

# EFFECTES FISIOLÒGICS DE LA DESHIDRATACIÓ. ¿PER QUÈ ELS ESPORTISTES HAN D'INGERIR LÍQUIDS DURANT L'EXERCICI EN LA CALOR?

**José González-Alonso**

Llicenciat en E.F., Ph. D., investigador postdoctoral.  
Human Physiology Department, August Krogh Institute.  
University of Copenhagen, Dinamarca.

**Edward F. Coyle**

Ph. D., Prof. Human Performance Laboratory.  
Department of Kinesiology and Health Education.  
University of Texas, Austin. Texas, EUA.

**Paraules clau:**

deshidratació, hipertèrmia,  
cabal cardíac, reposició hídrica

## Resum

Durant l'exercici prolongat fet en condicions de calor ambiental, els esportistes incorren en nivells de deshidratació bastant acusats degut principalment a les grans pèrdues d'aigua a través de la suor (1-2 l/h). Dades recents demostren que aquesta deshidratació progressiva causa alteracions significatives dels sistemes cardiovascular, metabòlic, termoregulator i endocrí, que a la vegada poden anticipar l'aparició de la fatiga, ocasionar un cop de calor o, fins i tot, causar la mort. Més concretament, la hipertèrmia, l'augment de la freqüència cardíaca i la disminució del cabal cardíac durant l'exercici prolongat en la calor es correlacionen directament amb la magnitud de la deshidratació. Aquests efectes negatius de la deshidratació es manifesten independentment de la modalitat i de la intensitat de l'exercici. Amb la ingestió d'un volum de líquid equivalent a les pèrdues d'aigua per la sudoració es prevé la deshidratació i, per tant, s'eviten aquestes alteracions funcionals. Així doncs, des d'un punt de vista estrictament fisiològic, no hi ha cap dubte que l'esquema més idoni de reposició hídrica durant l'exercici en la calor és aquell en el qual es reponen completament les pèrdues d'aigua provocades per la sudoració. Tanmateix, des d'un punt de vista competitiu, els atletes han de trobar el seu règim òptim de reposició hídrica. Els beneficis fisiològics d'una reposició hídrica completa possibiliten una major velocitat de carrera durant l'última part de la competició. Tanmateix, la ingesta de grans volums de fluids pot obli-

## 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.*

gar a reduir la velocitat de carrera i provocar trastorns gastrointestinals. Per assegurar el màxim benefici de la ingestió de grans volums de líquids durant l'exercici evitant els seus desavantatges, els esportistes han de beure durant els seus entrenaments.

## Introducció

Avui dia hi ha un gran nombre de persones de totes les edats i d'ambdós sexes que practiquen de forma regular alguna activitat física recreativa o algun esport de competició. A Espanya, moltes d'aquestes activitats recreatives o competicions esportives se celebren durant l'estiu quan la temperatura ambiental i la humitat relativa en algunes regions poden arribar a nivells bastant elevats ( $> 35^{\circ}\text{C}$  i  $> 50\%$ , respectivament). En un ambient tan advers, els esportistes incorren en nivells de deshidratació elevats a causa de les importants pèrdues d'aigua a través de la sudoració. Així, no es inusual observar taxes de sudoració durant l'exercici en la calor que superen els 1,5 l/h. La deshidratació resultant causa, a la vegada, una cascada d'alteracions fisiològiques que poden induir la fatiga per la calor, un cop de calor o, fins i tot, la mort si no es prenen les precaucions adequades. L'objectiu d'aquest article es presentar les dades científiques que fonamenten la necessitat d'ingerir líquids durant l'exercici en la calor per evitar els efectes fisiològics negatius de la deshidratació i així reduir el risc de les malalties causades per la calor.

## Efectes negatius de la deshidratació durant l'exercici prolongat en la calor

Després de cinc dècades d'investigació en aquesta àrea, es presenta com un fet clarament demostrat que la deshidratació durant l'exercici en la calor causa alteracions significatives de les funcions corporals que impliquen als sistemes cardiovascular, termoregulador, metabòlic i endocrí. El deteriorament d'aquests sistemes fisiològics a causa de la deshidratació pot causar l'avançament de la fatiga durant l'exercici prolongat en la calor (5, 18, 19, 21, 24). Aquests efectes negatius de la deshidratació s'observen tant quan els esportistes es deshidraten durant l'exercici perllongat, com quan comencen l'exercici en condicions d'hipohidratació o dèficit hídric.

Els resultats dels experiments que es varen fer en els anys 1940 i 1950, durant un exercici perllongat de baixa intensitat, ja demostraren que la deshidratació causa un major increment de la temperatura corporal i de la freqüència cardíaca així com l'empitjorament del rendiment, en comparació amb la situació en la qual els subjectes ingereixen líquids durant l'exercici (1, 2, 8, 15, 16, 22). En un estudi posterior fet per Saltin i Stenberg (24); es va demostrar que la deshidratació progressiva també causa reduccions significatives del volum sistòlic i de la pressió arterial mitjana sense arribar a causar una disminució del cabal cardíac quan els subjectes exercitaven sota condicions ambientals moderades ( $22^{\circ}\text{C}$ ). Tanmateix, durant l'exercici en la calor ( $35^{\circ}\text{C}$ ), la deshidratació també causa una disminució del cabal cardíac a causa de la major reducció del volum sistòlic que no es compensa totalment amb l'increment de la freqüència cardíaca (12, 13, 18, 19). Recentment, en un estudi fet a la Universitat de Texas a Àustin, vàrem observar que aquestes reduccions tan acusades del cabal cardíac (10-14% o 3-4 l/m) s'acompanyen d'una disminució significativa de la pressió arterial mitjana (7%) i un increment significatiu de la resistència vascular perifèrica (9%) durant un exercici de 2 hores en la calor a una intensitat mitjana del 65%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  (12) (figura 1). Tal i com s'observa en la figura 1, els efectes de la deshidratació en les respostes cardiovasculars són progressius per arribar a ser estadísticament significatius durant la segona hora d'exercici.

Aquesta reducció tan marcada del cabal cardíac durant l'exercici en la calor compromet la regulació del sistema cardiovascular perquè tant el flux sanguini perifèric com la pressió de perfusió als òrgans i/o teixits disminueixen. Una reducció del cabal cardíac de 4 l/min ha de veure's corresposta amb una idèntica disminució del flux sanguini als òrgans i/o teixits perifèrics. Recentment observem que la pell és un dels òrgans que respon a la deshidratació produïda durant l'exercici perllongat i redueix el seu flux sanguini, la qual cosa afavoreix l'increment de la temperatura corporal (12). Tanmateix, és bastant provable que també disminueixi el flux sanguini en altres òrgans i/o teixits ja que la disminució del flux cutani només representa una tercera part de la reducció total del cabal cardíac (12). Encara que no s'ha pogut demostrar científicament, és possible que el flux sanguini muscular també disminueixi en aquestes condicions de menor cabal cardíac i pressió arterial mitjana atès que aquest teixit és el que rep major quantitat de sang durant l'exercici. No obstant, també és possible que es produeixin reduccions del flux sanguini visceral encara que la seva contribució a la caiguda del cabal cardíac ha de ser petita atès que el flux a aquestes regions ja ha sofert una caiguda bastant marcada ( $\sim 50\%$ ) en la transició d'un estat de repòs a l'exercici (23).

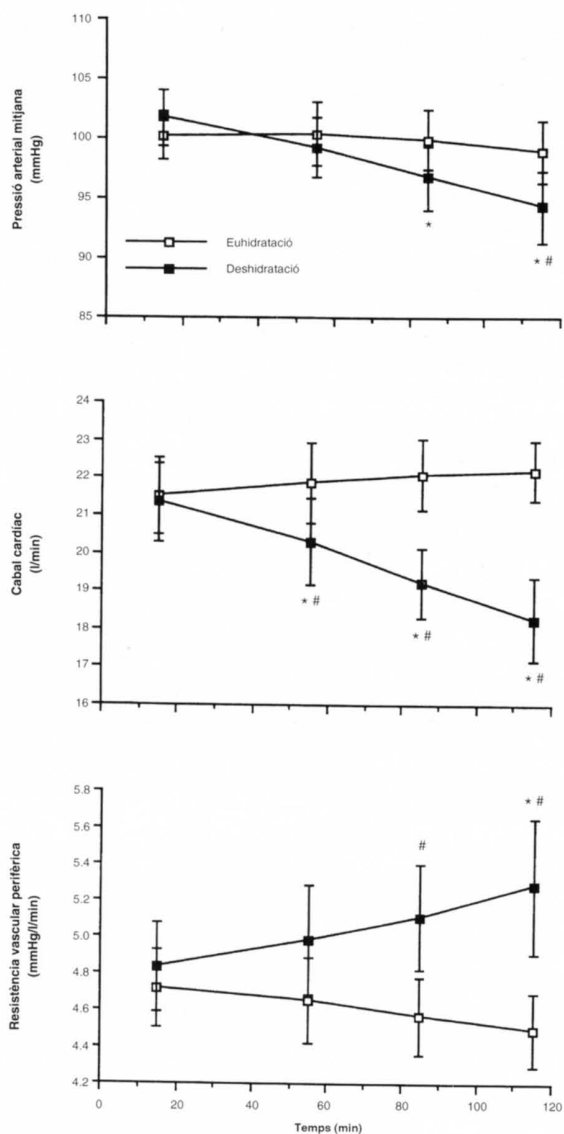


Figura 1. Cabal cardíac, pressió arterial mitjana i resistència vascular perifèrica durant 2 hores d'exercici quan es manté un estat normal d'hidratació (euhidratació) i quan es produeix una deshidratació progressiva (pèrdua del pes corporal del 5%). Els valors són mitjanes  $\pm$  s de 7 subjectes.

\* Significativament diferent del valor als 10 minuts d'exercici,  $P < 0,05$ .

# Significativament diferent comparat amb el test d'euhidratació,  $P < 0,05$ . —Reproduïdes de l'article González-Alonso i col. (12) amb el permís de la Societat Americana de Fisiologia—.

Una caiguda del flux sanguini als teixits i òrgans actius a causa de la deshidratació pot ser un factor que contribueixi a la fatiga durant l'exercici vigorós a causa de les alteracions que es produeixen en l'aportament de substrats i en l'eliminació de metabolits. A més a més, es dificulta la transferència de calor

des de la musculatura activa envers la superfície corporal. Els resultats d'un estudi recent donen crèdit a aquesta hipòtesi, ja que indiquen que la deshidratació incrementa la utilització de glucogen en el múscul així com la concentració muscular de lactat durant un exercici de dues hores, en el cicloergòmetre, el 70%  $\dot{V}O_2\text{max}$  (14). Concretament Hargreaves i col. (14) observaren un augment del 19% de la utilització de glucogen i un augment del 29% de la concentració de lactat muscular en fer l'exercici en condicions de deshidratació en comparació amb la condició d'euhidratació. Per tant, quan els esportistes s'exerciten amb nivells de deshidratació importants esgoten més ràpidament les seves reserves limitades de glucogen. Recentment, també observem una concentració de lactat plasmàtic significativament més elevada durant la segona hora de l'exercici comparada amb la condició d'euhidratació (12).

Per altra banda, la caiguda del flux sanguini cutani en condicions de deshidratació pot conduir a la hipertèrmia durant l'exercici en la calor a causa de la disminució de la transferència de calor del cos a la pell (12) (figura 2). Tal i com s'observa en la figura 2, la temperatura esofàgica, un índex de la temperatura de la sang que retorna al cor, augmenta de forma progressiva durant les 2 hores d'exercici, mentre que el flux sanguini cutani disminueix. Tanmateix, la deshidratació disminueix la taxa de sudoració durant l'exercici la qual cosa pot ocasionar una disminució de la dissipació de la calor de la pell a l'entorn contribuint a la hipertèrmia corporal.

A part d'aquestes alteracions tan pronunciades de les respostes cardiovascular, metabòlica i termoreguladora, la deshidratació també causa un increment significatiu de les concentracions plasmàtiques de catecolamines (12, 14), ADH, renina, cortisol, hormona adrenocorticotròpica, aldosterona, angiotensina i del pèptid atrial natriurètic (4, 10). Sembla doncs, que la deshidratació produeix modificacions significatives de la funció de les glàndules pituitària i adrenal, amb la finalitat de conservar fluid corporal, contrarestant en part les alteracions concomitants en el sistema cardiovascular, la termoregulació i el metabolisme.

Basant-nos en les dades presentades amb anterioritat, proposem que l'empitjorament del rendiment o avançament de la fatiga causada per la deshidratació durant l'exercici en la calor, pot produir-se a conseqüència de l'efecte conjunt de l'increment progressiu de la temperatura corporal i de la caiguda progressiva tant del cabal cardíac, com de la pressió arterial mitjana. La reducció del cabal cardíac pot, al mateix temps, ocasionar alteracions del metabolisme muscular i de la dissipació de la calor, a conseqüència de la reducció del flux muscular i cutani. Finalment, aquesta cascada de suc-



cessos a nivell sistemàtic podria produir l'avançament de la fatiga a través d'un mecanisme molecular encara desconegut.

## Efectes de diferents taxes de reposició de fluids durant l'exercici en la calor

Al contrari que la deshidratació, la ingestió de líquids durant l'exercici s'associa amb beneficis significatius en les respostes cardiovascular i termoreguladora. En repetides ocasions en la literatura, s'ha demostrat que la reposició de fluids durant l'exercici perllongat atenua o evita l'increment de la freqüència cardíaca i de la temperatura corporal (7, 9, 11, 15, 16, 22), així com la caiguda del volum sistòlic i del cabal cardíac, que s'observen quan no s'ingereixen líquids durant l'exercici (12, 13, 18, 19). Aquest efecte positiu de la ingestió de líquids en la temperatura corporal i les respostes cardiovasculars s'observa durant l'exercici en funció de 1) temperatura ambiental (3, 6, 7, 9, 11, 13, 18, 19), 2) modalitat de l'exercici (3, 6, 11, 15, 16, 18, 19, 22) i 3) intensitat d'exercici (5, 18, 20).

Amb la finalitat de determinar directament l'efecte fisiològic de diferents taxes de reposició de líquids durant l'exercici en la calor, Montain, S. J., Coyle, E. F. (19) varen sotmetre 7 ciclistes ben entrenats i aclimatats a la calor, a 4 règims diferents de reposició de líquids durant 2 hores de pedaleig en la calor, a una intensitat del 62-67%  $\dot{V}O_2$ max. Aquesta era la intensitat més alta que els subjectes podien mantenir durant 2 hores d'exercici quan no ingerien líquids. Durant 4 dies diferents, els subjectes exercitaren durant 2 hores, en una ocasió sense ingerir fluids i en d'altres ingeriren un volum petit (300 ml/h), moderat (700 ml/h) o gran (1.200 ml/h) d'una beguda rehidratant que contenia un 6% de carbohidrats i una concentració baixa en electrolits. D'aquesta manera els subjectes varen reposar aproximadament el 0, 20, 50 i 80%, respectivament, de les pèrdues de líquid a través de la suor. Aquest protocol va permetre examinar l'efecte de l'increment progressiu dels nivells de deshidratació, doncs el pes corporal va disminuir un 4, 3, 2 i 1%, respectivament, quan els subjectes no ingeriren o ingeriren un volum de líquid petit, moderat o gran. Es va observar que l'increment de la temperatura corporal i de la freqüència cardíaca així com la disminució del cabal cardíac després de les 2 hores d'exercici en la calor es correlacionaren de forma inversa amb la taxa de reposició de líquids i de forma directa amb el nivell de deshidratació experimentat (figures 3 i 4). Concretament, es va observar que cada litre de suor va causar un augment de la freqüència cardíaca de 8 batecs/min,

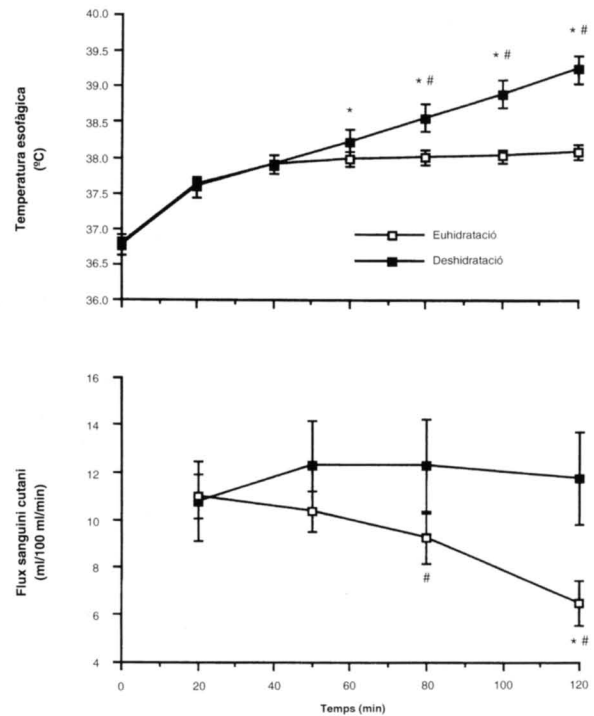


Figura 2. Temperatura esofàgica i flux sanguini cutani durant 2 hores d'exercici quan es manté un estat euhidratat i quan es produeix una deshidratació progressiva (i.e. pèrdua del pes corporal del 5%). Els valors són mitjanes  $\pm$  SE de 7 subjectes.

\* Significativament diferent del valor als 10 minuts d'exercici,  $P < 0,05$ .

# Significativament diferent comparat amb el test d'euhidratació,  $P < 0,05$ . —Reproduïdes de l'article González-Alonso i col. (12) amb el permís de la Societat Americana de Fisiologia—.

una disminució del cabal cardíac de l/min i un increment de la temperatura corporal de 0,3°C (figura 4). Tanmateix es va constatar que la percepció de l'esforç es correlacionava de forma inversa amb el volum del líquid ingerit. Els subjectes van percebre l'esforç com molt dur quan no ingeriren líquid, però només es va percebre com a lleugerament intens (13, Escala de Borg) quan ingeriren un volum elevat de líquid (figura 3). Els valors de la percepció de l'esforç durant les altres dues situacions experimentals es trobaren entremig. Corroborant aquests resultats previs, recentment observem les mateixes alteracions cardiovasculars, de la temperatura corporal i de la percepció de l'esforç quan els subjectes reiniciaven l'exercici en la calor després de 2 hores d'exercici inicial amb uns nivells de deshidratació del 1,5; 3,0 i 4,2% del pes corporal, en comparació amb la situació d'euhidratació (González-Alonso i col., dades no publicades). Per tant, els esportistes que es deshidraten durant la primera part d'una competició que es de-

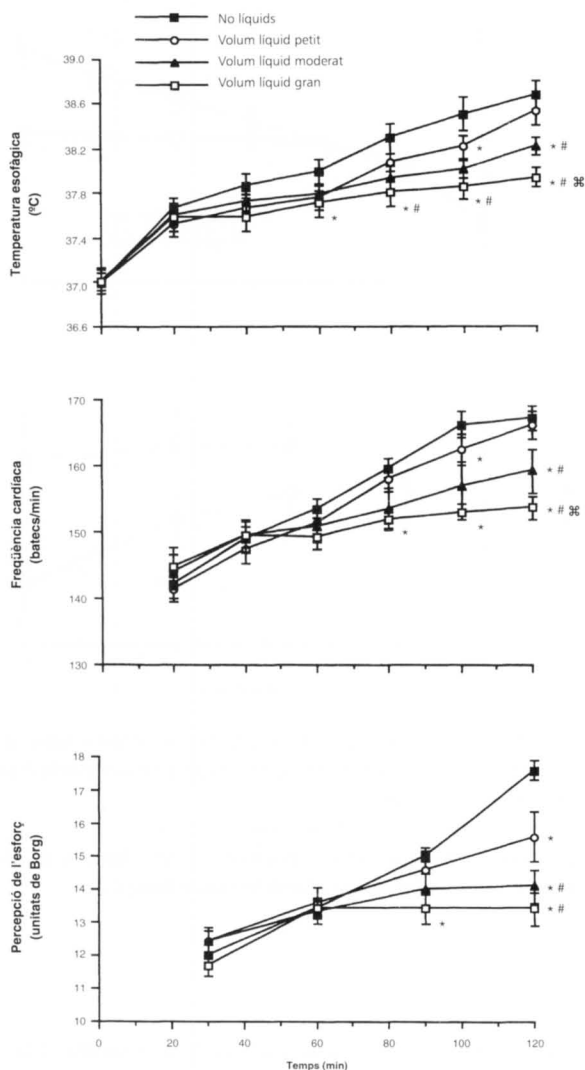


Figura 3. Temperatura esofàgica, freqüència cardíaca i percepció de l'esforç durant 2 hores d'exercici quan no s'ingereix líquids o s'ingereix un volum petit (300ml/h), moderat (700 ml/h) i elevat (1.200 ml/h) de líquid.

\* Significativament menor que els valors de No líquids,  $P < 0,05$ .

# Significativament menor que els valors de Volum líquid petit,  $P < 0,05$ .

Æ Significativament menor que els valors de Volum líquid moderat.  $P < 0,05$ . —Reproduïdes de l'article Montain i Coyle (19), amb els permís de la Societat Americana de Fisiologia—.

senyola en la calor també sofriran alteracions de les respostes cardiovasculars i de la temperatura corporal durant la segona part, si no reponen les pèrdues de líquid. La magnitud de la hipertèmia i de l'estrès cardiovascular després d'iniciar l'exercici també es correlacionen estretament amb el grau de deshidratació inicial.

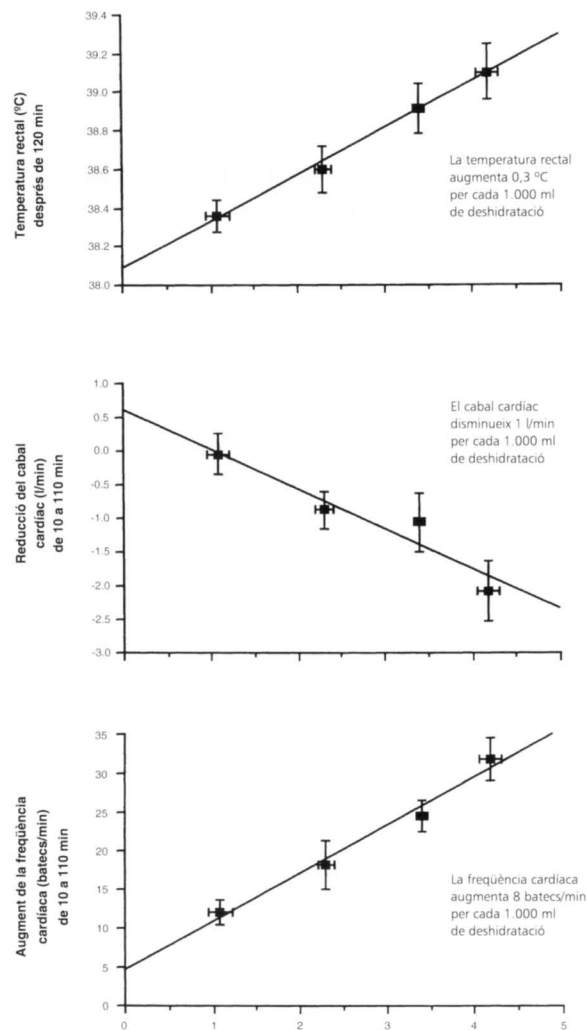


Figura 4. La influència de la deshidratació, com ho indica la reducció del pes corporal després de 2 hores d'exercici, en la temperatura corporal, cabal cardíac i la freqüència cardíaca. —Reproduïdes de l'article Montain i Coyle (19), amb el permís de la Societat Americana de Fisiologia—.

Aquests efectes positius de la ingestió de volums elevats de líquid durant l'exercici, també es poden observar durant l'exercici d'alta intensitat que dura al voltant d'una hora. En el laboratori de la Universitat de Texas a Àustin, es va observar que la ingestió d'un volum elevat de líquid (1.300 ml) comparat amb un de petit (200 ml) durant els primers 35 minuts

d'exercici va reduir la freqüència cardíaca (4 batecs/min) i la temperatura corporal (0,33°C) als 50 minuts d'exercici d'alta intensitat, en un cicloergòmetre (80%  $\dot{V}O_2\text{max}$ ) en la calor (31°C, 54% humitat relativa i 3,5 m/s de velocitat de l'aire) (5). Així mateix, el rendiment, que es va mesurar com el temps necessari per completar una càrrega determinada de treball, i així intentar simular l'última part d'una competició, va millorar un 6% amb la ingestió d'un volum elevat de líquid comparat amb el volum petit (5).

## Efectes beneficiosos de la reposició completa de fluids

Els resultats d'un estudi previ demostraren que la reposició del 80% de les pèrdues de fluid a través de la suor només causava un increment petit de la temperatura corporal i de la freqüència cardíaca com una disminució petita del volum sistòlic durant 2 hores d'exercici moderat en la calor (19). Immediatament després d'aquests resultats va sorgir la pregunta de si amb la ingestió d'un volum de líquid igual al 100% de les pèrdues d'aigua a través de la suor s'evitarien per complet aquestes alteracions funcionals durant l'exercici amb la calor, tal i com es va observar prèviament durant l'exercici en un entorn amb una temperatura ambiental de 22°C (13). Per contestar aquesta pregunta, recentment, avaluarem a 7 ciclistes de fons aclimatats a la calor durant 2 hores d'exercici, en un cicloergòmetre, en la calor (35°C; 48% humitat relativa i 2 m/s de velocitat de l'aire) a una intensitat mitjana de 65%  $\dot{V}O_2\text{max}$  (12). Per mantenir un estat d'euhidratació, els ciclistes ingeriren una mitjana de 1.800 ml/h de líquid repartits en volums iguals cada 15 minuts. Aquest règim forçat de reposició hídrica no va causar cap problema gastrointestinal en aquests subjectes que ja estaven acostumats a beure volums elevats de líquid durant les sessions prèvies de familiarització. Tampoc no va produir un augment de volum d'orina després d'acabar l'exercici (0,2 l). Es va observar que després dels ajustos inicials propis de la transició d'un estat de repòs a l'exercici, els subjectes varen mantenir uns nivells constants de freqüència cardíaca, volum sistòlic, cabal cardíac, pressió arterial mitjana, temperatura corporal, flux cutani i de concentració plasmàtica de catecolamines, fins el final de les 2 hores d'exercici (figures 1 i 2). *Per tant, des d'un punt de vista estrictament fisiològic, el règim òptim de reposició hídrica durant l'exercici en la calor és aquell en el qual es reponen per complet les pèrdues d'aigua a través de la suor.*

No obstant això, és molt important tenir present que hi ha condicions ambientals caracteritzades per alta temperatura i humitat, juntament a velocitat de l'aire escassa o inexistent (e.g., > 35°C i > 80% humitat relativa), en les quals no és possible, fins i tot per a subjectes entrenats i aclimatats a la calor, mantenir un nivell constant de les funcions corporals malgrat estar ben hidratats. En tals condicions, en les quals la taxa d'evaporació necessària per mantenir un equilibri tèrmic excedeix la màxima capacitat d'evaporació de l'entorn, es produeix un increment ràpid de la temperatura corporal, hipertèrmia, i l'única opció per salvaguardar la salut dels esportistes consisteix a reduir la producció de calor disminuint la intensitat de l'exercici.

## Recomanacions pràctiques

Les dades presentades demostren que el règim òptim de reposició hídrica per evitar els efectes negatius de la deshidratació durant l'exercici en la calor és aquell en el qual es prevenen completament les pèrdues de líquid corporal. Tanmateix, aquest règim de reposició de líquids potser no sigui el més idoni per als atletes de competició. En haver d'ingerir volums elevats de líquid (500-700 ml cada 15 minuts) per mantenir un estat normal d'hidratació durant l'exercici en la calor, els atletes han de reduir la intensitat de l'exercici per concentrar-se a beure, en particular durant la carrera de fons. En alguns esportistes potser que també augmenti el volum d'orina durant l'exercici. En conseqüència, la decisió sobre la quantitat de líquids a ingerir durant l'exercici ha de fer-se en base a una anàlisi cos-benefici. Per assegurar els majors beneficis de la ingestió de volums elevats de líquid durant l'exercici en la calor i reduir o evitar els seus desavantatges, els esportistes han de beure durant els seus entrenaments diaris. És també important ressenyar, atès que la hipohidratació causa els mateixos efectes que la deshidratació progressiva durant l'exercici, que els esportistes han d'ingerir líquids molt sovint amb la finalitat d'assegurar un estat d'euhidratació a l'inici de l'exercici.

## Agraïments

Durant els seus estudis de màster i doctorat a la Universitat de Texas a Àustin, EUA, José González Alonso va estar becat pel Ministerio de Educación y Ciencia de España dins del *Programa Nacional de Preparación de Personal Investigador*.



## Bibliografia

- (1) ADOLPH, E. F.: "Blood changes in dehydration". A: *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 adjustments". *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.