Monograph

Efectos de 30ºC de Temperatura sobre la Capacidad Anaeróbica en Atletas Aclimatados al Calor

James P Finn[1,2], Rob J Wood[1] y John F Mardsen[1]

[1]*National Heat Training and Acclimatisation Centre, Northern Territory Institute of Sport, Marrara, Australia.*

RESUMEN

El principal hallazgo de este estudio fue que para atletas aclimatados al calor, no hubo diferencias significativas (p=0.58) en la capacidad anaeróbica en condiciones templadas (21.8±0.5°C; 52±5 % humedad relativa) en comparación con condiciones de calor (29.6±0.5°C; 51±9 % humedad relativa). La capacidad anaeróbica fue estimada utilizando la deuda acumulada máxima de oxígeno (MAOD) durante ciclismo a intensidad constante al 120% de la tasa pico de consumo de O_2 hasta el agotamiento. Esto produjo valores medios de MAOD de 3.3±0.9 y 3.5±1.1 L con condiciones templadas y calurosas, respectivamente. Los valores de lactato post ejercicio de 14.7±3.8 y 14.4±4.5 mmol/L para las condiciones templada y calurosa respectivamente, tampoco fueron significativamente diferentes (p=0.72). El tiempo hasta el agotamiento (TTE) fue similar entre las condiciones (p=0.56), siendo 175±19 y 170±18 segundos para las condiciones templada y calurosa, respectivamente. Estos resultados sugieren que la MAOD sigue siendo un test válido a través de un intervalo de temperaturas que va desde los 20 a los 30ºC cuando se utiliza con atletas aclimatados al calor.

Palabras Clave: deuda acumulada máxima de oxígeno, metabolismo anaeróbico, temperatura ambiente, ejercicio máximo

INTRODUCCION

Los entrenadores con frecuencia están interesados en cuantificar el potencial de los atletas para el rendimiento de alta intensidad y corta duración. La capacidad anaeróbica expresa la cantidad total de energía que puede ser empleada durante ejercicios máximos a partir de fuentes no aeróbicas antes de que el agotamiento impida que el atleta continúe ejercitándose. Tradicionalmente, se ha utilizado el test de Wingate, pero debido a que este falla en tener en cuenta la considerable contribución aeróbica, la potencia media y la capacidad anaeróbica no son análogas y por ello los creadores del test desalientan la comparación (Inbar et al., 1996). La evaluación de la deuda acumulada máxima de oxígeno (MAOD) representa un avance en el test de Wingate debido a que es capaz de aislar y cuantificar la contribución anaeróbica del rendimiento de esta naturaleza. El cálculo de la MAOD se basa en la extrapolación de la relación entre la producción de potencia y el consumo de oxígeno para determinar el costo teórico de oxígeno (demanda de oxígeno) durante el test y luego sustraer el consumo real de oxígeno. Una presentación reciente de protocolos, valores normales y de las razones para la realización de esta evaluación puede hallarse en Finn et al. (2000). Si bien los efectos de condiciones cálidas y calurosas sobre el ejercicio aeróbico han sido extensivamente investigados, la intensión de este estudio fue cubrir la escasez de investigaciones acerca de los efectos de condiciones calurosas sobre el rendimiento anaeróbico y el metabolismo. El test de Wingate ha sido previamente utilizado para demostrar que el rendimiento anaeróbico no es afectado por la temperatura ambiental comparando los efectos de 22-23ºC con 30ºC y 38-39ºC (Dotan y Bar-Or, 1980).

Dadas las limitaciones previamente mencionadas del test de Wingate, nosotros consideramos necesario investigar los efectos del calor sobre la capacidad anaeróbica utilizando una evaluación de mayor validez. Aunque en un estudio previo (Claremont, 1969) no se hallaron diferencias en la deuda de oxígeno con una elevación de 1ºC en la temperatura rectal, para nuestro conocimiento, este es el primer estudio que investiga los efectos de la temperatura ambiental sobre la MAOD.

El incremento en el flujo sanguíneo hacia la piel a expensas de la perfusión de los músculos activos durante condiciones cálidas y calurosas puede resultar en una mayor dependencia del metabolismo anaeróbico. La MAOD cuantifica la cantidad de energía limitada que está disponible a partir de fuentes anaeróbicas para un individuo, antes de que se produzca el agotamiento, y como tal es considerada una entidad finita. Por ejemplo, un atleta de resistencia puede tener una MAOD tan baja como 40 ml/kg y un velocista de elite una puede tener una MAOD tan alta como 100 ml/kg (Finn et al., 2000). La magnitud de la MAOD no debería ser afectada por variables tales como la temperatura ambiental. Sin embargo, al inducir una mayor dependencia en el metabolismo anaeróbico, la temperatura ambiental puede ser un factor que influencie el tiempo hasta el agotamiento de la capacidad anaeróbica. El propósito de este estudio fue evaluar la hipótesis acerca de que durante el ejercicio en el calor la magnitud de la MAOD en atletas aclimatados al calor se mantendría sin cambios, aunque debido a la mayor dependencia en el metabolismo anaeróbico reportada para el ejercicio en temperaturas elevadas (Dimri et al., 1980; Young, 1990; Febbraio et al., 1994), esta podría agotarse antes.

METODOS

Sujetos

Cinco hombres y una mujer aclimatados al calor (25±7 años; 71.8±4.4 kg; tasa pico de consumo de O_2 56.8±6.4 ml/kg/min) fueron reclutados en el club Darwin de triatlón y en clubes de ciclismo. Los sujetos se consideraban aclimatados si habían realizado 10-17 horas por semana de entrenamiento de ciclismo en condiciones cálidas a calurosas por un mínimo de dos años. Antes de realizar cualquier test del estudio se requirió que los sujetos dieran su consentimiento informado por escrito. Los procedimientos experimentales fueron aprobados por el Comité de Ética Humana, de la Northern Territory University (número de referencia H99041), y conforme a los principios establecidos en las actuales regulaciones del Consejo Nacional de Investigación en Ciencias de la Salud y Medicina.

Diseño

Los tratamientos experimentales consistieron en la realización de ejercicios bajo condiciones de temperaturas templadas (21.8±0.5 °C; 52±5 % humedad) y cálidas (29.6±0.5 °C; 51±9 % humedad) características del ambiente local. También se llevaron a cabo una serie de evaluaciones preliminares para determinar la economía de ciclismo y la tasa pico de consumo de O_2 de cada sujeto, tanto en condiciones templadas como en condiciones cálidas.

Procedimientos

Los procedimientos para la evaluación de la MAOD fueron adaptados de los propuestos por Medbø y Tabata (1989) y fueron llevados a cabo utilizando un cicloergómetro con cupla electrónica (Lode BV, Groningen, Holanda) midiendo el consumo de O_2 con un analizador de gases Medgraphics CPX/D (Medical Graphics Corporation, St. Paul, MN, Estados Unidos). La duración de cada etapa en el test de economía fue de 5 minutos y la intensidad de ejercicio en cada etapa fue 25 W mayor que la anterior. Las seis cargas de trabajo produjeron 75-200 y 100-225 W para las mujeres y los hombres respectivamente. En un día separado, se realizó un protocolo de ejercicio continuo progresivo para determinar la tasa pico de consumo de O_2 de cada sujeto. Las regresiones entre el consumo de O_2 y la producción de potencia obtenidas con el test de economía fueron extrapoladas para predecir los requerimientos de oxígeno y la carga de trabajo al 120% de la tasa pico de consumo de O_2. Esta carga de trabajo tuvo una alta reproductividad test-retest para los test de MAOD a intensidad constante (Weber y Schneider, 2001). La entrada en calor para el test de capacidad anaeróbica fue de 10 minutos y consistió en lo siguiente: 3 min a 100 W, 15 seg a 400 W, 1 min a 100 W, 15 seg a 400 W, 3 min a 100 W, 1.5 min de descanso mientras se recolectaban muestras de sangre capilar, 1 min a 100 W. La evaluación de la capacidad anaeróbica se llevó a cabo mediante ejercicio de ciclismo a una intensidad constante igual al 120% de la tasa pico de consumo de O_2 hasta el agotamiento, y a una cadencia elegida por el sujeto entre 90 y 110 revoluciones por minuto. Un sujeto tuvo la misma cadencia de pedaleo a lo largo de los 2-3 minutos hasta el agotamiento. El agotamiento se definió como una reducción en la cadencia de pedaleo por debajo de las 60 revoluciones por minuto y ocurrió dentro de los pocos segundos después de la caída de la cadencia por debajo de la cadencia seleccionada por el sujeto. La MAOD se calculó a partir de la diferencia entre el consumo de oxígeno estimado para una intensidad igual al 120% de la tasa pico de consumo de oxígeno y el consumo de oxígeno real a través de la duración del test, utilizando los resultados de los test realizados bajo las mismas condiciones.

En los tests de capacidad anaeróbica, se monitorearon las temperaturas central (T_{core}) y de la piel (T_{skin}) utilizando un termistor de sonda rectal y un termistor para la piel (YSI, Yellow Springs, OH, Estados Unidos). La temperatura media de la piel se calculó a partir de la media ponderada de las temperaturas del pecho (T_{st}), antebrazo (T_{fa}, superficie media anterior) y de la pantorrilla (Tc, superficie media posterior). La media ponderada se calculó en base a la porción relativa de cada región con el área de superficie corporal de acuerdo con lo propuesto con Ramanathan (1964):

$$T_{skin}=0.5\ T_{st} + (0.14 \times T_{fa}) + (0.36 \times T_c)$$

Para medir los cambios en el peso corporal y en la ingesta de fluidos se utilizaron balanzas electrónicas (A & D Mercury, Pty. Ltd., Adelaide, Australia). La pérdida de sudor se estimó a partir de la comparación de estos valores. La frecuencia cardíaca se registró cada 5 s con un monitor de frecuencia cardíaca (Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia). A los 1, 3, 5 y 7 minutos postejercicio se recolectaron muestras de sangre capilar en el lóbulo de la oreja y se utilizó un analizador de lactato (YSI, Yellow Springs, OH, Estados Unidos) para determinar los cambios en las concentraciones de ácido láctico. Se midió el pH sanguíneo y se calculó la concentración de HCO_3- utilizando un analizador de gases Ciba-Corning 865 (Chiron Healthcare Pty Ltd, Scoresby, Victoria, Australia).

Las comparaciones entre los distintos tratamientos experimentales y entre los diferentes puntos del tiempo se llevaron a cabo utilizando el análisis de varianza ANOVA. Cuando se hallaron diferencias estadísticamente significativas se utilizaron comparaciones post hoc de Tukey. Para comparar las medias de MAOD, TTE y pérdida de sudor, se utilizó la prueba t de Student para datos apareados. El nivel alfa aceptado fue $p \leq 0.05$.

RESULTADOS

No se hallaron diferencias significativas en la MAOD entre las dos condiciones experimentales. Los valores medios fueron 3.3±0.9 y 3.5±1.1 L (p=0.58) para las condiciones templada y cálida respectivamente. Tampoco se hallaron diferencias significativas en el tiempo hasta el agotamiento (TTE), siendo de 175±19 y 170±18 segundos para las condiciones templada y cálida respectivamente.

La T_{skin} post entrada en calor promediada fue 3.0ºC mayor en la condición cálida, se mantuvo relativamente constante durante el test de capacidad anaeróbica y se incrementó en la misma proporción para las condiciones templada y cálida durante los primeros seis minutos de la recuperación. La T_{core} previa a la entrada en calor fue de 37.4±0.2 y 37.3±0.2ºC (p=0.82) para las condiciones templada y cálida respectivamente. La T_{core} post entrada en calor fue de 37.5±0.2 y 37.5±0.3ºC (p=1.00) para las condiciones templada y cálida respectivamente. Esta continuó elevándose a lo largo del test en una cantidad estadísticamente significativa ($p<0.01$) que fue del mismo orden para ambas condiciones de temperatura. La temperatura central post ejercicio alcanzó un pico de 38.0±0.2 y 38.0±0.3ºC (p=0.71) para las condiciones templada y cálida respectivamente.

Se observó una diferencia significativa entre los 320±112 y los 416±131 g de sudor (teniendo en cuenta la ingesta de fluidos) que fue perdido en las condiciones templada y cálida respectivamente. Sin embargo, esto no tuvo ninguna significancia fisiológica debido a que solo representó el 0.5±0.2 y el 0.6±0.2 % de la masa corporal del sujeto para las condiciones templada y cálida respectivamente. La ingesta de fluidos fue de 100 y 136 ml para las condiciones templada y cálida respectivamente, resultando en solo cambios mínimos en el peso corporal a través de los tests.

No se hallaron diferencias significativas entre las condiciones templada y cálida en ningún momento durante los tests de capacidad anaeróbica para el pH y la concentración de HCO_3-, o para la concentración pico de ácido láctico (Tabla 1). Los valores pico de frecuencia cardíaca fueron 180±6 y 180±9 latidos/min para las condiciones templada y cálida respectivamente.

	Termoneutral		Calor	
	Pre	Post	Pre	Post
pH	7.42 (.02)	7.17 (.04)	7.43 (.02)	7.18 (.04)
[HCO_3-] *	24.5 (.67)	13.8 (1.01)	24.4 (1.18)	14.1 (1.13)
Pico de [La] *		14.7 (3.8)		14.4 (4.5)

Tabla 1. *Marcadores del metabolismo anaeróbico durante el test de MAOD. Los datos son presentados como medias (desviación estándar). * Valores están expresados en mmol/L.*

DISCUSION

Los principales hallazgos de este estudio fueron que para atletas aclimatados al calor, no hay diferencias significativas en la capacidad anaeróbica o en el tiempo para agotar la capacidad anaeróbica durante un test a carga constante en condiciones de temperatura templada y en comparación con condiciones de temperatura cálida. La MAOD es una cantidad y no una tasa. Debido a que tanto la reserva de fosfato de creatina como cantidad de lactato que se puede acumular son limitadas, la capacidad anaeróbica es una entidad finita y separada del sistema de energía aeróbica (Medbø et al., 1988). Las comparaciones realizadas en el presente estudio entre las condiciones de temperatura templada y temperatura cálida respaldan este concepto. El concepto de entidad finita e independiente de la influencia aeróbica ha sido también respaldado por la observación de la invariabilidad de la MAOD bajo condiciones de hipoxia (Linnarsson et al., 1974), en la cual la contribución anaeróbica al rendimiento también es aislada.

Los marcadores elegidos en este estudio (Tabla 1) fueron incapaces de demostrar un incremento en la dependencia del metabolismo anaeróbico bajo condiciones de temperatura cálida. La concentración sanguínea de lactato refleja el equilibrio entre la producción y la remoción. Posiblemente la elevación de la temperatura de los músculos durante el ejercicio en condiciones de temperatura cálida puede incrementar la utilización de lactato en atletas aclimatados al calor y por lo tanto enmascarar el incremento en la producción de lactato. Alternativamente, es probable que no haya habido un incremento en la dependencia del metabolismo anaeróbico en atletas aclimatados y con el ejercicio de esta naturaleza.

De acuerdo con nuestra hipótesis, la reducción esperada en el rendimiento bajo condiciones calurosas en el test de MAOD a intensidad constante fuera la inhabilidad de mantener una producción de potencia supramáxima. Aunque la MAOD pudo haber sido de la misma magnitud, pudo haberse consumido más rápidamente y esto se hubiera reflejado en la reducción del TTE. Si hubiese habido una incrementada dependencia en el metabolismo anaeróbico esto hubiera resultado en un comienzo más temprano del agotamiento. La falta de evidencia en este estudio para respaldar el posible incremento en la dependencia en el metabolismo anaeróbico fue consistente con que nuestros atletas aclimatados al calor pudieron mantener el TTE en condiciones calurosas.

Alternativamente, es más probable que el rendimiento durante el ejercicio en el calor sea independiente del sustrato utilizado y dependiente de la temperatura central (Febbraio, 2000). La reducción en el rendimiento con temperaturas de 40ºC ha sido asociada con elevadas concentraciones de IMP en el momento del agotamiento, a pesar de que los sujetos contaban con adecuadas reservas de glucógeno (Febbraio, 2000), y con elevadas concentraciones plasmáticas de amonio, sin embargo no se han reportado elevaciones en las concentraciones de lactato con temperaturas centrales de 39.2±1ºC (Marino et al., 2001). Los sujetos aclimatados al calor pueden tener mecanismos más efectivos de enfriamiento, entre los cuales se encuentran el comienzo temprano de la sudoración (Haymes y Wells 1986) y el cambio en la distribución de la sudoración, de modo tal que se consigue un mayor efecto de enfriamiento con una menor pérdida de fluidos (Armstrong y Maresh 1991), con los cual se puede mantener la temperatura central y el rendimiento durante el ejercicio. En el presente estudio la moderada temperatura ambiental de 29.6±0.5ºC y la capacidad de los atletas aclimatados al calor para limitar el incremento en la temperatura central hasta 38.0±0.3ºC sin diferencias significativas entre las condiciones de temperatura templada y cálida, contribuyeron a que los atletas se mantuvieran por debajo del limite al cual se hubiera producido una reducción del TTE. Sin embargo, nosotros reconocemos la lenta respuesta de la temperatura rectal y concedemos que la temperatura central medida en el esófago podría haber sido mayor, aunque es improbable que la corta duración del test hubiera permitido que se acumulara el suficiente calor como para que los atletas alcanzaran la temperatura central límite.

Conclusión

La hipótesis acerca de que la magnitud de la MAOD debería mantenerse invariable, mientras los sujetos se ejercitaban a 30ºC fue respaldada por los datos de esta investigación, pero la hipótesis de que los sujetos se deberían haber agotado antes no lo fue. El TTE no se redujo en condiciones calurosas y no hubo evidencia de un incremento en el metabolismo anaeróbico. El test de MAOD parece no verse afectado por temperaturas ambientales de entre 20-30ºC cuando lo realizan atletas aclimatados al calor.

Agradecimientos

Agradecemos la colaboración de Anna Travar en la recolección de los datos.

REFERENCIAS

1. Armstrong, L.E. and Maresh, C.M (1991). The induction and decay of heat acclimatisation in trained athletes. *Sports Medicine 12, 302-312*
2. Claremont, A.D (1969). Effects of changes of body temperature on the oxygen deficit incurred in exercise. *MSc Thesis, University of Oregon, 3 fiches*
3. Dimri, G. P., Malhotra, M.S., Gupta, J.S., Kumar, T.S. and Arora, B.S (1980). Alterations in aerobic-anaerobic proportions of metabolism during work in heat. *European Journal of Physiology 45, 43-50*
4. Dotan, R. and Bar-Or, O (1980). Climatic heat stress and performance in the Wingate Anaerobic Test. *European Journal of Applied Physiology 44, 237-243*
5. Febbraio, M. A (2000). Does muscle function and metabolism affect exercise performance in the heat?. *Exercise and Sport Science Reviews 28, 171-176*
6. Febbraio, M. A., Snow, R.J., Stathis, C.G., Hargreaves, M. and Carey, M.F (1994). Effect of heat stress on muscle energy metabolism during exercise. *Journal of Applied Physiology 77, 2827-2831*
7. Finn, J., Gastin, P., Withers, R. and Green, S (2000). The estimation of peak power and anaerobic capacity of athletes. *In: Physiological Tests for Elite Athletes. Ed: Gore, C.J. Human Kinetics, Champaign, IL*
8. Haymes, E.M. and Wells, C.L (1986). Environment and Human Performance. *Human Kinetics, Champaign Illinois. 23*
9. Inbar, O., Bar-Or, O. and Skinner, J.S (1996). The Wingate anaerobic test. *Human Kinetics, Champaign Illinois. 12*
10. Linnarsson, D., Karlsson, J., Fagraeus, L. and Saltin, B (1974). Muscle metabolites and oxygen deficit with exercise in hypoxia and hyperoxia. *Journal of Applied Physiology 36, 399-402*
11. Marino, F.E., Mbambo, Z., Kortekaas, E., Wilson, G., Lambert, M.I., Noakes, T.D. and Dennis, S.C (2001). Influence of ambient temperature on plasma ammonia and lactate accumulation during prolonged submaximal and self-paced running. *European Journal of Applied Physiology 86, 71-78*
12. Ramanathan, N.L (1964). A new weighting system for mean surface temperature of the human body. *Journal of Applied Physiology 19, 531-533*
13. Weber, C.L. and Schneider, D.A (2001). Reliability of MAOD measured at 110% and 120% of peak oxygen uptake for cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise 33, 1056-1059*
14. Young, A.J (1990). Energy substrate utilisation during exercise in extreme environments. *Exercise and Sport Science Reviews 18, 65-117*

Cita Original

James P. Finn, Rob J. Wood y John F. Mardsen. Efectos de 30ºC de Temperatura sobre la Capacidad Anaeróbica en Atletas Aclimatados al Calor. Journal of Sports Science and Medicine (2003) 2, 158-162.