

EFECTOS FISIOLÓGICOS DE LA DESHIDRATACIÓN. ¿POR QUÉ LOS DEPORTISTAS DEBEN INGERIR LÍQUIDOS DURANTE EL EJERCICIO EN EL CALOR?

José González-Alonso

Licenciado en Educación Física, Ph.D., investigador post-doctoral.
Human Physiology Department, August Krogh Institute.
University of Copenhagen, Dinamarca.

Edward F. Coyle

Ph. D. Profesor Human Performance Laboratory.
Department of Kinesiology and Health Education.
University of Texas, Austin, Texas, EE.UU.

Palabras clave:

deshidratación, hipertermia,
gasto cardíaco, reposición hídrica

Resumen

Durante el ejercicio prolongado realizado en condiciones de calor ambiental, los deportistas incurren en niveles de deshidratación bastante acusados debido principalmente a las grandes pérdidas de agua a través del sudor (1-2 l/h). Datos recientes demuestran que esta deshidratación progresiva causa alteraciones significativas de los sistemas cardiovascular, metabólico, termorregulador y endocrino, que a su vez pueden anticipar la aparición de la fatiga, ocasionar un golpe de calor o incluso causar la muerte. Más concretamente, la hipertermia, el aumento de la frecuencia cardíaca y la disminución del gasto cardíaco durante el ejercicio prolongado en el calor se correlacionan directamente con la magnitud de la deshidratación. Estos efectos negativos de la deshidratación se manifiestan independientemente de la modalidad y de la intensidad del ejercicio. Con la ingestión de un volumen de líquido equivalente a las pérdidas de agua por la sudoración se previene la deshidratación y, por lo tanto, se evitan estas alteraciones funcionales. Así pues, desde un punto de vista estrictamente fisiológico, no cabe ninguna duda que el esquema más idóneo de reposición hídrica durante el ejercicio en el calor es aquel en el que se reponen completamente las pérdidas de agua provocadas por la sudoración. Sin embargo, desde un punto de vista competitivo, los atletas deben encontrar su régimen óptimo de reposición hídrica. Los beneficios fisiológicos de una reposición hídrica completa posibilitan una mayor velocidad de carrera durante la última parte de la competi-

Abstract

During prolonged exercise in the heat, people can become dehydrated at a rate of 1-2 l/h due largely to water losses in sweat. Recent evidence demonstrates that the resulting progressive dehydration will cause significant cardiovascular, metabolic, thermoregulatory and endocrine disturbances that might lead to early fatigue, heat-related injury or even death. During exercise in the heat, the degree of hyperthermia, the rise in heart rate and the decline in cardiac output are directly proportional to the magnitude of dehydration. These negative effects of dehydration are common to different modes and intensities of exercise. Ingesting a volume of fluid equal to sweat loss will completely prevent these alterations in body function due to dehydration. Based on a strictly physiological point of view, it is therefore clear that people should attempt to ingest a volume of fluid that fully matches the rate of dehydration during exercise in the heat. However, from a competitive point of view, athletes should find their optimal fluid replacement scheme by pondering the physiological benefits of drinking large volumes of fluid during competition, namely the likely improvement in exercise speed during the last stages of the race or match, and the practical drawbacks of having to slow down while drinking and while possibly suffering gastrointestinal discomfort. To ensure the maximum benefit of ingesting large volume of fluids during exercise and reducing or preventing its drawbacks, athletes should practice drinking during their daily workouts.

ción. Sin embargo, la ingesta de grandes volúmenes de fluidos puede obligar a reducir la velocidad de carrera y provocar trastornos gastrointestinales. Para asegurar el máximo beneficio de la ingestión de grandes volúmenes de líquidos durante el ejercicio evitando sus desventajas, los deportistas deben beber durante sus entrenamientos.

Introducción

Hoy en día hay un gran número de personas de todas las edades y ambos sexos que practican de forma regular alguna actividad física recreativa o algún deporte de competición. En España, muchas de estas actividades recreativas o competiciones deportivas se celebran durante el verano cuando la temperatura ambiental y la humedad relativa en algunas regiones pueden llegar a niveles bastante elevados ($> 35^{\circ}\text{C}$ y $> 50\%$, respectivamente). En un ambiente tan adverso, los deportistas incurrir en niveles de deshidratación elevados debido a las importantes pérdidas de agua a través de la sudoración. Así, no es inusual observar tasas de sudoración durante el ejercicio en el calor que superan los 1,5 l/h. La deshidratación resultante causa, a su vez, una cascada de alteraciones fisiológicas que pueden inducir la fatiga por el calor, un golpe de calor o incluso la muerte si no se toman las precauciones adecuadas. El objetivo de este artículo es presentar datos científicos que fundamentan la necesidad de ingerir líquidos durante el ejercicio en el calor para evitar los efectos fisiológicos negativos de la deshidratación y así reducir el riesgo de las enfermedades causadas por el calor.

Efectos negativos de la deshidratación durante el ejercicio prolongado en el calor

Tras cinco décadas de investigación en este área, se presenta como un hecho claramente demostrado que la deshidratación durante el ejercicio en el calor causa alteraciones significativas de las funciones corporales que implican a los sistemas cardiovascular, termorregulador, metabólico y endocrino. El deterioro de estos sistemas fisiológicos debido a la deshidratación puede a su vez causar el adelanto de la fatiga durante el ejercicio prolongado en el calor (5, 18, 19, 21, 24). Estos efectos negativos de la deshidratación se observan tanto cuando los deportistas se deshidratan durante el ejercicio prolongado, como cuando comienzan el ejercicio en condiciones de hipohidratación o déficit hídrico.

Los resultados de los experimentos que se realizaron en los años 1940 y 1950, durante un ejercicio prolongado de baja intensidad, ya demostraron que la deshidratación causa un mayor incremento de la temperatura corporal y de la frecuencia cardíaca así como el empeoramiento del rendimiento, en comparación con la situación en la que los sujetos ingieren líquidos durante el ejercicio (1, 2, 8, 15, 16, 22). En un estudio posterior realizado por Saltin y Stenberg (24) se demostró que la deshidratación progresiva también causa reducciones significativas del volumen sistólico y de la presión arterial media sin llegar a causar una disminución del gasto cardíaco cuando los sujetos ejercitaban bajo condiciones ambientales moderadas (22°C). Sin embargo, durante el ejercicio en el calor (35°C), la deshidratación también causa una disminución del gasto cardíaco debido a la mayor reducción del volumen sistólico que no se compensa totalmente con el incremento de la frecuencia cardíaca (12, 13, 18, 19). Recientemente, en un estudio realizado en la Universidad de Texas en Austin, observamos que estas reducciones tan acusadas del gasto cardíaco (10-14% o 3-4 l/min) se acompañan de una disminución significativa de la presión arterial media (7%) y un incremento significativo de la resistencia vascular periférica (9%) durante un ejercicio de 2 horas en el calor a una intensidad media del 65% $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ (12) (figura 1). Tal y como se observa en la figura 1, los efectos de la deshidratación en las respuestas cardiovasculares son progresivos para llegar a ser estadísticamente significativos durante la segunda hora de ejercicio. Esta reducción tan marcada del gasto cardíaco durante el ejercicio en el calor compromete la regulación del sistema cardiovascular porque tanto el flujo sanguíneo periférico como la presión de perfusión a los órganos y/o tejidos disminuyen. Una reducción del gasto cardíaco de 4 l/min tiene que verse correspondida con una idéntica disminución del flujo sanguíneo a los órganos y/o tejidos periféricos. Recientemente observamos que la piel es uno de los órganos que responde a la deshidratación producida durante el ejercicio prolongado reduciendo su flujo sanguíneo, lo que a su vez favorece el incremento de la temperatura corporal (12). No obstante, es bastante probable que también disminuya el flujo sanguíneo en otros órganos y/o tejidos ya que la disminución del flujo cutáneo sólo representa una tercera parte de la reducción total del gasto cardíaco (12). Aunque aún no se ha podido demostrar científicamente, es posible que el flujo sanguíneo muscular también disminuya en estas condiciones de menor gasto cardíaco y presión arterial media dado que este tejido es el que recibe mayor cantidad de sangre durante el ejercicio. Asimismo, también es posible que se produzcan reducciones del flujo sanguíneo visceral aunque su contribución a la caída del gasto cardíaco debe ser pequeña dado que el flujo a estas re-

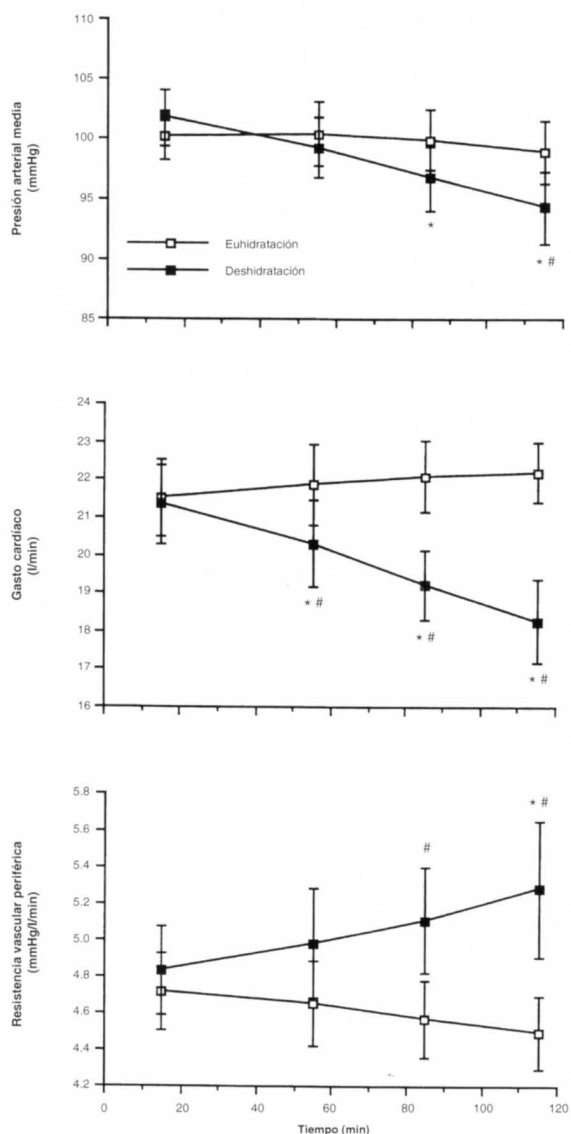


Figura 1. Gasto cardíaco, presión arterial media y resistencia vascular periférica durante 2 horas de ejercicio cuando se mantiene un estado normal de hidratación (euhidratación) y cuando se produce una deshidratación progresiva (pérdida del peso corporal del 5%). Los valores son medias \pm s de 7 sujetos.

* Significativamente diferente del valor a los 10 minutos de ejercicio, $P < 0,05$.

Significativamente diferente comparado con el test de euhidratación, $P < 0,05$.—Reproducidas del artículo González-Alonso y col. (12) con el permiso de la Sociedad Americana de Fisiología—.

giones ya ha sufrido una caída bastante marcada ($\sim 50\%$) en la transición de un estado de reposo al ejercicio (23).

Una caída del flujo sanguíneo a los tejidos y órganos activos a causa de la deshidratación puede ser un factor que contribuya a la fatiga durante el ejercicio vigoroso debido a las alteracio-

nes que se producen en el aporte de sustratos y en la eliminación de metabolitos. Además, se dificulta la transferencia de calor desde la musculatura activa hacia la superficie corporal. Los resultados de un estudio reciente dan crédito a esta hipótesis, pues indican que la deshidratación incrementa la utilización de glucógeno en el músculo así como la concentración muscular de lactato durante un ejercicio de 2 horas, en un cicloergómetro, al $70\% \dot{V}O_2\text{max}$ (14). Concretamente, Hargreaves y cols. (14) observaron un aumento del 19% de la utilización de glucógeno y un aumento del 29% de la concentración de lactato muscular al realizar el ejercicio en condiciones de deshidratación en comparación con la condición de euhidratación. Por lo tanto, cuando los deportistas se ejercitan con niveles de deshidratación importantes agotan más rápidamente sus reservas limitadas de glucógeno. Recientemente, también observamos una concentración de lactato plasmático significativamente más elevada durante la segunda hora del ejercicio comparada con la condición de euhidratación (12). Por otro lado, la caída del flujo sanguíneo cutáneo en condiciones de deshidratación puede conducir a la hipertermia durante el ejercicio en el calor debido a la disminución de la transferencia de calor del cuerpo a la piel (12) (figura 2). Tal y como se observa en la figura 2, la temperatura esofágica, un índice de la temperatura de la sangre que retorna al corazón, aumenta de forma progresiva durante las 2 horas de ejercicio, mientras que el flujo sanguíneo cutáneo disminuye. Asimismo, la deshidratación disminuye la tasa de sudoración durante el ejercicio lo que puede ocasionar una disminución de la disipación del calor de la piel al entorno contribuyendo a la hipertermia corporal.

Aparte de estas alteraciones tan pronunciadas de las respuestas cardiovascular, metabólica y termorreguladora, la deshidratación también causa un incremento significativo de las concentraciones plasmáticas de catecolaminas (12, 14), ADH, renina, cortisol, hormona adrenocorticotrópica, aldosterona, angiotensina y del péptido atrial natriurético (4, 10). Parece pues, que la deshidratación produce modificaciones significativas de la función de las glándulas pituitaria y adrenal, al objeto de conservar fluido corporal, contrarrestando en parte las alteraciones concomitantes en el sistema cardiovascular, la termorregulación y el metabolismo.

Basándonos en los datos presentados con anterioridad, proponemos que el empeoramiento del rendimiento o adelanto de la fatiga causado por la deshidratación durante el ejercicio en el calor, puede producirse a consecuencia del efecto conjunto del incremento progresivo de la temperatura corporal y de la caída progresiva tanto del gasto cardíaco, como de la presión arterial media. La reducción del gasto cardíaco puede, a su vez, ocasionar alteraciones del metabolismo muscular y

de la disipación del calor, a consecuencia de la reducción del flujo muscular y cutáneo. Finalmente, esta cascada de sucesos a nivel sistémico podría producir el adelanto de la fatiga a través de un mecanismo molecular aún desconocido.

Efectos de distintas tasas de reposición de fluidos durante el ejercicio en el calor

Al contrario que la deshidratación, la ingestión de líquidos durante el ejercicio se asocia con beneficios significativos en las respuestas cardiovascular y termorreguladora. En repetidas ocasiones en la literatura, se ha demostrado que la reposición de fluidos durante el ejercicio prolongado atenúa o evita el incremento de la frecuencia cardíaca y de la temperatura corporal (7, 9, 11, 15, 16, 22), así como la caída del volumen sistólico y del gasto cardíaco, que se observan cuando no se ingieren líquidos durante el ejercicio (12, 13, 18, 19). Este efecto positivo de la ingestión de líquidos en la temperatura corporal y las respuestas cardiovasculares se observa durante el ejercicio realizado a distinta 1) temperatura ambiental (3, 6, 7, 9, 11, 13, 18, 19), 2) modalidad de ejercicio (3, 6, 11, 15, 16, 18, 19, 22) y 3) intensidad de ejercicio (5, 18, 20).

Al objeto de determinar directamente el efecto fisiológico de distintas tasas de reposición de líquidos durante el ejercicio en el calor, Montain y Coyle (19) sometieron a 7 ciclistas bien entrenados y aclimatados al calor, a 4 regímenes distintos de reposición de líquidos durante 2 h de pedaleo en el calor, a una intensidad del 62-67% $\dot{V}O_2$ max. Esta era la intensidad más alta que los sujetos podían mantener durante 2 horas de ejercicio cuando no ingerían líquidos. Durante 4 días distintos, los sujetos ejercitaron durante 2 horas, en una ocasión sin ingerir fluidos y en otras ingiriendo un volumen pequeño (300 ml/h), moderado (700 ml/h) o grande (1.200 ml/h) de una bebida rehidratante que contenía un 6% de carbohidratos y una concentración baja en electrolitos. De esta manera los sujetos repusieron aproximadamente el 0, 20, 50 y 80%, respectivamente, de las pérdidas de líquido a través del sudor. Este protocolo permitió examinar el efecto del incremento progresivo de los niveles de deshidratación, pues el peso corporal disminuyó un 4, 3, 2 y 1%, respectivamente, cuando los sujetos no ingerieron o ingerieron un volumen de líquido pequeño, moderado o grande. Se observó que el incremento de la temperatura corporal y de la frecuencia cardíaca así como la disminución del gasto cardíaco tras las 2 horas de ejercicio en el calor se correlacionaron de forma inversa con la tasa de reposición de líquidos y de forma directa con el nivel de deshi-

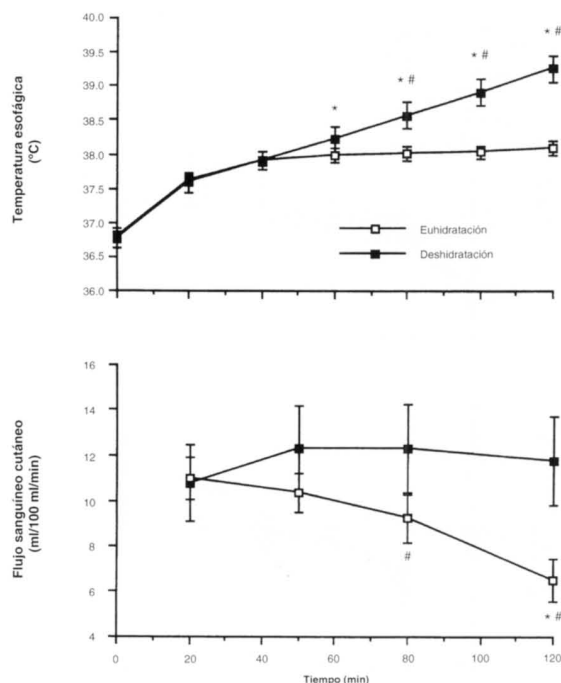


Figura 2. Temperatura esofágica y flujo sanguíneo cutáneo durante 2 horas de ejercicio cuando se mantiene un estado euhidratación y cuando se produce una deshidratación progresiva (i.e., pérdida del peso corporal del 5%). Los valores son medias \pm SE de 7 sujetos.

* Significativamente diferente del valor a los 10 minutos de ejercicio, $P < 0,05$.

Significativamente diferente comparado con el test de euhidratación, $P < 0,05$. —Reproducidas del artículo González-Alonso y col. (12) con el permiso de la Sociedad Americana de Fisiología—.

dratación experimentado (figuras 3 y 4). Concretamente, se observó que cada litro de sudor causó un aumento de la frecuencia cardíaca de 8 latidos/min, una disminución del gasto cardíaco de 1 l/min y un incremento de la temperatura corporal de 0.3°C (figura 4). Asimismo, se constató que la percepción del esfuerzo se correlacionaba de forma inversa con el volumen de líquido ingerido. Los sujetos percibieron el esfuerzo como muy duro cuando no ingerieron líquido, pero sólo se percibió como ligeramente intenso (13, Escala de Borg) cuando ingerieron un volumen elevado de líquido (figura 3). Los valores de la percepción del esfuerzo durante las otras dos situaciones experimentales se encontraron entremedio. Corroborando estos resultados previos, recientemente observamos las mismas alteraciones cardiovasculares, de la temperatura corporal y de la percepción del esfuerzo cuando los sujetos reiniciaban el ejercicio en el calor tras 2 horas de ejercicio inicial con unos niveles de deshidratación del 1,5, 3,0 y 4,2% del peso corporal, en compara-

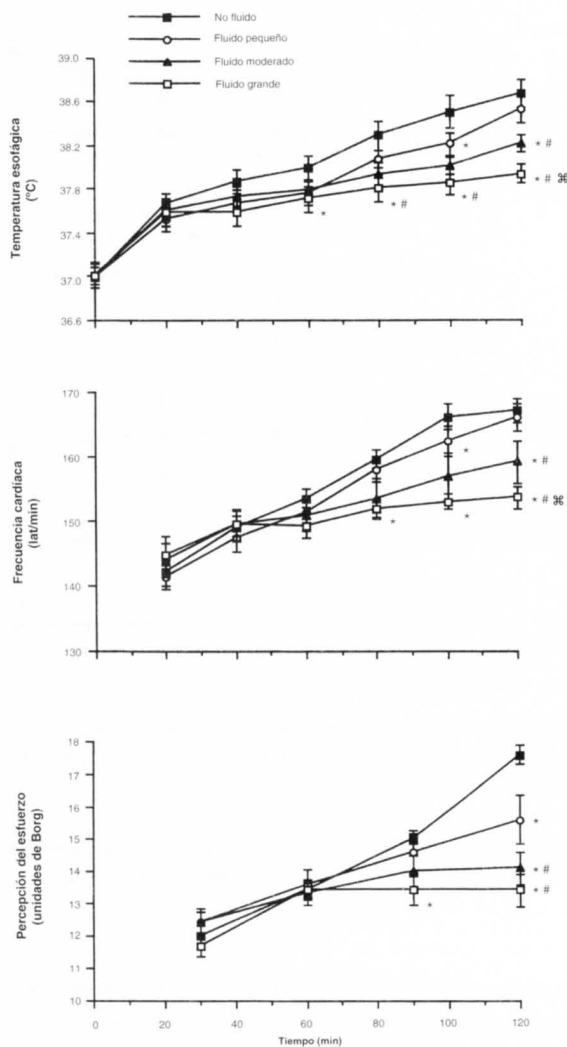


Figura 3. Temperatura esofágica, frecuencia cardíaca y percepción del esfuerzo durante 2 horas de ejercicio cuando no se ingiere líquidos o se ingiere un volumen pequeño (300 ml/h), moderado (700 ml/h) y elevado (1.200 ml/h) de líquido.

* Significativamente menor que los valores de No Fluido, $P < 0,05$.
 # Significativamente menor que los valores de Fluido Pequeño, $P < 0,05$.
 # Significativamente menor que los valores de Fluido Moderado, $P < 0,05$.—Reproducidas del artículo Montain y Coyle (19) con el permiso de la Sociedad Americana de Fisiología—.

ción con la situación de euhidratación (González-Alonso y col., datos no publicados). Por lo tanto, los deportistas que se deshidratan durante la primera parte de una competición que se desarrolla en el calor también sufrirán alteraciones de las respuestas cardiovasculares y de la temperatura corporal durante la segunda parte, si no reponen las pérdi-

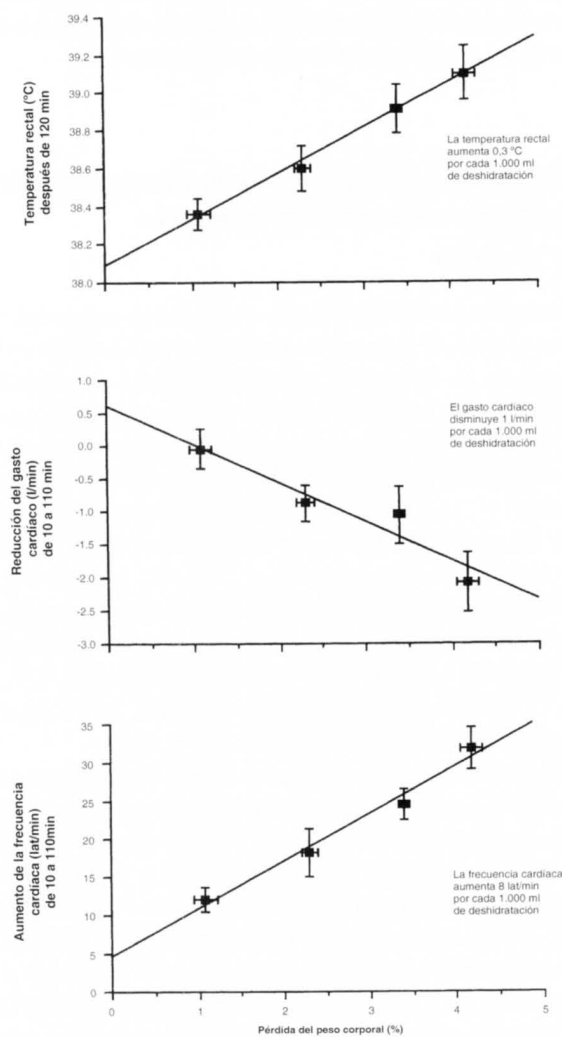


Figura 4. La influencia de la deshidratación, como lo indica la reducción del peso corporal tras 2 horas de ejercicio, en la temperatura corporal, el gasto cardíaco y la frecuencia cardíaca.—Reproducidas del artículo Montain y Coyle (19) con el permiso de la Sociedad Americana de Fisiología—.

das de líquido. La magnitud de la hipertermia y del estrés cardiovascular tras reiniciar el ejercicio también se correlacionan estrechamente con el grado de deshidratación inicial.

Estos efectos positivos de la ingestión de volúmenes elevados de líquido durante el ejercicio, también se pueden observar duran-

te el ejercicio de alta intensidad que dura alrededor de una hora. En el laboratorio de la Universidad de Texas en Austin, se observó que la ingestión de un volumen elevado de líquido (1.300 ml) comparado con uno pequeño (200 ml) durante los primeros 35 minutos de ejercicio redujo la frecuencia cardíaca (4 latidos/min) y la temperatura corporal (0.33°C) a los 50 minutos de ejercicio de alta intensidad, en un cicloergómetro ($80\% \dot{V}_{O_2\text{max}}$) en el calor (31°C , 54% humedad relativa y 3.5 m/s de velocidad del aire) (5). Asimismo, el rendimiento, que se midió como el tiempo necesario para completar una carga determinada de trabajo, y así intentar simular la última parte de una competición, mejoró un 6% con la ingestión de un volumen elevado de líquido comparado con el volumen pequeño (5).

Efectos beneficiosos de la reposición completa de fluidos

Los resultados de un estudio previo demostraron que la reposición del 80% de las pérdidas de fluido a través del sudor sólo causaba un incremento pequeño de la temperatura corporal y de la frecuencia cardíaca así como una disminución pequeña del volumen sistólico durante 2 horas de ejercicio moderado en el calor (19). A raíz de estos resultados surgió la pregunta de si con la ingestión de un volumen de líquido igual al 100% de las pérdidas de agua a través del sudor se evitarían por completo estas alteraciones funcionales durante el ejercicio en el calor, tal y como se observó previamente durante el ejercicio en un entorno con una temperatura ambiental de 22°C (13). Para contestar a esta pregunta, recientemente, evaluamos a 7 ciclistas de fondo aclimatados al calor durante 2 horas de ejercicio, en un cicloergómetro, en el calor (35°C ; 48% humedad relativa y 2 m/s de velocidad del aire) a una intensidad media del $65\% \dot{V}_{O_2\text{max}}$ (12). Para mantener un estado de euhydratación, los ciclistas ingirieron una media de 1.800 ml/h de líquido repartidos en volúmenes iguales cada 15 minutos. Este régimen forzado de reposición hídrica no causó ningún problema gastrointestinal en estos sujetos que ya estaban acostumbrados a beber volúmenes elevados de líquido durante las sesiones previas de familiarización. Tampoco produjo un aumento del volumen de orina tras finalizar el ejercicio (0.2 l). Se observó que tras los ajustes iniciales propios de la transición de un estado de reposo al ejercicio, los sujetos mantuvieron unos niveles constantes de frecuencia cardíaca, volumen sistólico, gasto cardíaco, presión arterial media, temperatura corporal, flujo cutáneo y de concentración plasmática de catecolaminas, hasta el final de las 2 horas de ejercicio (figuras 1 y 2). *Por lo tanto, desde un punto de vista estrictamente fisiológico, el régimen óptimo de reposición hídrica durante*

el ejercicio en el calor es aquel en el que se reponen por completo las pérdidas de agua a través del sudor.

No obstante, es muy importante tener en cuenta que existen condiciones ambientales caracterizadas por alta temperatura y humedad, junto a velocidad del aire escasa o inexistente (e.g., $> 35^{\circ}\text{C}$ y $> 80\%$ humedad relativa), en las que no es posible, incluso para sujetos entrenados y aclimatados al calor, mantener un nivel constante de las funciones corporales a pesar de estar bien hidratados. En tales condiciones, en las que la tasa de evaporación necesaria para mantener un equilibrio térmico excede la máxima capacidad de evaporación del entorno, se produce un incremento rápido de la temperatura corporal, hipertermia, y la única opción para salvaguardar la salud de los deportistas consiste en reducir la producción de calor disminuyendo la intensidad del ejercicio.

Recomendaciones prácticas

Los datos presentados demuestran que el régimen óptimo de reposición hídrica para evitar los efectos negativos de la deshidratación durante el ejercicio en el calor es aquel en el que se previenen completamente las pérdidas de líquido corporal. Sin embargo, este régimen de reposición de líquidos quizás no sea el más idóneo para los atletas de competición. Al tener que ingerir volúmenes elevados de líquido (500-700 ml cada 15 minutos) para mantener un estado normal de hidratación durante el ejercicio en el calor, los atletas tienen que reducir la intensidad del ejercicio para concentrarse en beber, en particular durante la carrera de fondo. En algunos deportistas puede que también aumente el volumen de orina durante el ejercicio. En consecuencia, la decisión sobre la cantidad de líquidos a ingerir durante el ejercicio debe realizarse en base a un análisis costo-beneficio. Para asegurar los mayores beneficios de la ingestión de volúmenes elevados de líquido durante el ejercicio en el calor y reducir o evitar sus desventajas, los deportistas deben beber durante sus entrenamientos diarios. Es también importante reseñar, dado que la hipohidratación causa los mismos efectos que la deshidratación progresiva durante el ejercicio, que los deportistas deben ingerir líquidos con frecuencia al objeto de asegurar un estado de euhydratación al inicio del ejercicio.

Agradecimientos

Durante sus estudios de master y doctorado en la Universidad de Texas en Austin, EE.UU., José González Alonso estuvo becado por el Ministerio de Educación y Ciencia de España dentro del Programa Nacional de Preparación de Personal Investigador.



Bibliografía

- (1) ADOLPH, E. F.: "Blood changes in dehydration". In: *Physiology of Man in the Desert*. New York: Interscience Publ., Inc., 1947, pp. 160-171.
- (2) BEAN, W. B., EICHNA L, W.: "Performance in relation to environmental temperature. Reactions of normal young men to simulated desert environment". *Fed Proc* 2: 144-158, 1943.
- (3) BOTHOREL, B., DEWASMES, B. G., HOEFT, A., CANDAS, V.: "Temperature and sweating responses in one-legged and two-legged exercise". *Eur J Appl Physiol* 63: 157-164, 1991.
- (4) BRANDENBERGER, G., CANDAS, V., FOLLENIUS, M., LIBERT, J. P., KAHN, J. M.: "Vascular fluid shifts and endocrine responses to exercise in the heat". *Eur J Appl Physiol* 55:123-129, 1986.
- (5) BELOW, P. R., GONZÁLEZ-ALONSO, J., MORA-RODRÍGUEZ, R., COYLE, E. F.: "Fluid and carbohydrate ingestion individually benefit intense exercise lasting one-hour". *Med Science Sports Ex* 27(2): 200-210, 1995.
- (6) CANDAS, V., LIBERT, J. P., BRANDENBERGER, G., SAGOT J. C., AMOROS, C., KAHN, J. M.: "Hydration during exercise. Effects on thermal and cardiovascular adjustment". *Eur J Appl Physiol* 55: 113-122, 1986.
- (7) COSTILL, D. L., KAMMER, W. F., FISHER, A.: "Fluid ingestion during distance running". *Arch Environ Health* 21: 520-525, 1970.
- (8) EICHNA, L. W., BEAN, W. B., ASHE, W. F., NELSON, N.: "Performance in relation to environmental temperature". *Bull Johns Hopkins Hospital* 76: 25-58, 1945.
- (9) EKBLOM, B., GREENLEAF, C. J., GREENLEAF, J. E., HERMANSEN, L.: "Temperature regulation during exercise dehydration in man". *Acta Physiol Scand* 79: 475-483, 1970.
- (10) FOLLENIUS, M., CANDAS, V., BOTHOREL, B., BRANDENBERGER, G.: "Effect of rehydration on atrial natriuretic peptide release during exercise in the heat". *J Appl Physiol* 66(6): 2516-2521, 1989.
- (11) GISOLFI, C. V., COPPING, J. R.: "Thermal effects of prolonged treadmill exercise in the heat". *Med Sci Sports* 6(2): 108-113, 1974.
- (12) GONZÁLEZ-ALONSO, J., MORA-RODRÍGUEZ, R., BELOW, P. R., COYLE E. F.: "Dehydration reduces cardiac output and increases systemic and cutaneous vascular resistance during exercise". *J Appl Physiol* 79(5): 1487-1496, 1995.
- (13) HAMILTON, M. T., GONZÁLEZ-ALONSO, J., MONTAIN, S. J., COYLE E. F.: "Fluid replacement and glucose infusion during exercise prevents cardiovascular drift". *J Appl Physiol* 71: 871-877, 1991.
- (14) HARGRAEVES, M., DILLO, P., ANGUS, D., FEBBRAIO, M.: "Effect of fluid ingestion on muscle metabolism during prolonged exercise". *J Appl Physiol* 80(1): 363-366, 1995.
- (15) JOHNSON, R. E., PITTS, G. C., CONSOLAZIO, F. C.: "Factors influencing chloride concentration in human sweat". *Am J Physiol* 141: 575-589, 1944.
- (16) LANDELL, W. S. S.: "The effects of water and salt intake upon the performance of men working in hot and humid environments". *J Physiol*. 127: 11-46, 1955.
- (17) MAUGHAM, R. J.: "Thermoregulation in marathon competition at low ambient temperature". *Int J Sports Med* 6: 15-19, 1985.
- (18) MONTAIN, S. J., COYLE, E. F.: "Fluid ingestion during exercise increases skin blood flow independent of blood volume". *J Appl Physiol* 73: 903-910, 1992.
- (19) MONTAIN, S. J., COYLE, E. F.: "Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise". *J Appl Physiol* 73(4): 1340-1350, 1992.
- (20) MONTAIN, S. J., LATZKA, W. A., SAWKA, M. N.: "Control of thermoregulatory sweating is altered by hydration level and exercise intensity". *J Appl Physiol* 79(5): 1434-1439, 1995.
- (21) NADEL, E. R., CAFARELLI, E., ROBERTS, M. F., WENGER, C. B.: "Circulatory regulation during exercise in different ambient temperatures". *J Appl Physiol* 46: 430-437, 1979.
- (22) PITTS, G. C., JOHNSON, R. E., CONSOLAZIO, F. C.: "Work in the heat as affected by intake of water, salt and glucose". *Am J Physiol* 142: 253-259, 1944.
- (23) ROWELL, L. B.: "Human cardiovascular control". New York: Oxford Univ. press, 1993, p. 229.
- (24) SALTIN, B., STENBERG, J.: "Circulatory response to prolonged severe exercise". *J. Appl Physiol* 19(5): 833-838, 1964.