

Influencia del estado de hidratación sobre la capacidad física de trabajo y sobre la recuperación en atletas corredores de fondo

Rafael Caldas, Alvaro Ortíz, Hilda N. Jaramillo

Fueron evaluados, bajo condiciones ambientales neutras, nueve hombres, corredores de fondo, con promedios de 24 años de edad, 64 kg de peso y 173 cm de talla, para establecer los efectos de la deshidratación sobre la capacidad física de trabajo (PWC), calculada a partir de la frecuencia cardíaca máxima (FCmax) mediante el método de Karvonen. El protocolo se realizó en banda rodante: luego de 10 min de calentamiento, a una velocidad de carrera equivalente a 50% de la PWCmax y con una pendiente de 1%, siguieron 90 min de carrera, en seis intervalos de 15 min cada uno, con una pendiente similar y a una velocidad de 80% de la PWCmax; finalmente, 90 min de recuperación, en tres intervalos, de 30 min cada uno. Durante el procedimiento deshidratación (DH) no se hizo reposición hídrica, durante

rehidratación (RH) se repuso, en promedio 51% del peso corporal perdido durante DH.

El ejercicio prolongado e intenso (90 min, 80% PWCmax), bajo condiciones ambientales neutras, desencadenó una deshidratación hipertónica y, posiblemente, una deshidratación celular que contribuyó a la reducción de la PWC. La hidratación parcial con agua, además de prevenir la hipertonicidad, mejoró la PWC a partir del minuto 61; no parece ser importante en ejercicios de igual intensidad y menor duración (45 min). Durante el ejercicio, prolongado e intenso, independientemente del estado de hidratación, el volumen plasmático (VP) se mantuvo estable.

Dos hallazgos importantes, motivo de intensa investigación en la actualidad, fueron observados: la hiperpotasemia durante el ejercicio, tanto en DH como en RH; y la expansión del VP, a partir del minuto 60 de la recuperación, durante el procedimiento RH.

Introducción

Para mantener el trabajo de contracción muscular, y como producto de las exigencias metabólicas, el ejercicio físico genera gran cantidad de calor; su producción es proporcional a la intensidad y duración del trabajo realizado. En condiciones normales el calor producido requiere varios mecanismos para su disipación, pero durante la realización de una actividad física la secreción del sudor es el principal mecanismo termorregulador (1,2). La cantidad de sudor varía según los individuos y es modificada por la temperatura y la humedad ambiental (3); su composición es cualitativamente parecida a la del líquido extracelular, tiene sodio y cloro como componentes iónicos predominantes, y es hipoosmótica con relación al plasma (4). En consecuencia,

Rafael Caldas Z.: Biólogo, MSc Ciencias Básicas Biomédicas, Profesor. Facultad de Química Farmacéutica; Dr. Alvaro Ortíz U: Deportólogo, Profesor, Facultad de Medicina; Dra. Hilda N. Jaramillo L. MSc: Fisiología, Profesora. Facultad de Medicina. Universidad de Antioquia. Medellín.

La presente investigación fue realizada con el auspicio del CODI (Universidad de Antioquia) e Indeportes Antioquia.

Hidratación y capacidad física

el aumento de su secreción lleva a una hiperosmolaridad (5-7) y a una disminución del agua corporal total. No está claro aún de cuál de los compartimientos hídricos, intra o extracelular, proviene esta pérdida. Los mecanismos de compensación implicados, tampoco han sido claramente dilucidados (6, 8, 9).

La ejecución de un trabajo aeróbico máximo (Physical Work Capacity, PWCmax) sólo es posible por unos pocos minutos; si se desea trabajar más tiempo, es necesario disminuir su intensidad. El momento en que se presenta la fatiga, esto es, la disminución de la capacidad para continuar un trabajo con la misma intensidad, depende de factores individuales: edad, sexo, entrenamiento, estado nutricional, estado de hidratación (10) y de las condiciones ambientales bajo las cuales se realiza: altitud, temperatura, humedad relativa (11, 12).

La deshidratación afecta la PWC y en especial si el trabajo es prolongado, aunque sea realizado bajo condiciones ambientales neutras (13). Igualmente, la PWC puede ser alterada por la reducción porcentual del volumen plasmático (%VP) que al parecer ocurre durante el ejercicio (14-17), y que para algunos autores es secundaria a la pérdida hídrica (18, 19). La PWC, también, puede ser modificada por la hiperosmolaridad de los líquidos corporales (20, 21).

El propósito del presente estudio fue evaluar el grado de deshidratación y los efectos de ésta sobre la PWC, en un grupo de atletas corredores de fondo, durante una actividad física de 90 min de duración, a una inten-

sidad de 80% de la PWCmax, y durante los 90 min siguientes de la recuperación, con reposición (RH) y sin reposición hídrica (DH), bajo condiciones ambientales neutras.

Material y métodos

Población

Se estudiaron nueve deportistas, corredores de fondo, de sexo masculino, quienes dieron su consentimiento por escrito luego de recibir toda la información sobre la experiencia y sus riesgos.

Protocolo experimental

Se realizó en el laboratorio de Fisiología del Ejercicio de Indeportes (Coldeportes Antioquia), situado a 1.560 m sobre el nivel del mar, con una temperatura promedio de 23,3°C (SEM 3,8) y una humedad relativa ambiental de 59,5% (SEM 0,5). La PWCmax fue determinada mediante la aplicación de una prueba máxima, de carga ascendente, en banda rodante (Quinton 1845), con una pendiente constante de 1%, a velocidad inicial de 2,01m.s⁻¹ la cual se incrementó en 0,44m.s⁻¹ cada 5 min, hasta la fatiga total. La frecuencia cardíaca (FC) fue registrada, cada minuto, con un pulsómetro (Polar Vantage XL). La fracción porcentual de la PWC max (% PWCmax) equivalente a 80% de la FCmax registrada. se calculó mediante el método de Karvonen (22); finalmente, se determinó la velocidad de carrera, para cada individuo, correspondiente a 80% de la PWCmax. Cuatro semanas más tarde se aplicó el protocolo experimental propiamente dicho. Cada atleta arribó al laboratorio a las 7:30 am, una hora después

de haber ingerido un desayuno normal. Luego de vaciamiento vesical y de la recolección de la muestra de orina, el deportista fue pesado desnudo; finalmente, se colocó una pantaloneta y unos zapatos apropiados para la carrera.

El atleta permaneció en posición de decúbito dorsal hasta alcanzar su FC basal (etapa Co). Una vez alcanzada ésta, se introdujo un catéter de teflón (Insyte 18) en la vena antecubital, zona del pliegue, y se extrajeron 20 mL de sangre, en tubo estéril (Monoject, Sherwood), para la determinación de osmolaridad (OSM), sodio (Na⁺) y potasio (K⁺); 5 mL; además en tubo estéril con EDTA-K3 (Vacutainer. Sherwood), para la medición de la hemoglobina (Hb) y del hematócrito (Hct). Finalmente, el catéter fue heparinizado (heparina Ely Lilly & Co) y fijado adecuadamente.

La etapa C, de 10 min de duración, consistió en una carrera de calentamiento, sobre la banda rodante, con una pendiente de 1%. El protocolo se diseñó de tal manera que la velocidad inicial y sus dos incrementos posteriores, minutos tres y seis, no ocasionaran un aumento de la FC mayor de 130 pulsaciones min⁻¹ ni sobrepasaran el 55% de la PWCmax.

La etapa anterior fue seguida de una carrera, sobre la banda rodante, de 90 min de duración, realizada en seis períodos, de 15 min cada uno, E₁ a E₆. La pendiente inicial, de 1%, se mantuvo y la velocidad de carrera correspondiente a 80% de la PWCmax, de cada individuo, fue constante. Al término de cada período se tomaron muestras de sangre (el tiempo empleado no

fue superior a los 2 min). Al analizar el minuto 90 el deportista abandonó la banda rodante, realizó un segundo vaciamiento vesical, se le tomó otra muestra de orina, y luego de ducharse y secarse se le pesó desnudo.

Durante la etapa de recuperación (R) el deportista reposó sobre una camilla, en posición de decúbito dorsal, por espacio de 90 min. Se tomaron muestras de sangre cada 30 min, R₁ a R₃. Al finalizar el deportista hizo un último vaciamiento vesical y un registro final de su peso. Durante todo el procedimiento, anteriormente descrito, no se le suministraron líquidos (deshidratado, DH).

Siete a nueve semanas más tarde se repitió el mismo protocolo; pero en esta ocasión, al deportista se le suministró, desde el inicio de la fase E₁ hasta la E₆, un volumen, aproximado, de agua corriente de 1400 mL, a la temperatura ambiental (rehidratado, RH) que reponía, en promedio, el 51 % de la pérdida de peso presentada en el protocolo anterior (DH).

Medición de variables

La pérdida de peso corporal se estableció mediante la diferencia entre el peso inicial (C) y el peso final (E₆). La FC fue registrada, minuto a minuto, con el pulsómetro y a partir de ella se calculó la PWC correspondiente a cada minuto de carrera. Con base en las mediciones del Hct y de Hb, empleando un Coulter T-540, se determinó el porcentaje de variación del volumen plasmático (%VP) según la ecuación de Dill y Costill (23). El plasma fue separado por centrifugación, durante 15 min a 1.000g, a temperatura ambiente. La osmolaridad fue medida por punto de congelación

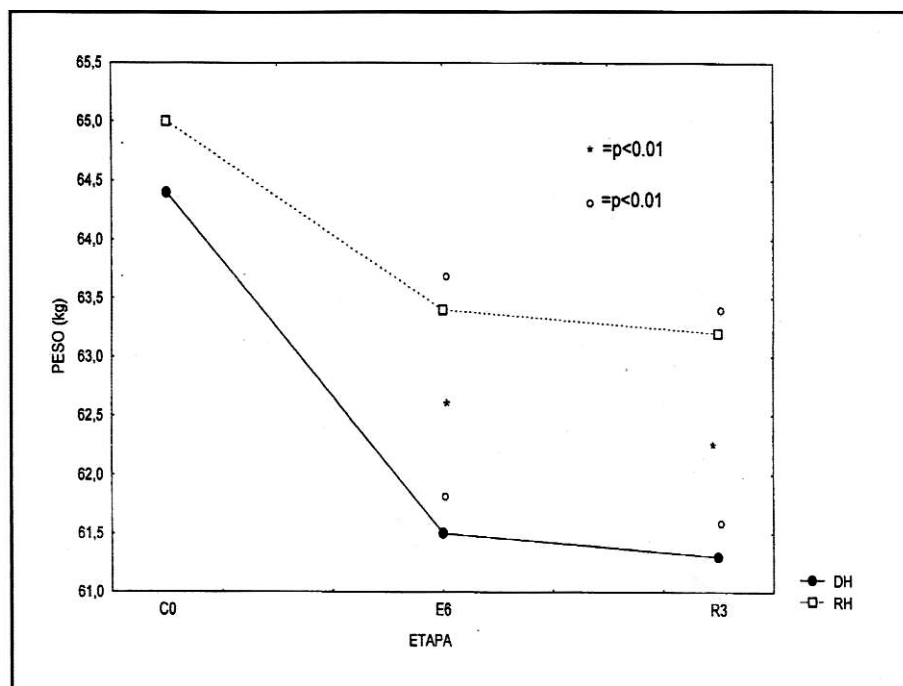


Figura 1. Variación del peso corporal total en cada uno de los procedimientos aplicados. (n=9; DH: sin reposición hídrica, RH: con reposición hídrica; °: variación intraprocedimiento, *: variación interprocedimiento).

Variable	X	DS	Rango
Edad (años)	23,8	5,0	18-32
Peso (Kg)	64,4	7,2	51,0-74,9
Estatura (cm)	173,3	5,4	163,0-179,5
Grasa (%)*	7,5	0,9	6,5-9,5

*: determinada según el método de Yuhazs.

Tabla 1. Descripción de las características antropométricas de la población a estudio.

(Osmette) y las concentraciones de sodio y potasio, utilizando un fotómetro de llama Corning 410 C). Todas las mediciones fueron efectuadas por duplicado.

Análisis estadístico

Todos los datos se procesaron mediante el paquete Statistica 5,0 (StatSoft Inc.). Se estableció la normalidad de los datos y se aplicó un ANOVA de mediciones repetidas y una evaluación *post-hoc* mediante la prueba de Newman-Keuls. La significación estadística se fijó en $p < 0,05$. Para

el análisis de regresión lineal y el coeficiente de asociación se aplicó el método de Pearson.

Resultados

El promedio de edad fue de 23,9 años (SEM 1,7), el de peso de 64,4kg (SEM 2,4) y el de talla 173,3 cm (SEM 1,8). Los rangos de estas y otras variables se muestran en la Tabla 1.

Las diferencias entre el peso inicial (C₀) y el peso final (E₆) fueron estadísticamente significativas ($p < 0,01$), en cada uno de los procedimientos (Figura 1).

Hidratación y capacidad física

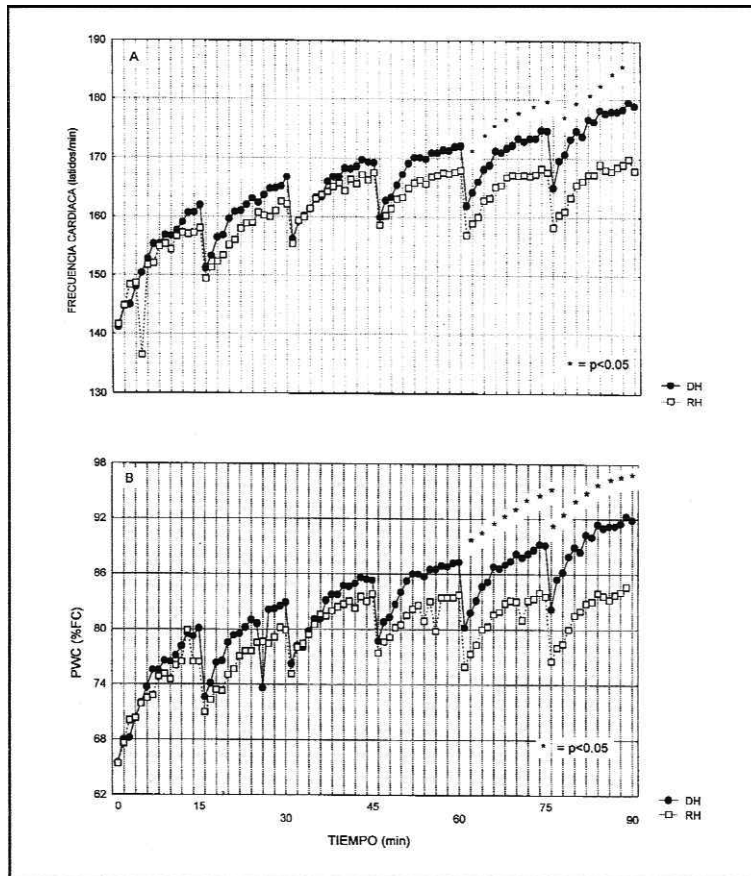


Figura 2. A) Variación de la frecuencia cardíaca (FC) y B) de la capacidad física de trabajo (PWC), durante los 90 min de carrera, en cada uno de los procedimientos aplicados (n=9; DH: sin reposición hídrica, RH: con reposición hídrica; °: variación intraprocedimiento, *: variación interprocedimiento).

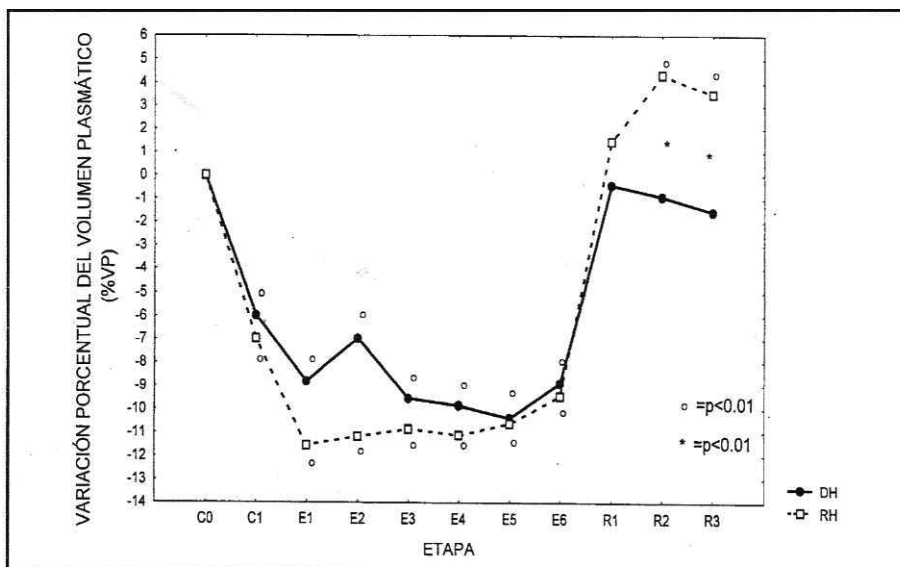


Figura 3. Variación porcentual del volumen plasmático (%VP) en cada uno de los procedimientos aplicados. (n=9; DH: sin reposición hídrica, RH: con reposición hídrica; °: variación intraprocedimiento, *: variación interprocedimiento).

La pérdida promedio de peso durante el procedimiento DH fue de 4,3% (SEM 0,2) y durante RH de 2,4% (SEM 0,2). Hubo diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,01$) entre los dos procedimientos. El volumen promedio de agua suministrada durante RH fue de 1387mL (SEM 130,2), correspondiente a 51,4% (SEM 4,1) de la pérdida de peso presentada en DH.

La FC se incrementó paulatinamente con el tiempo de carrera. Al comparar los dos procedimientos se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) a partir del minuto 61 hasta el minuto 90. Un comportamiento similar se observó con el %PWC, las diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los dos procedimientos se presentaron desde el minuto 62 hasta el final de la carrera. Es importante resaltar que durante el procedimiento RH el %PWC se mantuvo estable, alrededor de 83% de la PWCmax, desde el minuto 45 -E₃- hasta el final de la carrera -E₆- (Figura 2).

La variación porcentual del VP se observa en la Figura 3. En ambos procedimientos al finalizar el calentamiento -C₁-, se observó una reducción estadísticamente significativa del VP ($p < 0,01$), la cual se acentuó durante E₁. Desde E₂ (minuto 30) hasta E₆ (minuto 90) no se observó una reducción adicional, estadísticamente significativa, del VP. La reducción promedio del VP observado fue de 8,9% (SEM 2,3) en DH y de 9,5% (SEM 1,5) en RH. No se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los dos procedimientos. En R (minuto 30), tanto en DH como en RH,

el VP tendió a alcanzar el valor inicial; durante el procedimiento RH, desde R2 hasta R3 (minuto 60 a minuto 90), se observó una expansión, estadísticamente significativa ($p < 0,01$), del VP de 4,3% (SEM 0.8).

Durante el procedimiento DH, en el ejercicio, se observaron aumentos promedios de la OSM de $14,3 \text{ mOsm}\cdot\text{L}^{-1}$ (SEM 1,5); del K^+ de $0,9 \text{ mEqL}^{-1}$ (SEM 0,1) y del Na^+ de $6,1 \text{ mEqL}^{-1}$ (SEM 0,9) (Figura 4). La OSM y el K^+ en cada intervalo de carrera, desde C, hasta E6, mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,01$) con respecto a los valores iniciales (C_0). Por su parte, el Na^+ presentó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) desde E hasta E6. Durante la recuperación los valores de las tres variables se mantuvieron significativamente elevados con respecto a los valores iniciales, conservando la respectiva significancia estadística.

Durante el procedimiento RH, en el ejercicio, se observaron aumentos promedios, estadísticamente no significativos, de la OSM de $4,3 \text{ mOsm}\cdot\text{L}^{-1}$ (SEM 1,1) y del Na^+ de $1,4 \text{ mEqL}^{-1}$ (SEM 0,6). Finalmente, el K^+ presentó un incremento promedio de $0,6 \text{ mEqL}^{-1}$ (SEM 0,2) y las diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,01$) se mantuvieron desde E hasta E6. Durante la recuperación los valores de las tres variables decrecieron, regresando al rango de los valores iniciales.

Al comparar los dos procedimientos se observaron diferencias, estadísticamente significativas, desde E¹ hasta R³, para la OSM ($p < 0,01$) y desde E³ hasta R3 para el Na^+ ($p < 0,05$). De otro lado, sólo hubo diferencias

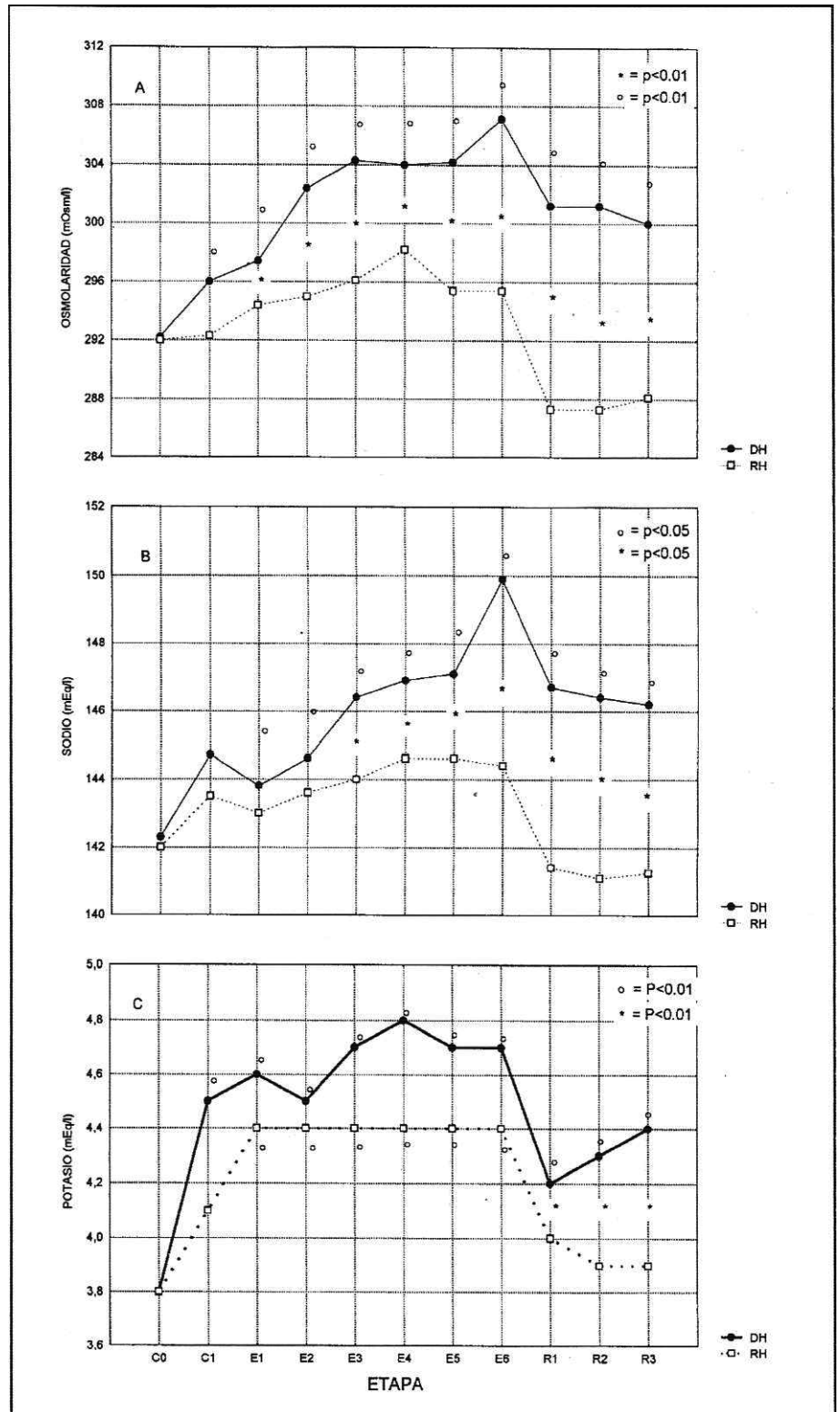


Figura 4. Variación de la concentración plasmática de A) osmolaridad (OMS), B) sodio Na^+ , y C) potasio (K^+), en cada uno de los procedimientos aplicados. (n=9; DH: sin reposición hídrica, RH: con reposición hídrica; * : variación intraprocedimiento, o variación interprocedimiento).

Hidratación y capacidad física

estadísticamente significativas para el K^+ desde R, hasta R^3 . El análisis de la correlación lineal permitió establecer una asociación, estadísticamente significativa ($p < 0.05$), entre PWC y FC ($r^2 = 0,69$ y $0,74$ para DH y RH, respectivamente); entre PWC y OSM ($r^2 = 0,44$ para DH $0,49$ para RH); entre PWC y Na^+ ($r^2 = 0,45$ y $0,43$, para DH y RH, en su orden); entre PWC y K^+ ($r^2 = 0,31$ para DH y $0,29$ para RH). Igualmente, entre el VP y el K^+ ($r^2 = -0,24$ y $-0,31$ para DH y RH, respectivamente). Finalmente, se observó una asociación entre FC y OSM ($r^2 = 0,31$ y $r^2 = 0,33$ para DH y RH, en su orden); y entre FC y Na^+ , solamente en DH ($r^2 = 0,25$).

Discusión

El presente trabajo aporta elementos científicos para la valoración funcional de la PWC, de nuestros deportistas, a partir de la FC dado el alto índice de correlación encontrado ($r^2 = 0,7$) durante el procedimiento DH como en RH.

Los resultados de la presente investigación muestran que, aun bajo condiciones ambientales consideradas neutras, la reposición hídrica, así sea parcial (51,4% de las pérdidas), en forma fraccionada, y con soluciones hipotónicas, mejora la PWC en atletas corredores de fondo, sometidos a una actividad física intensa (80% PWCmax) y de larga duración (90 min). El efecto de la hidratación sobre la PWC, y por ende sobre el rendimiento deportivo, es importante a partir del minuto 61. No parece serlo en ejercicios de alta intensidad y con una duración menor de 45 min. La actividad física intensa y de larga duración originó una pér-

da promedio, estadísticamente significativa, del peso corporal del 4% durante el procedimiento DH y de 2% en RH. Explicable por la reposición parcial de las pérdidas hídricas. En ambos procedimientos la pérdida de peso corporal, ocasionada por el incremento de la eliminación acuosa (respiración y sudoración) determinó una deshidratación. Durante el procedimiento DH se observó una deshidratación hipertónica, (osmolaridad promedio de 307 mOsmL^{-1}); mientras que en RH la deshidratación observada fue isotónica con una osmolaridad promedio de 295 mOsmL^{-1} .

La deshidratación hipertónica fue secundaria al incremento de la concentración plasmática del Na^+ ($r^2 = 0,5$), cuya fuerza osmótica determinó el eflujo de agua del compartimiento intracelular, lo que ocasionó una reducción del volumen de este compartimiento (4, 8, 9); mientras que durante la deshidratación isotónica la pérdida de agua corporal provino del compartimiento extracelular, dado que no existió fuerza osmótica para determinar el movimiento hídrico desde el compartimiento intracelular (24, 25). Es lógico suponer que como consecuencia de lo anterior, durante una deshidratación hipertónica ocurre una deshidratación celular, y en especial una deshidratación de la célula muscular (26-28), cuyos procesos metabólicos alterados modificarían la PWC (29). En este grupo experimental se observó, al inicio del ejercicio, una reducción importante del VP, la cual no fue incrementada por la pérdida hídrica presentada durante la actividad física, ni modificada por la hidratación

parcial. En consecuencia, la disminución del VP no puede ser explicada exclusivamente, como lo han hecho algunos autores (6, 9, 16, 30), por la pérdida hídrica. Consideramos que el rápido descenso del VP (31-33) durante la etapa de calentamiento (C_1E_6) es debida, posiblemente, a la redistribución del flujo sanguíneo hacia las masas musculares, implicadas en la ejecución de la actividad física, y hacia la piel, para facilitar la disipación del calor. Contrario a lo descrito (8, 13, 34), en la presente investigación la reducción porcentual del VP no fue la responsable directa de la disminución de la PWC. No encontramos, en ninguno de los dos procedimientos, disminución adicional del VP. durante el ejercicio realizado (19, 31); tampoco encontramos una asociación estadísticamente significativa entre PWC y VP. Por otro lado, el comportamiento de la osmolaridad, como ha sido recientemente descrito (16, 20, 21), y el de los electrolitos parece influenciar la PWC. Nuestros resultados muestran una asociación, estadísticamente significativa ($p < 0,05$), entre PWC y OSM ($r^2 = 0,4$ para DH y $0,5$ para RH); entre PWC y Na^+ ($r^2 = 0,5$ y $0,4$, para DH y RH, respectivamente); y entre PWC y K^+ ($r^2 = 0,3$ y $0,3$, para DH y RH, en su orden).

En la presente investigación, y de acuerdo con otros autores (34-36), durante la realización de una actividad física observamos desde el calentamiento, e independientemente de la reposición hídrica, una hiperpotasemia. El equilibrio interno del potasio, esto es, su distribución entre los compartimientos intra y extracelular, puede ser modificado por

la insulina, las catecolaminas, los mineralocorticoides, las alteraciones del equilibrio ácido básico de origen metabólico, y la hipertonicidad plasmática (4); sólo abordamos experimentalmente la hipertonicidad y la concentración plasmática de ácido láctico (datos no publicados) sin encontrar correlación entre las diferentes variables estudiadas. Así pues, el factor o los factores implicados no están plenamente dilucidados y son, en la actualidad, motivo de estudio (37-39). Igualmente, como ha sido descrito (40, 41) observamos durante el procedimiento RH una sobreexpansión del volumen plasmático, estadísticamente significativa ($p < 0,01$), desde el minuto 60 hasta el minuto 90 de la recuperación. Aunque han sido muchos los factores implicados, entrenamiento, adaptación, modalidad deportiva (42-44), como en el caso anterior, el mecanismo responsable no ha sido aclarado. En nuestra investigación, dado el modelo de mediciones repetidas, sólo podría contemplarse como factor responsable la reposición parcial con soluciones hipotónicas.

En conclusión, durante la realización de un ejercicio físico intenso y prolongado, aun bajo condiciones ambientales neutras, se desencadena una deshidratación hipertónica, que se acompaña de reducción de la capacidad física de trabajo, secundaria, posiblemente a la deshidratación de la célula muscular. El volumen plasmático se conserva durante la ejecución de una actividad física, luego de la disminución inicial ocasionada por la redistribución hacia las masas musculares y piel, y no parece ser un factor determinante de la

disminución de la PWC. A partir del minuto 60 de la recuperación se observa una sobreexpansión del VP debida, al parecer, a la reposición hídrica. Independientemente del estado de hidratación, se presenta hiperpotasemia.

Summary

Nine male long distance runners, averaging 24 years, 64 Kg and 173 cm, were tested to determine the influence of dehydration on physical work performance (PWC), calculated from maximal heart rate according to Karvonen. The protocol followed 10-min warm-up (performed at 50% maxPWC on motorized treadmill), 90-min continuous running treadmill race performed in six bouts at 80% maxPWC and 1% slope, and also during the consecutive 90-min recovery period, under dehydrated (DH) and rehydrated (RH) conditions with tap water proportionally to 51% of individual weight losses during DH. The intense and long time exercise, even under ambient neutral conditions, promotes a hypertonic dehydration (weight loss: 4%, osmolality: 307 mOsm L⁻¹), and possibly, a muscle cell dehydration which leads, along with sodium ($p < 0,05, r^2 = 0,5$), potassium ($p < 0,05, r^2 = 0,3$) and osmolality ($p < 0,05, r^2 = 0,4$) to impair exercise performance. Partial hydration with tap water, in addition to prevent plasma hyperosmolality, enhances PWC from minute 61st ($p < 0,05$). It does not seem important in exercises performed at similar intensity and lower duration (<45-min). During long time and intensive exercise, the plasmic volume remained on a steady level

in both procedures (8% and -10% during DH and RH, respectively). Two major findings, which are central to current research in this field, were obtained in this study: the hyperkalemia during the race (increases of 0,9 mEq I⁻¹ in DH and 0,6 mEq I⁻¹ in RH, above resting values), no matter of water replenishment. Also, the VP expansion during the last 60-min recovery period in RH.

Agradecimientos

A las bacteriólogas Luz M. Rivera, Myriam Londoño y Guiomar Acosta, por su asistencia técnica. Al doctor Fernando Montoya, por su asesoría estadística. Al Programa de Reproducción por su apoyo logístico. A las estudiantes, Clara Murcia e Isabel Cristina Amelines, de la Facultad de Medicina de la Universidad de Antioquia, por su participación. A los deportistas evaluados, al cuerpo técnico por su constante colaboración e interés. A la Dirección Ejecutiva de Deporte (Coldeportes Antioquia) y personal médico y administrativo de la División de Medicina Deportiva de esta entidad, por su apoyo e interés.

Referencias

1. **Haymes EM, Wells CL.** Environment and human performance. *Champaign: Human Kinetics; Publishers Inc;* 1986: 13-42.
2. **Buono MJ, Sjöholm NT.** Effects of physical training on peripheral sweat production. *J Appl Physiol* 1988; **65**: 811-814.
3. **Jensen D.** Fisiología; México; Interamericana; 1979: 971-995.
4. **Jaramillo HN.** Líquidos y electrolitos. 2a ed: Medellín; Universidad de Antioquia; 1992: 80-92.
5. **Nicot BG, Almenares PE, Cobas ME, et al.** Cambios metabólicos provocados por el ejercicio físico relacionados con trastornos de la actividad muscular. *Rev Cub Med Dep Cult Física* 1990; **1**: 13-19.
6. **Melin B, Curé M, Jiménez C, et al.** Effects of ingestion pattern on rehydration and exercise performance subsequent to passive dehydration. *Eur J Appl Physiol* 1994; **68**: 281-284.
7. **Senay LC, Rogers G, Jooste P.** Changes in blood plasma during progressive treadmill and cycle exercise. *J Appl Physiol* 1980; **49**: 59-65.
8. **Sawka MN.** Physiological consequences of hypohydration: exercise performance and thermoregulation. *Med Sci Sports Exerc* 1992; **24**: 657-670.
9. **Nose H, Mack GW, Shi X, Nadel ER.** Shift in body fluid compartments after dehydration in humans. *J Appl Physiol* 1988; **65**: 318-324.

Hidratación y capacidad física

10. **Spurr GB.** Nutritional status and physical work capacity. *Yearbook Phys Anthropol* 1983; **26**: 1-35.
11. **Maughan RF.** Fluid and electrolyte loss and replacement in exercise. En: Williams C, Devlin JT, eds. *Food, nutrition and sports performance.* London; E&FN Spon; 1992; 147-178.
12. **Saltin B.** Circulatory responses to sub-maximal and maximal exercise after thermal dehydration. *J Appl Physiol* 1992; **19**: 1125-1132.
13. **Fogelholm M.** Effects of body weight reduction on sports performance. *Sports Med* 1994; **18**: 249-267.
14. **Kohler H.** Fluid metabolism in exercise. *Kidney International* 1987; **32 suppl**: S93-S96.
15. **Costill DL, Miller JM.** Nutrition for endurance sport: carbohydrate and fluid balance. *Int J Sports Med* 1980; **1**: 2-14.
16. **Candas V, Libert JF, Branderberger G, et al.** Hydration during exercise: effects on thermal and cardiovascular adjustments. *Eur J Appl Physiol* 1986; **55**: 113-122.
17. **Nadel ER, Fortney SM, Wenger CB.** Effect of hydration state on circulatory and thermal regulation. *J Appl Physiol* 1980; **49**: 715-721.
18. **Armstrong LE, Costill DL, Fink WR.** Influence of diuretic-induced dehydration on competitive running performance. *Med Sci Sports Exerc* 1985; **17**: 456-461.
19. **Harrison MH, Edwards RJ, Leitch DR.** Effect of exercise and thermal stress on plasma volume. *J Appl Physiol* 1975; **39**: 925-931.
20. **Fortney SM, Wenger CB, Bove JR, Nadel ER.** Effect of hyperosmolality on control of blood flow and sweating. *J Appl Physiol* 1984; **57**: 1688-1695.
21. **Pivarnik JM, Leeds EM, Wilkerson JE.** Effects of endurance exercise on metabolic water production and plasma volume. *J Appl Physiol* 1984; **56**: 613-618.
22. **Karvonen J, Vuorimaa T.** Heart rate and exercise intensity during sports activities. *Sports Med* 1988; **5**: 303-312.
23. **Dill D., Costill D.** Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma and red cells in dehydration. *J Appl Physiol* 1974; **37**: 247-248.
24. **Ganong WF.** *Fisiología médica.* 15a ed. México: El Manual Moderno; 1996: 809-817.
25. **Hays RM.** Dinámica del agua y de los electrolitos del organismo; En: Maxwell MH, Kleeman CR, eds. *Clínica de los trastornos hidroelectrolíticos.* Barcelona: Toray S.A.; 1976: 141.
26. **Nose H, Mack GH, Shi X, Nadel ER.** Role of osmolality and plasma volume during rehydration in humans. *J Appl Physiol* 1988; **65**: 325-331.
27. **Melin B, Curé M, Jimenez C, et al.** Déshydratation, réhydratation et exercice musculaire en ambiance chaude *Cah Nutr Diet* 1990; **6**: 383-388.
28. **Sawka MN.** Body fluid responses and hypohydration during exercise-heat stress. En: Pandolf KF, Sawka MN, González RR, eds. *Human performance physiology and environmental physiology at terrestrial extremes.* Carmel: Cooper Publishing Group; 1988: 227-266.
29. **Haussinger D, Lang F, Gerok W.** Regulation of cell function by the cellular hydration state. *Am J Physiol* 1994; **267**: E343-E355.
30. **Carter JE, Gisolfi CV.** Fluid replacement during and after exercise in the heat. *Med Sci Sports Exerc* 1989; **21**: 532-539.
31. **Fortney SM, Vroman NB, Beckett WS, et al.** Effects of exercise hemoconcentration and hyperosmolality on exercise responses. *J Appl Physiol* 1988; **65**: 519-524.
32. **Fortney SM, Nadel ER, Wenger CB, Bove JR.** Effects of acute alterations of blood volume on circulatory performance in humans. *J Appl Physiol* 1981; **50**: 292-298.
33. **Fortney SM, Nadel ER, Wenger CB, Bove JR.** Effect of blood volume on sweating rate and body fluids in exercising humans. *J Appl Physiol* 1981; **51**: 1594-1600.
34. **Rehrer NS.** The maintenance of fluid balance during exercise. *Int J Sports Med* 1994; **15**: 122-125.
35. **Rocker L, Kirsch KA, Heyduck B, Alterkirtch U.** Influence of prolonged physical exercise on plasma volume, plasma proteins, electrolytes and fluid-regulating hormones. *Int J Sports Med* 1989; **10**: 270-274.
36. **Yaspelkis BB, Anderla PA, Patterson JG, Lvy JL.** Ventilation parallels plasma potassium during incremental and continuous variable intensity exercise. *Int J Sports Med* 1994; **15**: 460-465.
37. **McCoy M, Hergreaves M.** Potassium and ventilation during incremental exercise in trained and untrained men. *J Appl Physiol* 1992; **73**: 1287-1290.
38. **Yoshida T, Chida M, Ichioka M, et al.** Relationship between ventilation and arterial potassium concentration during incremental exercise and recovery. *Eur J Appl Physiol* 1990; **61**: 193-196.
39. **Paterson DJ, Friedland JS, Bascom DA, et al.** Changes in arterial K⁺ and ventilation during exercise in normal subjects and subjects with McArdle's syndrome. *J Physiol* 1990; **429**: 339-348.
40. **Schmidt W, Maassen N, Tegtbur U, Braumann KM.** Changes in plasma volume and red cell formation after a marathon competition. *Eur J Appl Physiol* 1989; **58**: 453-458.
41. **Richardson RS, Verstraete D, Johnson SC, et al.** Evidence of a secondary hypervolemia in trained man following acute high intensity exercise. *Int J Sports Med* 1996; **17**: 243-247.
42. **Gillen CM, Nishiyasu T, Langhans G, et al.** Cardiovascular and renal function during exercise-induced blood volume expansion in men. *J Appl Physiol* 1994; **76**: 2602-2610.