMAL EFFORT IN THE ALTITUDE PROCESS OF ACCLIMATIZATION. TRAINING IMPLICATIONS

Vicente Rodríguez, G.¹

¹ Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Experto U en Entrenamiento Deportivo. Becario de Investigación del M.E.C.D.Laboratorio de Rendimiento Humano, Departamento de Educación Física, Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, Universidad de las Palmas de G. C.

E-mail: gvicente@arrakis.es

RESUMEN

En condiciones de hipoxia en altura, la capacidad de rendimiento físico está disminuida debido a la menor disponibilidad de oxígeno. La frecuencia cardíaca (FC) está muy relacionada con la cantidad de oxígeno que llega a los músculos, por lo que el fin de este trabajo es conocer la respuesta que tiene la FC en altura, tanto en situación de reposo como durante el ejercicio de intensidad submáxima. Para ello se estudió a los 4 participantes de una expedición al Himalaya, tanto en situación de reposo, como durante un test de esfuerzo submáximo, que consistía en subir y bajar de un escalón de 30 cm, 30 veces por minuto durante 3 minutos. La FC en reposo, aumentó significativamente con la altura ($P < 0.05$). En cambio, la FC durante el esfuerzo submáximo disminuyó de forma significativa con la altura y el tiempo de permanencia en ella ($P < 0.05$). En conclusión, este estudio demuestra que la frecuencia cardíaca durante el esfuerzo submáximo a intensidad constante disminuye con la permanencia a gran altura. Estos resultados son de interés para el control de la intensidad del esfuerzo en montaña y/o durante el entrenamiento en altura.

PALABRAS CLAVE

Hipoxia, frecuencia cardíaca, esfuerzo submáximo.

ABSTRACT

In hypoxia conditions, at a high altitude, the full performance is dropped lower than sea level due to the less available oxygen. The heart rate (HR) is strongly related to the amount of oxygen that reaches the muscles. That is why the aim of this paper is to know the HR response to high altitude at rest and during submaximal intensity exercise. As a matter of fact, we studied 4 Himalayan expedition participants at rest and during a submaximal effort test (30 cm step up and down, 30 times per minute for 3 minutes). The rest HR increased significantly with altitude ($P < 0.05$). On the other hand, HR during submaximal effort was significantly lower with altitude and the altitude permanency time ($P < 0.05$). In conclusion, this study shows that HR during submaximal effort at a constant intensity decreases with high altitude permanency. These results are interesting for the intensity control of mountain efforts and/or during the training in altitude.

Key words

Hypoxia, Heart rate, Submaximal effort.

INTRODUCCIÓN

La capacidad de trabajo en altura está disminuida y hay muchos factores que pueden influir en ello, siendo la cantidad de oxígeno de que se dispone uno de los principales factores limitantes del rendimiento. La frecuencia cardíaca (FC) está muy relacionada con el aporte de oxígeno a los músculos, puesto que el gasto cardíaco depende del producto FC x volumen sistólico, por lo que el objetivo de este trabajo es conocer la respuesta que tiene la FC en altura, tanto en situación de reposo, como durante el ejercicio de intensidad submáxima.

En altura, la presión parcial de O_2 (PaO_2) disminuye con la altitud (Roach y col., 1999), lo cual tiene consecuencias prácticamente inmediatas, como son el incremento de la ventilación pulmonar (V_e), la disminución del contenido de O_2 en la sangre arterial (CaO_2), el aumento del gasto cardíaco y el incremento de la frecuencia cardíaca (Calbet, 2000).

En esta situación, la respuesta cardíaca tiene relación con la disminución de CaO_2 que a su vez depende de la concentración y saturación de hemoglobina ($[Hb]$, SaO_2) y de la PaO_2 , $[CaO_2 = (1.34 \times [Hb] \times SaO_2) + (PaO_2 \times$

0.003)] para mantener el suministro de O₂ a los tejidos, tanto en reposo como durante el esfuerzo, es necesario aumentar el flujo de sangre y por lo tanto el gasto cardíaco, es decir la FC.

Se ha podido observar que en hipoxia aguda la FC aumenta de forma inmediata (Calbet, 2000). Este aumento de la FC podría estar mediado por un aumento de la actividad simpática, de las catecolaminas circulantes (Perini y col., 1996).

El incremento de la FC en reposo a grandes alturas ha sido descrita también por otros autores (Reeves y col., 1987; Richalet y col., 1989; Perini y col., 1996; Savourey y col., 1996). Además, en ejercicio máximo o cercano al máximo, la FC se reduce con el incremento de altura y el tiempo de permanencia en ella (Pugh y col., 1964; Saltin y col., 1968; Reeves, 1987; Richalet y col., 1989).

El consumo de O₂ (VO₂) absoluto es casi el mismo o ligeramente superior en hipoxia a la misma intensidad absoluta submáxima (Roach y col., 1999), pero el consumo de O₂ máximo (VO₂máx) en las mismas condiciones es menor (Springer y col., 1991; Lundby y col., 2000).

La mayor parte de las investigaciones se centran en el estudio de la FC en reposo, tanto en condiciones de hipoxia aguda como de hipoxia crónica. Tan sólo algunos estudios más modernos hacen referencia a la FC durante el ejercicio en el proceso de aclimatación a la altura, como el trabajo de Savourey y col. (1996), cuyos resultados muestran que después del proceso de aclimatación en cámara hipobárica, la FC durante el ejercicio submáximo a una misma intensidad absoluta disminuyó ligeramente, y que tras la expedición, la FC durante el ejercicio submáximo aumentó, pero la variación no resultó estadísticamente significativa. Mientras que en altura se ha visto que la FC máxima disminuye significativamente, ocurriendo lo mismo en condiciones de hipoxia aguda. En cambio, en esta misma situación, la FC a intensidades submáximas es ligeramente superior a la registrada a nivel del mar (Lundby y van Hall, 2000; Lundby y col., 2000).

MÉTODO

Con ocasión de una expedición al Himalaya durante el mes de Abril de 2000 se estudió a un total de 4 sujetos sanos, de los cuales 1 era mujer y tres hombres. La edad de la mujer era 30 años, mientras que la media de la edad de los hombres era de 30 años \pm 5 (8 \pm SD). La talla era para la fémina de 156 cm y para los hombres de 175 cm \pm 8 cm, y el peso 54 Kg de la mujer por 73 Kg \pm 8 Kg para los hombres.

Se les estudió en dos situaciones, una en reposo y otra durante un test de ejercicio submáximo a 1075; 1125; 2000; 2700; 3690; 4100 metros de altitud.

La frecuencia cardíaca en reposo fue tomada instantes después de levantarse y tras haber permanecido sentados al menos cinco minutos, mediante palpación carotídea durante 1 minuto.

El test de ejercicio submáximo consistió en subir y bajar de un escalón de 30 cm, a un ritmo de 30 veces por minuto. El ritmo fue marcado con un cronómetro convencional. La duración del test era de 3 minutos. La frecuencia cardíaca en el ejercicio de esfuerzo submáximo se tomó en los diez segundos inmediatos a la finalización del test.

Este test se repitió todos los días de la expedición a la misma hora en cada sujeto, con la excepción de 3 días, en los que no se pudo realizar debido a condiciones medioambientales adversas.

Estadística

Los resultados se presentan como la media \pm la desviación estándar. Para determinar si existen diferencias en la respuesta de la FC en reposo y durante el esfuerzo submáximo con la permanencia en altura se ha utilizado la prueba ANOVA para medidas repetidas, considerando diferencias estadísticamente significativas para $P < 0.05$.

RESULTADOS

La FC en reposo aumento con la aclimatación a la altura. Así, inicialmente, a una altitud de 1075 m, la FC en reposo fue de 64 ± 6 latidos \times min^{-1} , mientras que al llegar a los 4100m de altura la FC en reposo fue de 69 ± 9 latidos \times min^{-1} ($p < 0.05$) (Figura 1).

La FC durante el ejercicio submáximo fue significativamente menor en altura que a 1075 m, $p < 0.05$ (Figura 2).

Todos los sujetos presentaron un comportamiento similar en ambas situaciones.

La FC en reposo aumentó de forma directamente proporcional a la altura con la ascensión, medida en las primeras 24 h de la llegada a cada nueva altitud ($r = 0.93$ $p < 0.05$). Curiosamente, durante el esfuerzo submáximo, contrariamente a lo que cabría esperar a nivel del mar, con la aclimatación la FC disminuye de forma inversamente proporcional a la altura con la ascensión ($r = 0.95$ $p < 0.05$). Pudiendo ajustar por regresión, una curva con la que obtenemos la ecuación: $FC = 152 - 9.7 \times \text{Altura}$.

DISCUSIÓN

Respecto a la FC en reposo, nuestros resultados concuerdan con los que hemos venido observando en la mayoría de los estudios revisados (Reeves y col., 1987; Richalet y col., 1989; Perini y col., 1996; Savourey y col., 1996), la frecuencia cardíaca en reposo se incrementa con la altura, lo cual puede ser debido a todas las causas expuestas anteriormente como son el aumento de la actividad simpática, actividad nerviosa y de las catecolaminas circulantes, y que se han descrito también en otros estudios. (Perini y col., 1996).

Por otra parte se ha descrito que bajo los efectos de la hipoxia el ritmo cardíaco se incrementa durante el ejercicio submáximo (Reeves y col., 1987; Richalet y col., 1989). Pero además se ha visto también que con cargas de trabajo máximas o cercanas a estas, disminuye la frecuencia cardíaca con respecto al incremento de la altura y al tiempo que se permanece en ella (Pugh y col., 1964,; Saltin y col., 1968; Cerratelli, 1976; West y col., 1983; Reeves y col., 1987; Richalet y col., 1989).

Nosotros hemos encontrado, que la FC disminuye significativamente con el aumento de la altura a la que se está y con el tiempo que se permanece en altura. Al ser una expedición itinerante no se puede determinar si es por una u otra razón. Siendo lo más probable, que se deba a la altura más que al tiempo de permanencia, ya que como han descrito otros autores, tras una semana en altura no se observan cambios en la frecuencia cardíaca máxima (Antezana y col., 1994; Lundby y van Hall, 2000).

Tampoco está claro hasta que altura podría disminuir la FC en ejercicio submáximo, puesto que se ha visto que la FC máxima tiene valores próximos en alturas diferentes, entre 5.800 y 7.400 m (Pugh y col., 1964), entre 6.300 y 8.300 m (West y col., 1983) y 5.400 y 8.700 m (Lundby y van Hall, 2000). Parece que el aumento de la FC no sólo se debe a la disminución de la PaO_2 ya que administrando oxígeno puro aumenta la FC aunque no llega a los niveles registrados a nivel del mar (Astrad, 1956).

Por otro lado, Lundby y col. (2000), observaron que durante el ejercicio de intensidad submáxima el ritmo cardíaco fue significativamente superior en condiciones de hipoxia aguda comparado con el nivel del mar, pero estas diferencias no se presentaron tras una semana en altura. Lo que concuerda con los resultados que hemos obtenido nosotros. Es decir, que la FC durante el esfuerzo submáximo disminuye con la permanencia en altura.

Teniendo en cuenta todo esto, podríamos pensar que la FC en altura durante el ejercicio submáximo tiene un comportamiento similar a la FC máxima en altura, sobretodo cuanto más se acerca al trabajo máximo (Lundby y Van Hall, 2000).

En resumen, este estudio demuestra que la FC durante el esfuerzo submáximo de intensidad constante, disminuye con la permanencia en altura. Este hallazgo debería ser tomado en consideración por entrenadores y otros profesionales del deporte, ya que si bien a nivel del mar la FC es un buen indicador de la intensidad relativa del esfuerzo, en altura, sin que varíe la intensidad del esfuerzo, la FC disminuye. No tomar en consideración este comportamiento llevaría a asignar cargas de trabajo cuya intensidad sería muy elevada, de no reducir la FC asignada a cada tarea.

BIBLIOGRAFÍA

ASTRAND, P. & ASTRAND, I. (1958) "Heart rate during muscular work in man exposed to prolonged hypoxia", *J Appl Physiol*, 13, 75-80.

ANTEZANA, A.; KACIMI, R.; LE TRONG, J.; MARCHAL, M.; ABOUSHAL, I.; DUBRAY, C. & RICHALET, J.P. (1994) "Adrenergic status of humans during prolonged exposure to the altitude of 6.542 m", *J Appl Physiol*, 76(3), 1055-1059.

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.

CERRATELLI, P. (1976) "Limiting factors to oxygen transport on Mount Everest", *J Appl Physiol*, 40(5), 658-667.

LUNDBY, C. & VAN HALL, G. (2000) "Peak heart rates at extreme altitudes", *High Altitude Medicine and Biology*. In press.

LUNDBY, C.; MOLLER, P.; KANSTRUP, I. & OLSEN, N.V. (2000) "Heart rate response to hypoxic exercise: role of dopamine D2- receptors and effect of oxygen supplementation. Peak heart rates at extreme altitudes", *High Altitude Medicine and Biology*. In press.

PERINI, R.; MILESI, S. & BIANCARDI, L. (1996) "Effects of high altitude acclimatisation on heart rate variability in resting humans", *Eur J Appl Physiol*, 73, 521-528.

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.

REEVES, J.T.; GROVES, B.M.; SUTTON, J.R.; WAGNER, P.D.; CYMERMAN, A.; MALCONIAN, M.K.; ROCK, P.B.; YOUNG, P.M. & HOUSTON, C.S. (1987) "Operation Everest II: preservation of cardiac function at extreme altitude", *J Appl Physiol*, 63(2), 531-539.

RICHALET, J.T.; LE-TRONG, J.L.; RATHAT, C.; MERLET, P.; BOUISSOU, P.; KEROMES, A. & VEYRAC, P. (1989) "Reversal of hypoxia-induced decrease in human cardiac response to isopreterenol infusion", *J Appl Physiol*, 67(2), 523-527.

ROACH, R.C.; KOSKOLOU, M.D.; CALBET, J.A.L. & SALTIN, B. (1999) "Arterial O₂ content and tension in regulation of cardiac output and leg blood flow during exercise in humans", *The American physiological Society*. H432-H445.

SALTIN, B.; GROVER, R.F.; BLOMQUIST, C.G.; HARTLEY, L.H. & JOHNSON, R.L. (1968) "Maximal oxygen Uptake and cardiac output after 2 weeks at 4.300 m", *J Appl Physiol*, 25(3), 400-409.

SAVOUREY, G.; GARCIA, N.; BESNARD, Y.; GUINET, A.; HANNIQUET, A. & BITTEL, J. (1996) "Pre-adaptation, adaptation and de-adaptation to high altitude in humans: Cardio-ventilatory and haematological changes", *Eur J Appl Physiol*, 73, 529-535.

SPRINGER, C.; BARSTOW, T.; WASSERMAN, K. & COOPER, D. (1991) "Oxygen uptake and heart rate responses during hypoxic exercise in childrens and adults", *Medicine and Science in sport and exercise*, 23, 71-79.

WEST, J.B.; BOYER, S.J.; GRAVER, D.J.; HACKETT, P.H.; MARET, K.H.; MILLEDGE, J.S.; PETERS, R.M.; PIZZO, C.J.; SAMAJA, M.; SARNQUIST, F.H.; SCHOENE, R.B. & WINSLOW, R.M. (1983) "Maximal exercise at extreme altitudes on Mount Everest", *J Appl Physiol: Respirat Environ Exercise Physiol*, 55(3), 688-698.

Comentario a las figuras

Figura 1: Frecuencia cardíaca en reposo durante la fase aguda de la ascensión. * $P < 0.05$ al comparar con el valor obtenido a 1000 m de altura.

Figura 2: Frecuencia cardíaca durante el ejercicio submáximo a distintas alturas, tras la aclimatación. * $P < 0.05$ al comparar con el valor obtenido a 1000 m de altura.

Fig. 1

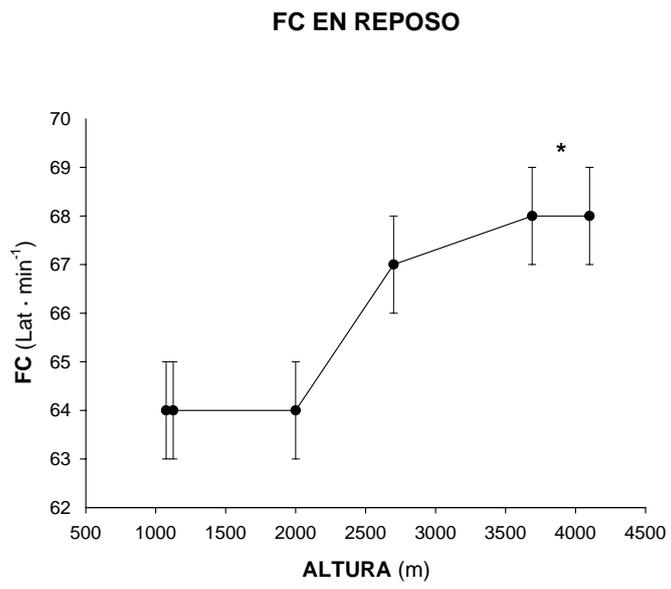


Fig. 2

