PubliCE, (PubliCE) 1998

Revision of Literature

Aclimatación al Calor

Lawrence E Armstrong[1]

[1]*Department of Sport Leisure and Exercise Science, University of Connecticut, Storrs, CT 06269-111, USA.*

RESUMEN

Luego de series repetidas de ejercicio en un ambiente caluroso, hay una mejora marcada en las respuestas fisiológicas de humanos sanos. Esta tolerancia incrementada para ejercitarse en el calor es conocida como aclimatación al calor. Cuando se realiza en un ambiente artificialmente controlado, este proceso es conocido como aclimatación al calor. El beneficio principal de la aclimatación al calor es una tolerancia incrementada para ejercitarse en un ambiente caluroso, lo que es evidente al presentarse una reducción en la incidencia o la gravedad de los síntomas de el malestar causado por el calor, un trabajo incrementado concurrente con esfuerzos cardiovasculares, térmicos y metabólicos reducidos.

Palabras Clave: adaptaciones fisiológicas, entrenamiento físico, golpe de calor, termorregulación, deshidratación

RESPUESTAS FISIOLÓGICAS

La aclimatación al calor es específica al estrés impuesto al cuerpo humano. Por ejemplo, la exposición pasiva al calor induce algunas respuestas, notablemente una habilidad incrementada para disipar el calor. De manera contraria, el entrenamiento físico en un ambiente frío y seco resulta en adaptaciones metabólicas, bioquímicas, hematológicas y cardiovasculares. La aclimatación al calor por medio del ejercicio vigoroso induce respuestas atribuidas a ambas, la exposición pasiva al calor y al entrenamiento en ambientes fríos. La tabla 1 ilustra estas relaciones.

Una aclimatación al calor completa requiere hasta 14 días, pero los sistemas del cuerpo se adaptan a la exposición al calor a velocidades variadas. Las adaptaciones tempranas (1-5 días iniciales) involucran un control incrementado de la función cardiovascular, incluyendo un volumen plasmático expandido, una frecuencia cardiaca reducida, y una habituación del Sistema Nervioso Autónomo, el cual redirige el gasto cardiaco a los capilares de la piel y a los músculos activos. La expansión del volumen plasmático como resultado de un incremento de las proteínas plasmáticas y una retensión incrementada de NaCl, varía de +3 a +27 %, y es acompañada por una disminución de un 15-25% en la frecuencia cardiaca. Esta reducción del esfuerzo cardiovascular reduce la tasa de agotamiento percibido, el cual es proporcional al estrés cardiorrespiratorio central, y el cual también disminuye durante el ejercicio. La expansión del volumen plasmático es un fenómeno temporario, el cual decae durante los días 8 a 14 de la aclimatación al calor (como es realizado por la respuesta de las hormonas reguladoras de fluido, ver más abajo), y luego es reemplazada por una reducción de mayor duración, en el flujo sanguíneo a la piel que sirve para incrementar el volumen sanguíneo central.

La regulación de la temperatura corporal durante el ejercicio en el calor es crítica, debido al gran potencial existente de una hipertermia fatal. Las adaptaciones termorregulatorias (i.e., velocidad de transpiración incrementada, iniciación más temprana de la producción de sudor), están acopladas con ajustes cardiovasculares, los cuales resultan en una temperatura corporal central disminuida. Esta respuesta es maximizada luego de 5 a 8 días de aclimatación al calor. Sin embargo, las adaptaciones de las glándulas sudoríparas son diferentes durante exposiciones al calor húmedo y seco. La aclimatación al calor húmedo estimula una mayor velocidad de transpiración que la aclimatación en un ambiente de calor seco. También, la velocidad o tasa absoluta de transpiración influencia la termorregulación. Si la velocidad o tasa de transpiración por hora es baja (<400-600 ml), puede no ocurrir una adaptación periférica de tasa o velocidad de

transpiración de todo el cuerpo.

Respuestas Fisiológicas	Sin Ejercicio, Ambiente Cálido	Ejercicio, Ambiente Frío	Ejercicio, Ambiente Cálido
Temperatura Corporal más baja al inicio de la transpiración	++	+	++
Pérdida de Calor incrementada por medio de radiación y convección (flujo sanguíneo a la piel)	++	++	++
Volumen Plasmático incrementado	+	+	++
Frecuencia Cardiaca disminuida	0	++	++
Temperatura Corporal Central disminuida	++	+	++
Utilización de Combustibles Metabólicos alterada	0	++	++
Flujo del Sistema Nervioso Simpático incrementado (eferente)	+	++	++
Consumo de Oxígeno incrementado	0	++	++
Economía de Ejercicio incrementada	0	0	+
Adaptación al ejercicio en un ambiente frío	0	++	++
Adaptación al ejercicio en un ambiente cálido	+	+	++
Temperatura de la Piel disminuida	+	+	+

Tabla 1. *Efectos de 14 días de protocolos pasivos y de ejercicio vigoroso en ambientes calurosos y fríos, sobre respuestas fisiológicas seleccionadas (Armstrong y Maresh, 1991). Símbolos: 0 = efecto mínimo; + = efecto moderado; ++ = efecto grande.*

La conservación del cloruro de sodio (NaCl) también ocurre durante la aclimatación al calor. Las pérdidas de NaCl en el sudor y la orina disminuyen durante los

días 3-9 de la aclimatación, resultando en un volumen de fluido extracelular expandido. Subsecuentemente, las pérdidas de NaCl en el sudor y la orina se incrementan hasta los niveles pre-aclimatación, una vez que se modera el esfuerzo fisiológico (i.e., cardiovascular, térmico). Francesconi y cols. (1993) demostraron recientemente que las pérdidas de NaCl, durante un protocolo agotador de aclimatación al calor de 10 días, estuvo relacionado a las concentraciones plasmáticas de renina (PR) y aldosterona (A). Cuando los sujetos consumieron una dieta baja en sal (4 g de NaCl por día) y una dieta con sal moderada (8 g de NaCl por día), ambas PR y A se incrementaron durante los primeros 4 días de aclimatación al calor, pero disminuyeron durante los 6 días restantes de aclimatación. La estabilidad cardiovascular incrementada, la cual ocurre en los días 1-4 de aclimatación, permite rendimientos en ejercicio equivalentes con ambas dietas y aparentemente reduce la estimulación y la necesidad de grandes elevaciones de la PR y A. No fueron observados cambios en los niveles plasmáticos de la arginina vasopresina (AVP) a través del tiempo en ambos grupos dietarios, posiblemente debido a que la ingesta de agua por hora igualaba a los fluidos perdidos en el sudor. Usualmente, la síntesis de AVP es estimulada por un incremento en la osmoralidad del plasma o por alteraciones en la presión sanguínea, volumen plasmático, y el flujo plasmático renal o hepático. De este modo, es improbable que la habilidad para mantener un ejercicio de manera exitosa, durante los días posteriores al proceso de aclimatación al calor, este específicamente relacionada a la acción de las hormonas que regulan el balance de fluidos-electrolitos. Esto es particularmente cierto cuando el balance de sales ha sido alcanzado.

El exceso de agua y electrolitos en la dieta no hacen más rápido el proceso de aclimatación al calor. Cuando existe una deshidratación o déficit de sales, las respuestas cardiovasculares y termorregulatorias pueden ser negativamente afectadas, y el riesgo teórico de golpe de calor puede incrementarse. Una monitorización diaria del peso corporal consistente le va a permitir a los atletas reconocer un déficit de agua, lo cual requiere el consumo de fluidos (pérdidas de un 2 a 3 % del peso corporal), reducción de la duración/intensidad del entrenamiento (pérdidas de un 4 a 6 %), o la

consulta a un médico especializado (en pérdidas mayores al 7 %).

La concentración plasmática de cortisol indica generalmente el esfuerzo experimentado por el cuerpo. Los seres humanos bien hidratados y aclimatados al calor no exhiben cambios en el cortisol plasmático cuando se ejercitan en un ambiente caluroso. Bajo las mismas condiciones, la falta de una aclimatación al calor y la deshidratación pueden resultar en grandes incrementos del cortisol plasmático. Cuando el ejercicio es intenso y la temperatura central del cuerpo aumenta marcadamente, la concentración plasmática de cortisol se incrementa durante los días iniciales de aclimatación al calor, pero vuelve a los niveles de control después de 8 días de aclimatación, reflejando una reducción en el esfuerzo de todo el cuerpo.

El entrenamiento físico en un ambiente frío puede o no mejorar la economía de ejercicio. El metabolismo puede ser afectado por la aclimatación al calor, en la cual es reducido el consumo de oxígeno durante el ejercicio submáximo. Han sido demostrados grandes efectos en los ejercicios como subir escaleras, mientras que la cinta y el ciclo ergómetro produjeron cambios más pequeños, pero aún estadísticamente significativos. El mecanismo fisiológico de disminución del consumo de oxígeno submáximo no ha sido exactamente definido, pero existen 3 teorías: (a) El flujo sanguíneo a la piel se incrementa, así reduciendo el volumen sanguíneo central, el retorno venoso al corazón y el gasto cardiaco; (b) Decrece la parte del gasto cardiaco que irriga a los músculos; (c) El reclutamiento de fibras musculares cambia de fibras predominantemente oxidativas a fibras glucolíticas. La aclimatación al calor reduce la utilización de glucógeno muscular y la concentración de lactato muscular post-ejercicio.

MALESTAR POR CALOR

La aclimatación al calor resulta un tema de interés tanto para los médicos como para los atletas, porque la misma reduce tanto la incidencia del malestar por calor como la intensidad de sus síntomas. Los malestares por calor más comunes entre los atletas son los calambres, síncopes, y el agotamiento.

Los calambres por calor ocurren en los músculos voluntarios de las piernas, brazos y abdomen, luego de varias horas de ejercicio intenso en individuos que han perdido un gran volumen de sudor, que han bebido un gran volumen de fluidos hipotónicos, y que han producido un pequeño volumen de orina. La depleción de sodio es probablemente la causa de los calambres por calor. La aclimatación al calor disminuye el riesgo de experimentar este tipo de calambres.

El síncope por calor (e.g., desmayos) ocurre más comúnmente durante los primeros 3-5 días de exposición al calor. Este malestar está relacionado al transporte de sangre a través de los vasos cutáneos dilatados, acumulación postural de sangre, retorno venoso al corazón disminuido, reducción del gasto cardiaco e isquemia cerebral. El síncope por calor ocurre generalmente cuando la temperatura o humedad del ambiente aumentan repentinamente, cuando un individuo no aclimatado realiza ejercicio en un ambiente caluroso. La aclimatación al calor reduce la incidencia del síncope por calor mientras se hace ejercicio. Este período corresponde con la estabilización cardiovascular, al principio del curso de la aclimatación al calor (ver arriba). El síncope por calor es un síndrome distinto del agotamiento por calor, debido a que la depleción de agua y sal no siempre contribuyen al síncope por calor.

El agotamiento por calor es la forma de malestar por calor más comúnmente diagnosticada entre los atletas, a pesar de que sus síntomas son frecuentemente imprecisos y difieren enormemente de una situación a otra. Las descripciones clínicas incluyen varias combinaciones de dolores de cabeza, fatiga, hiperirritabilidad, taquicardia, hiperventilación, diarrea, piloerección, nauseas, vómitos, síncopes, calambres, mareos, así como “sensaciones de calor” en la cabeza y el torso superior. Esto explica porque el agotamiento por calor esta definido como la inhabilidad de continuar ejercitándose en un ambiente caluroso e involucra un diagnóstico de exclusión. La aclimatación al calor reduce significativamente los signos y síntomas del agotamiento por calor, luego de 8 días de carrera intermitente de alta intensidad.

Los tres malestares por calor anteriormente mencionados, están implicados tanto en el balance de fluidos-electrolitos, el volumen y tonicidad extracelular, así como en las adaptaciones cardiovasculares. Esto enfatiza la importancia de (a) Una amplia ingesta de NaCl y fluidos, y (b) Una regulación hormonal de los fluidos-electrolitos durante la aclimatación al calor.

FACTORES QUE AFECTAN LA ACLIMATACIÓN AL CALOR

Se cree que muchos factores pueden influenciar la capacidad de aclimatarse para hacer ejercicio en un ambiente caluroso.

Por ejemplo, anteriormente se pensaba que las personas ancianas toleraban menos el calor que las personas jóvenes. Fue demostrado que los hombres de mediana edad (> 45 años) tenían frecuencias cardiaca y temperaturas rectales más altas, y menores tasas de transpiración que los hombres jóvenes, durante el ejercicio en el calor, tanto antes como durante el ejercicio en el calor, y tanto antes como después de la aclimatación al calor. Similarmente, los estudios conducidos en los inicios de 1960 sugirieron que las mujeres eran menos tolerantes a ejercitarse en el calor que los hombres. Sin embargo, las investigaciones recientes han modificado o revertido estos puntos de vista. Es ahora reconocido que existen pocas diferencias relacionadas al sexo, cuando los sujetos hombres o mujeres son emparejados para las características físicas y morfológicas pertinentes. Es también reconocido que las diferencias entre sujetos jóvenes y ancianos, no son necesariamente debido al envejecimiento per se, pero pueden ser debido a otros factores tales como una disminución en el volumen de entrenamiento y una potencia aeróbica máxima más baja (VO_2 máx.).

La mayoría de los expertos están de acuerdo en que el entrenamiento físico intenso en un ambiente frío mejora las respuestas fisiológicas, y acelera el proceso de aclimatación al calor. Durante el entrenamiento en condiciones de clima frío, las adaptaciones fisiológicas óptimas pueden ser alcanzadas si es realizado un entrenamiento intervalado o continuo vigoroso, a una intensidad mayor al 50 % del VO_2 máx., por un período de 8-12 semanas. El mantenimiento de una temperatura corporal central elevada parece ser el estímulo fisiológico más importante.

Sin tener en cuenta el entrenamiento físico, el VO_2 máx. influye generalmente sobre las respuestas fisiológicas durante el desarrollo de la aclimatación al calor. Los individuos con VO_2 máx. (> 60 ml/kg/min) exhiben respuestas superiores de la frecuencia cardiaca y la temperatura rectal, y usualmente alcanzan un estado de aclimatación al calor estable más rápido cundo se los compara con aquellos individuos con un VO_2 máx. bajo (< 40 ml/kg/min). Sin embargo, la potencia aeróbica máxima per se puede no ser tan importante en conferir la tolerancia al calor como las adaptaciones fisiológicas que constituyen la base de la misma (i.e., volumen sanguíneo, vasodilatación, vasoconstricción, y metabolismo muscular, alterados), lo cual da como resultado las diferencias del VO_2 máx. entre individuos. Una publicación reciente de Pandolf et al. (1988) demuestra bien este concepto. Ellos expusieron a 9 hombres jóvenes (21 años) y a nueve hombres de mediana edad (46 años) a un protocolo de aclimatación al calor de 10 días (100 minutos de caminata por día, a 46 Cº de temperatura del aire). Los resultados de las evaluaciones del día 1 indicaron que los hombres de mediana edad eran capaces de ejercitarse más tiempo, tenían frecuencias cardiacas y temperaturas rectales menores, y exhibían mayores tasas de transpiración en todo el cuerpo que los hombres jóvenes. Las diferencias persistieron por los primeros días de aclimatación, pero desaparecieron al día 10 de aclimatación al calor. El factor que distinguía a estos grupos era su nivel de entrenamiento físico regular por semana: los hombres de mediana edad corrían un promedio de 39 km por semana, mientras que los hombres jóvenes promediaban solo 8 km por semana.

La frase “intolerancia al calor” ha sido usada en una amplia variedad de contextos. Interesantemente, la intolerancia el calor ha sido definida por algunos expertos como una inhabilidad de desarrollar adaptaciones fisiológicas normales, durante días repetidos de ejercicio en un ambiente caluroso. Algunos humanos no demuestran las disminuciones clásicas en la frecuencia cardiaca y la temperatura rectal que ejemplifican una aclimatación exitosa. Esto ha resultado de particular interés para personas con enfermedades cardiovasculares y para pacientes que hayan sufrido un golpe de calor previo. Sin embargo, una publicación reciente (Armstrong et al., 1990) reportó que 9 de 10 pacientes con un golpe de calor previo exhibieron respuestas de aclimatación al calor normales (90 minutos de caminata en cicloergómetro por día, 7 días, a una temperatura del aire de 40 Cº), 61 días después de experimentar un golpe de calor.

PERDIDA DE LA ACLIMATACIÓN

Las adaptaciones fisiológicas obtenidas por el entrenamiento físico en un ambiente frío se pierden después de varias semanas o meses de inactividad. En contraste, las adaptaciones de aclimatación al calor pueden desaparecer después de solo unos pocos días o semanas de inactividad (i.e., 18-28 días). Las primeras adaptaciones que decaen son aquellas que se desarrollan primero: la frecuencia cardiaca y otras variables cardiovasculares. La tasa de caída de las adaptaciones es afectada por el número de exposiciones al calor por semana, el número y tipo de las sesiones de entrenamiento y el grado en el cual es elevada la temperatura corporal central. Los atletas con VO_2 máx. altos usualmente van a perder las adaptaciones de la aclimatación al calor más lentamente que los individuos con VO_2 máx. más bajos.

REFERENCIAS

1. Armstrong, L. E., J. P. De Luca, and R. W. Hubbard (1990). Time course of recovery and heat acclimation ability of prior exertional heatstroke patients. *Med Sci Sports Exerc; 22: 36-48*
2. Armstrong, L. E. and C. M. Maresh (1991). The induction and decay of heat acclimatization in trained athletes. *Sports Med; 12: 302-312*
3. Armstrong, L E and K B Pandolf (1988). Physical training, cardiorespiratory physical fitness, and exercise - heat tolerance. *In: Human Performance Physiology and Environmental Medicine at Terrestrial Extremes. Pp. 199-226*
4. Francesconi, R. P., L. E. Armstrong, N. M. Leva, R. J. Moore, P. C. Szlyk, W. T. Matthew, W. C. Curtis, R. W. Hubbard, and E. W. Askew (1993). Endocrinological responses to dietary salt restriction during heat acclimation. *In: Nutritional Needs in Hot Environments, B.M. Marriott (Ed.). Washington, D.C.: National Academy Press, pp. 259-276*
5. Greenleaf, J. E. and C. J. Greenleaf (1970). Human acclimation and acclimatization to heat: A compendium of Research. *Moffett Field, CA: Ames Research Center, Technical Memorandum no. TM X-62008, pp. 1-188*
6. Hubbard, R. W. and L. E. Armstrong (1988). The heat illnesses: biochemical, ultrastructural, and fluid-electrolyte considerations. *In: Human Performance Physiology and Environmental Medicine at Terrestrial Extremes. Pp. 305-359*
7. Pandolf, K. B., B. S. Cadarette, M. N. Sawka, A. J. Young, R. P. Francesconi, and R. R. Gonzalez (1988). Thermoregulatory responses of matched middle-aged and young men during dry-heat acclimation. *J Appl Physiol; 65: 65-71*
8. Sawka, M. N., C. B. Wenger, A. J. Young, and K. B. Pandolf (1993). Physiological responses to exercise in the heat. *In: Nutritional Needs in Hot Environments. B.M. Marriott (Ed.). Washington, D.C.: National Academy Press, pp. 55-74*
9. Sciaraffa, D., S. C. Fox, R. Stockmann, and J. E. Greenleaf (1981). Human acclimation and acclimatization to heat: a compendium of research, 1968-1978. *Moffett Field, CA: Ames Research Center, National Aeronautics and Space Administration Technical Memorandum no. 81181, pp. 1-102*
10. Wenger, C. B. (1988). Human heat acclimatization. *In: Human Performance Physiology and Environmental Medicine at Terrestrial Extremes,Pp. 153-198*

Cita Original

Armstrong, L.E. Heat acclimatization. In: Encyclopedia of Sports Medicine and Science, T.D.Fahey (Editor). Internet Society for Sport Science. Sportscience; 1998.