

Variaciones del sodio y potasio plasmáticos durante el ejercicio físico: factores asociados

Joao Carlos Marins

Profesor Universidade Federal de Viçosa-MG-Brasil
Alumno del Curso de Doctorado de Bases Fisiológicas de la Nutrición. Universidad de Murcia

Estélio Henrique Dantas

Profesor Universidade Castelo Branco-RJ-Brasil

Salvador Zamora Navarro

Catedrático de la Universidad de Murcia

Palabras clave

sodio, potasio, hidratación

Abstract

The presence of sodium and potassium in their appropriate concentrations within the body represents a key point in the maintenance of the osmotic balance in the organism. During exercise, the production of important amounts of sweat, together with the variety in nutritional intake, can lead to antagonistic responses with regard to serum levels of these two ions. The aim of this articles to establish serum variations in these two electrolytes during exercise, as well as their consume by sportsmen and woman, especially in the form of hydroelectrolithic drinks.

Resumen

Una adecuada concentración de sodio y potasio en el medio interno, representa un punto clave para una adecuada respuesta del equilibrio osmótico en el organismo. Durante el ejercicio físico, la producción de grandes cantidades de sudor, junto con la variedad de ingesta nutricional, pueden de forma combinada, promocionar respuestas antagónicas respecto a la concentración plasmática de estos iones. Este artículo pretende establecer las variaciones plasmáticas de estos dos electrólitos, durante el ejercicio físico, así como su consumo por parte de los deportistas, especialmente en forma de las bebidas hidroelectrolíticas.

Introducción

Durante la realización de un ejercicio de larga duración, se produce una cierta cantidad de sudor, principalmente si se hace en ambientes calurosos y con gran humedad, lo que consecuentemente ocasiona una reducción en el contenido de agua corporal y desestabiliza el equilibrio hidroelectrolítico existente. La ruptura de esta homeostasis podrá interferir, dependiendo de un conjunto de factores, en los valores de los electrólitos sodio y potasio. En este artículo se tratará de las posibles alteraciones en estos electrolitos, ya que son fundamentales en el control hidroelectrolítico corporal.

Sodio

Las alteraciones en la homeostasis del sodio pueden variar dependiendo de la situación del ejercicio y del procedimiento dietético, de manera que pueden conducir a respuestas totalmente distintas de las normales. Es decir, es posible obtener cuadros de hiponatremia o hipernatremia en un deportista, pero también es posible que no ocurran cambios significativos.

Pardo y Vázquez (1995) proponen como rango de normalidad para el sodio plasmático valores comprendidos entre 135-145 mmol/l. Por otra parte el sodio presente en el sudor tiene como rango de normalidad 35,2-81 mmol/l según Shirreffs y Maugham (1997). Sin embargo, hay registros de entre 10-146 mmol/l, según una revisión sobre el tema publicada por Verde *et al.* (1982).

Hipernatremia durante la actividad física

Se considera que existe hipernatremia cuando los valores de sodio son superiores a 145 mmol/l, teniendo en cuenta los valores cercanos a 148 mmol/l son de alto riesgo para la vida (Vea y Rabasa, 1995).

Muchos técnicos y deportistas, por no tener información adecuada sobre el tema hidratación, creían que no era necesario hidratarse durante la actividad, pero aprobaban el consumo de pastillas de sal. Este tipo de actitud fue muy popular en el ámbito deportivo durante muchos años, de manera que los problemas de hipernatremia se tornaron frecuentes y, desafortunadamente, provocaron algunas muertes (Cipolla *et al.*, 1995).

Este procedimiento de no consumir agua, pero sí pastillas de sal proporciona fisiológicamente una ruptura muy rápida y aguda del equilibrio osmótico. Con una mayor concentración de sodio en el medio extracelular, la respuesta del organismo para intentar restaurar el equilibrio, será desplazar agua desde el medio intracelular. Villegas (1999) relata que el consumo de tabletas de sal también está asociado a molestias gástricas como náuseas o vómitos, perjudicando así la capacidad del deportista en el entrenamiento.

Actualmente en Medicina Deportiva los casos de hipernatremia no son frecuentes, pues la gran mayoría de los deportistas se hidratan en mayor o menor medida y no tienen la costumbre de ingerir pastillas de sal. La tendencia al aumento en los niveles de sodio plasmático fue demostrada por González-Alonso *et al.* (1992) al encontrar una diferencia significativa de concentración de este electrolito después de 90 minutos de ejercicio continuo sin hidratación. Al acompañar a un grupo de corredores de Maratón durante una competición, Mateo *et al.* (1993) describieron una tendencia similar, de forma que los índices de Na^+ antes de la prueba eran de $145,4 \pm 1,2$ mmol/l mientras que al final de la misma eran de $151 \pm 2,3$ mmol/l. MARINS (1997), al comparar dos procedimientos de hidratación (agua vs solución carbohidratada más electrolitos) durante 2 horas de ciclismo, obtuvo un li-

gero aumento de este electrolito en ambos casos, sin llegar a valores que sugiriesen hipernatremia. Por último, Zamora *et al.* (1992) presentaron los resultados del sodio sanguíneo medido antes de una prueba de maratón, hallando valores de 139 mmol/l y a su término de 145 mmol/l.

Es importante destacar que en una situación de no ingestión, o ingestión inadecuada de líquidos, se podrá producir en algunos deportistas una elevación del sodio plasmático, pudiendo llegar a una situación de hipernatremia (Gisolfi, 1994).

Vea y Rabasa, (1995) describen algunas características de un cuadro de hipernatremia, que incluye sed, irritabilidad, hipertonicidad muscular, convulsiones y coma. Los mismos autores destacan que en una situación de hipernatremia hay peligro real para las células cerebrales, porque se produce la deshidratación de las mismas, por lo que pueden ocasionarse problemas neurológicos agudos.

Los datos disponibles en la literatura respecto al comportamiento del sodio durante una competición de larga duración en deportistas de élite, indican en su mayoría que el nivel del mismo se mantiene en el rango de normalidad (Stromme *et al.*, 1976; Deuster *et al.*, 1992; Millard-Stafford, *et al.*, 1992; Pastene *et al.*, 1995). Pero según Hiller *et al.* (1985) y Armstrong *et al.* (1993) y Gastmann *et al.* (1998) se produce una tendencia a la hiponatremia.

Es importante destacar que todavía existe una gran falta de información sobre los procedimientos correctos de hidratación entre muchos entrenadores y deportistas, y que debido a ello pueden cometer errores de tal magnitud que supongan un riesgo para la vida.

Hiponatremia durante la actividad física

Se considera que existe hiponatremia cuando los valores de sodio son inferiores a 135 mmol/l; los valores cercanos a 130 mmol/l suponen un alto riesgo y pueden dar lugar a una urgencia médica (Murray, 1998).

La hiponatremia durante los ejercicios de larga duración no es frecuente, ya que durante la actividad, la pérdida de agua por la producción de sudor estimula a las hormonas adiuiretina (vasopresina) y renina, que a su vez actúan sobre la función renal, disminuyendo el volumen urinario y la pérdida de sal, ahorrando así Na^+ para intentar mantener los valores plasmáticos dentro de la normalidad (Criswell *et al.*, 1992; Walsh *et al.*, 1994). La acción de estas hormonas puede restringir hasta tal punto la pérdida de Na^+ que explicaría el que algunos deportistas con elevadas pérdidas hídricas mantengan sus niveles de sodio dentro de la normalidad (Maughan *et al.*, 1996).

Sin embargo, en condiciones especiales de entrenamiento o competiciones es posible desarrollar un cuadro de hiponatremia. Un primer supuesto sería cuando se produce una gran pérdida de sudor de alrededor 1,5 litros por hora (ACSM, 1996), bien sea de manera aguda, en un solo día, o bien de manera crónica, si la pérdida se produce a lo largo de muchos días y de forma continua, por ejemplo en competiciones del tipo "Tour de France" o "La Vuelta a España", en los que además, frecuentemente, se realizan a muy altas temperaturas y sin que los deportistas tengan tiempo para recuperarse y reponer las pérdidas.

Villegas *et al.* (1995) comentan, respecto a las conclusiones de Hiller, que durante pruebas de menos de 4 horas de duración difícilmente se producirán cuadros de hiponatremia. Sin embargo, en competiciones de 8 horas es muy probable que aparezcan. Frizzel *et al.* (1986) relatan el caso de dos maratonianos que después de correr 100 y 80 Km ingiriendo aproximadamente 20 litros el primero (120 ml solución con glucosa y electrolitos más 120 ml de cola por estación) y 24 litros el segundo (120 ml de agua y 120 ml de una solución de glucosa y electrolitos) presentaron valores de sodio plasmáticos de 128 y 118 mmol/l respectivamente, dato este último que sorprende extraordinariamente.

Hiller *et al.* (1987) corroboran esta idea al identificar una incidencia de casos de hiponatremia del 27 % en los participantes de "Hawaii Ironman Triathlon" de 1984, que

tuvieron que ser atendidos por el equipo médico de la competición. El estudio de Nelson *et al.* (1986) identificaron concentraciones séricas de 112 mmol/l en competidores de ultramaratón.

Noakes *et al.* (1990) encontraron que algunos deportistas en pruebas de *ultra-endurance* presentaban cuadros de hiponatremia a niveles muy bajos, entre 117 mmol/l y 128 mmol/l. Por último Gastmann *et al.* (1998), al monitorizar en 9 deportistas un conjunto de elementos plasmáticos en una prueba de ultra-triatlón (7,5 Km. de natación; 360 Km. ciclismo; 85 Km. de carrera), encontraron varios cuadros de hiponatremia al fin de la prueba, con valores medios de $133 \pm 3,6$ mmol/l en comparación con los valores de inicio $138 \pm 3,7$ mmol/l.

Otra posibilidad de desarrollar una hiponatremia es la realización de una actividad de larga duración, tipo ultramaratón (6-8 horas), en la que el deportista ingiere una gran cantidad de agua sin Na^+ . Este hecho en realidad baja los niveles de Na^+ en el medio plasmático por exceso de agua, el cual se encuentra ya disminuido por la pérdida debida a la formación de sudor, porque 1 litro de sudor contiene generalmente 50 mmol/l de Na^+ (Armstrong *et al.*, 1993). Noakes *et al.* (1985) y Hiller *et al.* (1985) presentan ejemplos de este proceso al observar bajos índices de sodio (habiendo necesidad de tratamiento hospitalario) en deportistas que consumieron agua y otras soluciones sin electrolitos durante competiciones de larga duración.

Otro supuesto tiene que ver con el equilibrio osmótico intestinal. El consumo de grandes cantidades de agua puede ocasionar un desplazamiento de sodio del medio extracelular hacia el intestino, en la tentativa de equilibrar la osmolaridad intestinal. Esto producirá una aceleración en la reducción de la tasa de sodio plasmático (Irving *et al.*, 1991).

También se considera como situación de riesgo para que se presente un cuadro de hiponatremia, el que el deportista inicie el ejercicio teniendo ya una deficiencia de este electrolito, debido a una dieta desequilibrada sin, o con cantidad insuficiente de sal (Murray, 1987).

Amat (1998) destaca que la cantidad de sal mínima que debe ser consumida por un deportista corresponde a un valor proporcional al consumo calórico, de manera que por cada 1.000 Kcal de alimento ingerido se recomienda un consumo mínimo de 1.000 mg de sal. Es importante destacar que se puede incrementar este consumo en situaciones de mayor pérdida de este electrolito.

El nivel de aptitud física y aclimatación también parece influir en la predisposición a sufrir una hiponatremia, pues en una persona no entrenada la cantidad de Na^+ perdido por el sudor es mayor, pudiendo llegar hasta 100 mmol/l, mientras que en personas entrenadas y aclimatadas puede tener valores de alrededor de apenas 10 mmol/l (Altman y Dittmer, 1971 apud Murray, 1987; McArdle *et al.*, 1998). En la práctica se puede esperar una pérdida de entre 0,5 y 2 gramos de sodio por litro de sudor (Amat, 1998).

También se consideran factores predisponentes para desarrollar un cuadro de hiponatremia la administración de ciertos tipos de diuréticos (muy comunes entre los luchadores), los barbitúricos, el alcohol e incluso un fallo en la secreción de la hormona ADH (Arieff *et al.*, 1976; Arieff y Guisado, 1976; Baylis, 1980; Goldberger, 1981).

El cuadro de hiponatremia presenta señales típicas que pueden ser divididas en tres grupos: a) señales generales; b) señales en la piel y c) señales cardiovasculares (Amat, 1998). Las señales generales incluyen vómitos, debilidad, espasmos abdominales y dolor de cabeza, y en condiciones agudas confusión mental, delirio, alucinaciones e incluso coma. Las señales de la piel, pérdida de elasticidad y turgencia. Las señales cardiovasculares incluyen disminución del volumen de sangre circulante, hipotensión ortostática, taquicardia, extremidades frías, temperatura corporal inferior a lo normal y piel fría y húmeda.

Un ejemplo de hiponatremia grave es el que ocurrió en el Maratón de Chicago (EEUU) de 1998, en el que se produjo la muerte de una corredora de 43 años que participaba en su segundo maratón. Según la autopsia, se consideró como causa de la

muerte la presencia de arterias coronarias estrechas de nacimiento y un cuadro de hiponatremia producido por un elevado consumo de agua y pérdida de sales minerales (Romo, 1998).

La gravedad de un cuadro de hiponatremia se demuestra por su índice de mortalidad, que está alrededor del 50 %, y la hace muy peligrosa (Baylis, 1980).

Ingestión de sodio en los deportistas

El consumo diario recomendado por el NRC (1989) para una persona normal es de 500 mg de sodio (aproximadamente 1,2g o menos de sal de cocina). Estos valores se obtienen fácilmente a través de la dieta en la mayoría de las personas normales. Haymes (1991) informa que en la dieta americana los hombres consumen cantidades de 2.922 mg/día de sodio, y las mujeres 2.060 mg/día. Armstrong *et al.*, (1987) comunicaron que una dieta normal difícilmente proporciona deficiencias en sodio a la gran mayoría de deportistas y militares. Estudios realizados por Khoo *et al.* (1987), Weight *et al.*, (1988) Nieman *et al.* (1989) demostraron que los deportistas de triatlón y maratón (hombres y mujeres) presentan una variación de consumo de sodio de entre 2.260-4.425 mg/día siendo más que suficiente para cubrir sus necesidades diarias de este electrolito.

En un estudio nutricional en 84 deportistas de élite españoles, el consumo de sodio fue también superior al recomendado. Los valores encontrados para el colectivo de karatecas ($n = 19$), balonmano ($n = 20$), baloncesto ($n = 20$) y corredoras de media y larga distancia ($n = 25$) fueron de $1496,5 \pm 396$ mg, $1948 \pm 680,3$ mg, $1967,9 \pm 578,6$ mg y $1592,2 \pm 550,5$ mg respectivamente (Mateo *et al.*, 1999).

Sin embargo, para un atleta que tenga una producción de sudor muy intensa, se recomienda un ligero aumento en la cantidad de consumo diaria, pudiendo llegar fácilmente de 4-6g de sal al día (Cipolla *et al.*, 1995). Un buen ejemplo de esto fue el presentado por Bergeron, (1996) en su estudio sobre un jugador de tenis con una pérdida de sudor de 2,5 litros por hora durante los parti-

dos, lo que representaba una pérdida próxima a 90 mmol/l de Na⁺ cada hora. Su dieta tuvo que contener entre 15 y 20 g/día de cloruro de sodio (NaCl) para poner fin a los calambres musculares que aparecían con una dieta de 5-10 g/día de cloruro de sodio.

Algunos estudios de acompañamiento dietético apuntan que el aumento del contenido de sal en la dieta ocurre de manera insintiva en algunos deportistas, que tienden a salar un poco más sus comidas cuando presentan grandes pérdidas de Na⁺ por el sudor (Katch y McArdle, 1996).

Como cualquier otra persona, el deportista tendrá que reponer el sodio, pero deben destacarse algunas particularidades. La primera, que la cantidad de sal durante las comidas sea adecuada; y la segunda, que este electrolito esté presente en las bebidas que los deportistas deben consumir durante su entrenamiento o en las competiciones.

El sodio en las bebidas de reposición hidroelectrolíticas

Durante la realización de los ejercicios se recomienda añadir a la solución hidratante una cantidad de 0,5-0,7g de Na⁺/l, siempre que el tiempo de ejercicio supere los 60 minutos (ACSM, 1996).

Wilk y Bar-Or, (1996) y Maughan *et al.* (1996_a) destacan la importancia de incluir sodio en la composición de la solución carbohidratada suministrada al deportista, debido a que mejora la rehidratación y proporciona un mejor equilibrio de los fluidos corporales. Murray, (1998) añade que la inclusión de sodio en las soluciones hidratantes podrá prevenir los calambres musculares. Por su parte Noakes, (1993) informa de que el sodio en estas soluciones favorece la reducción de producción de orina.

Gisolfi (1994) afirma que la presencia de Na⁺ en las bebidas carbohidratadas es importante porque: a) mejora la palatabilidad de las soluciones; b) mejora el mecanismo de co-transporte de la molécula de glucosa a nivel intestinal, aumentando la velocidad de absorción; c) contribuye al mantenimiento de la osmolaridad plasmática;

d) evita la presencia de un cuadro de hiponatremia. En esta misma dirección Shirreffs, (1998) considera la inclusión del sodio en las bebidas carbohidratadas como un elemento para aumentar el consumo "ad libitum" por parte del deportista.

Shephard (1988) opina que existe un aspecto negativo provocado por la presencia de sodio en la solución hidratante, pues ésta actúa aumentando la osmolaridad de la solución hidratante carbohidratada, y produce un retardo en el vaciamiento gástrico, lo que a su vez retarda la hidratación. Esta postura también es defendida por Brouns (1998), pero aclara que el retraso en el vaciamiento gástrico solamente sucede cuando la concentración de sodio es elevada, por tanto advierte de que el hecho de que las bebidas carbohidratadas no tengan normalmente ninguna limitación en cuanto a su contenido en concentraciones de sodio no es lo más recomendable.

Estudios desarrollados por Criswell *et al.* (1992) y Deuster *et al.* (1992) indican que no hay perjuicio en la velocidad de vaciamiento gástrico cuando la solución hidratante tiene menos de 50 mmol/l de Na⁺. Mack (1998) considera una concentración de 25 mmol/l como ideal para reponer el sodio perdido, además de que así se consigue una respuesta excelente a la palatabilidad del producto. Sobre este punto Gisolfi y Duchman (1992) proponen una concentración de sodio diferente según el tiempo de duración de la prueba. En competiciones de 1 y 3 horas la recomendación es de 10-20 mmol/l, y en pruebas de más de 3 horas la recomendación pasa a ser de 20-30 mmol/l.

Villegas (1998) afirma que la preocupación por la reposición del sodio debería ser mayor cuando hay una ingestión líquida superior a los 4-5 litros, recomendando en este caso una solución a 0,1 % o 1 g de sal/l. Sin embargo, después, el mismo Villegas (1999), basándose en la posición de otros autores, añade a la situación anterior que dicha ingestión líquida se produzca en ambientes calurosos de 37-38° C., con una intensidad de ejercicio al 50-60 % VO_{2máx}, y de esta forma se provoque una pérdida de peso por sudor del 3 %.

PRODUCTO	CONCENTRACIÓN de Na ⁺ mg/100 ml
Gatorade®	41
Isostar®	69
Aquarius®	22
Energade®	31,8
Isogold®	2,4
Biosolan®	40
Purdey's®	4

Cuadro 1. Soluciones hidratantes y su contenido en sodio. (Fuente: tabla de composición de los productos.)

En el mercado español se comercializan varios tipos de soluciones hidratantes que presentan diferencias en las concentraciones de sodio. En el cuadro 1 se exponen las concentraciones de algunos de estos productos.

Potasio

Los valores de normalidad del potasio plasmático están comprendidos entre 3,5-5 mmol/l (Pardo y Vázquez, 1995). El potasio presente en el sudor tiene como rango de normalidad de 2,7-6,8 mmol/l según Shirreffs y Maughan (1997). Sin embargo, hay registros de entre 1-21 mmol/l, según una revisión sobre el tema publicada por Verde *et al.* (1982).

Las alteraciones del nivel de potasio plasmático se denominan hipocalcemia, si el valor de potasio está por debajo del rango de normalidad, o hipercalemia si los valores son superiores.

No es frecuente que se produzcan grandes alteraciones en los niveles de potasio plasmático, de manera que este electrolito presenta un comportamiento más estable que el sodio, debido a que se encuentra principalmente en el medio intracelular. Este tipo de comportamiento es el esperado y ha sido confirmado por un gran número de investigadores (Farber *et al.*, 1991; González-Alonso *et al.*, 1992; Deuster *et al.*, 1992; Millard-Stafford *et al.*, 1992).

Greive *et al.* (1998), al estudiar el efecto de la deshidratación del 4 % del peso corporal por sudoración en una sauna, no encontró diferencias significativas en los valores de potasio plasmático.

Hipercalemia durante la actividad física

Algunos investigadores relatan que durante actividades de larga duración, el potasio tiende a presentar pequeños incrementos en sus niveles plasmáticos, sin embargo, no supera el rango de normalidad. Los trabajos de Mateo *et al.* (1993) así lo demuestran. Después de realizar un seguimiento de este electrolito antes ($4,86 \pm 0,34$ mmol/l) y después ($5,12 \pm 0,45$ mmol/l) de una carrera de maratón en nueve corredores, se observó una tendencia a la elevación, pero el hecho no fue considerado estadísticamente significativo. Zamora *et al.* (1992) obtuvieron resultados semejantes y encontraron valores de potasio en reposo de 4,2 mmol/l y 4,75 mmol/l después de una prueba de maratón.

Las situaciones de hipercalemia asociadas a la práctica de ejercicios físicos son extremadamente raras. Sin embargo, es posible que aparezca una hipercalemia tras una combinación de factores: a) consumo excesivo de potasio; b) deshidratación aguda; c) algún tipo de lesión muscular; lo que puede producir un aumento del potasio plasmático a niveles peligrosos, poniendo en riesgo la vida del deportista (Pivarnik y Palmer, 1996). Mena *et al.* (1988) confirmaron estos hechos después de estudiar a 15 ciclistas durante una competición de 500 Km realizados en 4 días. Registraron que el nivel de potasio inicial era de 4,37 mmol/l, y de 9,55 mmol/l al final del último día de competición.

Pastene *et al.* (1996), al controlar un conjunto de parámetros sanguíneos en 6 corredores durante un maratón, encontraron valores normales de $4,8 \pm 0,6$ mmol/l de potasio antes de la prueba, y situaciones de hipercalemia con valores medios de $5,5 \pm 0,6$ mmol/l después de la prueba, siendo considerada esta elevación estadísticamente significativa.

Rotellar, (1996) propone valores de 4,5-6 mmol/l como hipercalemia leve, 6-7 mmol/l muy grave, y valores mayores de 7 mmol/l muy grave. Las señales que caracterizan una hipercalemia incluyen: 1) reducción de la fuerza muscular; 2) reducción de la frecuencia cardíaca y 3) alteraciones en el ECG (Guyton, 1992).

El trazado electrocardiográfico constituye una de las mejores formas de identificar si el potasio sérico está alterado. Durán, (1995) comenta que la alteración del ECG que consista en la modificación del trazo de la onda T con apariencia de "picuda", es característica de concentraciones de 6,5 mmol/l. A niveles superiores de 7-8 mmol/l el intervalo entre P-R se prolonga. Con valores superiores a 8 mmol/l las ondas QRS pueden converger con la onda T y formar una onda sinuosa.

Uno de los principales problemas de la hipercalemia y el ejercicio físico es la parálisis muscular. Esto ocurre por una alteración en la diferencia del potencial de acción ideal entre las superficies interna y externa de la membrana de la fibra muscular, que es responsable de que ocurra la propagación del estímulo nervioso (Goldberger, 1978).

Hipocalemia durante la actividad física

Shephard (1988) publicó que no son frecuentes los registros de hipocalemia, teniendo en cuenta que la reposición de este electrolito es suficiente con una dieta equilibrada. Sin embargo, destaca que en condiciones de "stress" acumulativos donde el deportista se encuentra sometido durante varios días a una pérdida hídrica intensa, es posible encontrar descensos en el nivel de potasio. Por el contrario, Zamora *et al.* (1992) destacan que alrededor del 20-30 % de los deportistas presentan un cuadro de hipocalemia tras 4 horas de haber participado en un entrenamiento intenso si no se repone adecuadamente este mineral. Frizzel *et al.* (1986) relatan el caso de dos maratonianos que después de correr 100 y 80 km, ingiriendo el primero aproximadamente 20 litros (120 ml de solución con glucosa y electrolitos más 120 ml de cola

por estación) y el segundo 24 litros (120 ml de agua y 120 ml de una solución de glucosa y electrolitos), presentaron valores de potasio plasmáticos de 3,6 y 3,8 mmol/l respectivamente.

Costill (1988) expuso que incluso una reducción pequeña en los niveles de potasio solamente se producirá a partir de una deshidratación de aproximadamente el 6 % del peso corporal. El mismo autor declara que corredores de ultramaratón y maratón, con medias diarias de entre 40 km y 20 km de entrenamiento en ambientes calurosos, no presentaban deficiencias en los niveles de potasio y otros minerales, de lo que concluye así la dificultad de que este ión se reduzca a niveles peligrosos.

Whithing *et al.* (1984) observaron una tendencia a la reducción de potasio plasmático tras controlar a un grupo de deportistas antes y después de una prueba de maratón en un ambiente frío.

Gastmann *et al.* (1998), al controlar un conjunto de parámetros sanguíneos en 9 deportistas que participaron en una prueba de ultra-triatlón (7,5 Km. de natación, 360 Km. de ciclismo y 85 Km. de carrera), con un tiempo de prueba entre 23:38:53 y 27:54:30 (h:min:seg), encontraron concentraciones de potasio de $4,4 \pm 0,3$ mmol/l en reposo y $4,1 \pm 0,3$ mmol/l al final de las pruebas. Las diferencias no se consideraron significativas, ya que los niveles se mantuvieron dentro del rango de normalidad. La participación en pruebas de tan larga duración impone entrenamientos largos y agotadores, por eso Kreider (1991) comenta que situaciones como éstas, teniendo en cuenta que causan una gran producción de sudor, podrán provocar un cuadro de hipocalemia.

Durán (1995) comenta que los corredores de larga distancia pueden presentar un cuadro de hipocalemia crónica, causado por un mecanismo de redistribución del potasio hacia el espacio intracelular. El mismo autor destaca que el uso de la mayoría de diuréticos también produce una situación de hipocalemia, muy frecuente entre los luchadores. Este efecto de los diuréticos también ha sido destacado por Haymes, (1991).

Rotellar, (1996) propone valores de 3,5-3 mmol/l como hipocalcemia leve, 3-2,5 mmol/l grave, y valores inferiores a 2,5 mmol/l muy grave.

La hipocalcemia produce un conjunto de síntomas tales como: anorexia, mareos, vómitos, distensión abdominal, debilidad muscular, disminución o ausencia de reflejos profundos y depresión mental. También puede producir nictúria, poliúria, poli-dipsia, además de modificaciones en el ECG. Las señales neurológicas no son bien detectadas cuando los niveles de potasio llegan a 2,5 mmol/l.

Las alteraciones electrocardiográficas más frecuentes registradas en una situación de hipocalcemia incluyen el aplanamiento de las ondas T y la aparición de ondas U (Durán, 1995). Por último, Haymes (1991) informa de que en condiciones de hipocalcemia aumenta la posibilidad de que se produzca un golpe de calor.

Ingestión de potasio en los deportistas

Una deficiencia de potasio originada por un consumo inadecuado es muy rara en sujetos sanos que tengan una dieta equilibrada, ya que la presencia de este electrolito es notable en los alimentos, siendo los requerimientos de una persona adulta de entre 1,6 y 2 g/día (Whitmire, 1998). Lane *et al.* (1978) y posteriormente Costill *et al.* (1982) publicaron que el nivel de ingestión ideal de potasio se obtiene con una dieta equilibrada incluso en deportistas. Los mismos autores señalan que un vaso de zumo de naranja o tomate repone la cantidad de potasio perdido en 3 litros de sudor.

Bean (1998) recomienda que el consumo diario de potasio deberá ser en torno a los 3,5 gramos, aunque puede aumentarse. Por otro lado Lane y Cerda, (1978) destacan que el consumo de potasio no debe ser superior a 10 gramos al día, pues provocará la aparición de un cuadro de hipercalemia. Los mismos autores recomiendan prestar más atención al consumo de potasio en las siguientes situaciones; a) una gran ingestión de sal (más de 10 g por día); b) individuos que presentan cuadros de calambres fre-

cuentos o golpes de calor; c) problemas dietéticos con inadecuado consumo de frutas, legumbres y verduras, d) gran producción de sudor con pérdida superior a 2 Kg de peso corporal al día.

Al desarrollar un estudio nutricional en 84 mujeres deportistas españolas de elite, Mateo *et al.* (1999) encontraron que las deportistas consumían al día más potasio del recomendado por NRC (1989) de 2.000 mg/día. Los valores encontrados fueron de $2714,3 \pm 853,2$ mg/día para un colectivo de 19 karatecas, $2.750 \pm 722,9$ mg/día para 20 jugadoras de balonmano, $3.047,8 \pm 693,7$ mg/día para 20 jugadoras de baloncesto, y $3.005,5 \pm 835,6$ mg/día para 25 corredoras de media y larga distancia. A pesar del elevado consumo de potasio, los valores sanguíneos se mantuvieron dentro del rango de normalidad.

Costill *et al.* (1982), al estudiar el equilibrio del potasio en relación con un ejercicio con producción de sudor de 3 litros y un consumo de 3 g/día de K, encontraron que éste era positivo. Sin embargo, al bajar el consumo a 2 g/día hubo reducción en la orina, sudor y heces.

Según las observaciones de Zamora *et al.* (1992) el consumo de potasio en la dieta de un deportista permite que se den las condiciones ideales de acción de algunas enzimas, tales como la piruvatocinasa y la 3-fosfoglicerato cinasa que están implicadas en la obtención de energía. Los mismos autores informan que el desarrollo muscular propio de los deportistas exige un mayor consumo de este mineral que el que necesitaría un sujeto sedentario. Además, este hecho también se justifica por el mayor consumo de sodio y la elevada pérdida de líquidos por sudor en los deportistas.

El potasio en las bebidas de reposición hidroelectrolíticas

La presencia del potasio en las soluciones hidratantes comerciales ofrecidas a los deportistas tiene como principal objetivo ayudar a la retención del agua intracelular, además de reponer la cantidad de potasio perdido por el sudor (Nadel *et al.*, 1990 apud Maughan *et al.*, 1996).

SOLUCIÓN HIDRATANTE	CONTENIDO DE POTASIO mg/100 ml
Gatorade®	11,7
Isostar®	18
Aquarius®	2,2
Energade®	2,4
Isogold®	2,2

Cuadro 2. Soluciones hidratantes y su contenido en potasio. (Fuente: tabla de composición analítica de los productos.)

Amat (1998) no considera importante la inclusión de potasio en las bebidas isotónicas que se ofrecen a los deportistas. Son de la misma opinión Sawka *et al.* (1998) que consideran de importancia menor el reponer este electrolito. En esta misma dirección Gisolfo y Duchman (1992), en un trabajo de revisión sobre una guía ideal para reposición hídrica, no indican la necesidad de incluir potasio en la composición de un isotónico.

Villegas, (1999) expone las observaciones de algunos autores que apuntan que la presencia de potasio en soluciones hidratantes puede causar un retraso en el vaciamiento gástrico, afectando así negativamente a la velocidad de hidratación.

Villegas *et al.* (1995) comunican que hay que prestar atención a las concentraciones de potasio presente en las soluciones, pues una concentración elevada puede producir un cuadro de hipercalemia en el deportista. En situaciones en las que sea necesario incluir potasio en la solución, es recomendable que éste no exceda la cantidad de 10 mmol/l.

En el cuadro 2 se muestra un listado de las soluciones hidratantes comerciales ofrecidas a los deportistas por el mercado español y las respectivas cantidades en contenido de potasio.

Conclusiones

Tomando por base los datos presentados en este artículo es posible establecer las siguientes conclusiones:

- Los cuadros de hiponatremia no son frecuentes en los deportistas de manera general. Para que pueda suceder es necesario que ocurra un largo período de ejercicio, normalmente superior a las 4 horas de actividad, con una ingestión de grandes cantidades de agua sin la presencia del sodio y con una cierta carencia del consumo de este mineral en la dieta.
- La mayor parte de las actividades físicas no llegan a proporcionar una alteración del nivel del sodio plasmático fuera del rango de normalidad.
- Casos de hipernatremia solamente pueden suceder en el caso de que el deportista no consumir líquidos durante el ejercicio y, además, consuma tabletas de sal, siendo esta acción totalmente desaconsejada.
- El consumo diario de sodio y potasio por parte de los deportistas, normalmente esta dentro de lo recomendado.
- Se considera como positiva la presencia del sodio en las bebidas de reposición hidroelectrolíticas.
- Cuadros de hipocalemia son raros en el deporte, pero puede suceder, en casos de una elevada producción de sudor estando probablemente asociado a una carencia de consumo de este mineral en la dieta.
- La respuesta más frecuente del potasio plasmático esta relacionada con un aumento de su concentración de forma significativa.
- No existe un consenso acerca de la necesidad de que las bebidas de reposición hidroelectrolíticas, contengan potasio. Por lo contrario parece criticable que se ofrezcan a las deportistas soluciones que contengan concentraciones elevadas de potasio.

Bibliografía

AMAT, O. (1998). *Nutrición, salud y rendimiento deportivo*. (2º ed). Barcelona: Espaxs.

AMERICAN COLLEGE SPORTS MEDICINE, (1996), "Exercise and fluid replacement-Position Stand". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, vol. 28, n.º 1, pp. 1-6.

ARIEFF, A. I. y GUIASADO, R. (1976), "Effects on the central nervous system of hypernatremic and

hyponatremic states". *Kidney International*. n.º 10, pp. 104-116.

ARIEFF, A. I.; LLACH, F. y MASSRY, S. G. (1976), "Neurological manifestation and morbidity of hyponatremia: correlation with brain water and electrolytes." *Medicine*. n.º 55, vol. 2, pp. 121-129.

ARMSTRONG, L. E.; COSTILL, D. L. y FINK, W. J. (1987), "Changes in body water and electrolytes during heat acclimation: effects of dietary sodium". *Aviat. Space Environ. Med.* n.º 58, pp. 143-148.

ARMSTRONG, L. E.; CURTIS, W. C.; HUBBARD, R. W. FRANCESCONI, R. P.; MOORE, R. y ASKEN, E. W. (1993), "Syntomatic hyponatremia during prolonged exercise in heat." *Medicine and Sports Science and Exercise*, n.º 25, pp. 543-549.

BAYLIS, P. H. (1980), "Hyponatremia and hypernatremia". *Clinics in Endocrinology and Metabolism*, n.º 9, vol. 3, pp. 625-637.

BEAN, A. (1998), *La guía completa de la nutrición del deportista*. Barcelona: Paidotribo

BEGERON, M. Y. (1996), "Heat cramps during tennis: a case report." *International Journal Sports Nutrition*. n.º 6, pp. 62-68.

BROUNS, F. (1998), "Gastric emptying as a regulatory factor in fluid uptake". *International Journal Sports Medicine*. vol. 19, pp. 125-128.

CIPOLLA, M.; RICCIARDI, L. y PATRINI, C. (1995), "Equilibrio hídrico-salínico en el deporte. I. El Agua." *Archivos de Medicina del Deporte*. vol. xi, n.º 44, pp. 383-389.

COSTILL, D. L.; COTE, R. y FINK, W. J. (1982), "Dietary potassium and heavy exercise: effects on muscle water electrolytes". *Am. Journal Clin. Nutrition*. vol. 36, pp. 266-275

COSTILL, D. L. (1988), *Nutrición y Dietética*. En A. Dirix, H. G. Knuttgen y K. Tittel, K. (Eds.) *Libro olímpico de la Medicina Deportiva*. Barcelona: Doyna.

CRISWELL, D.; RENSHER, K.; POWERS, S. K.; TULLEY, R.; CICALA, M. y WHEELER, K. (1992), "Fluid replacement beverages and maintenance of plasma volume during exercise: role of aldosterone and vasopressin." *European Journal Applied Physiology*. n.º 65, pp. 445-451.

DEUSTER, P. A.; SINGH, A.; HOFMANN, A.; MOSES, F. M. y CHROUSOS, G. C. (1992), "Hormonal responses to ingesting water or a carbohydrate beverage during a 2 h run." *Medicine and Sports Science and Exercise*, n.º 24, pp. 72-79.

DURÁN, J. M. (1995), "Alteraciones del metabolismo del potasio", C. Rozman (ed.), *Medicina Interna*. Madrid: Mosby-Doyma Libros.

FARBER, H. W.; SCHEFER, E. J.; FRANEY, R.; GRIMALDI, R. y HILL, N. (1991), "The endurance triathlon: metabolic changes after each event and during recovery." *Medicine and Science Sports Exercise*. vol. 23, pp. 959-965.

FRIZZEL, R.; LANG, G.; LOWANCE, D. y LATHAN, S. (1986), "Hyponatremia and ultramarathon running." *Journal of the American Medical Association*, n.º 255, pp. 772-774.

GASTMANN, U.; DIMEO, F.; HUONKER, M.; BÖCKER, J.; STEINACKER, J. M.; PETERSEN, K. G.; WIELAND, H.; KEUL, J. y LEHMANN, M. (1998), "Ultra-triathlon-related blood-chemical and endocrinological responses in nine athletes." *Journal Sports Medicine Phys Fitness*, n.º 38, pp. 18-23.

GISOLFI, C. y DUCHMAN, S. (1992), "Guideline for optimal replacement beverages for different athletic event". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, vol. 24, n.º 6, pp. 679-687.

GISOLFI, C. (1994), "Ejercicio, absorción intestinal y rehidratación del deporte". *Archivos de Medicina del Deporte*, vol. X, n.º 42, pp. 195-200.

GOLDBERGER, E. (1978), *Alterações do equilíbrio hídrico, eletrólitos e ácido bórico*. Rio de Janeiro: Guanabara.

GOLDBERGER, M. (1981), "Hyponatremia". *Medical Clinics of North America*, n.º 65, vol. 2, pp. 251-269.

GONZÁLEZ-ALONSO, J.; HEAPS, C. y COYLE, E. (1992), "Rehydration after exercise with common beverages and water". *International Journal Sports Medicine*, vol. 13, n.º 5, pp. 399-406.

GREIWE, J. S.; STAFFEY, K. S.; MELROSE, D. R.; NARVE, M. D. y KNOWLTON, R. G. (1998), "Effects of dehydration on isometric muscular strength and endurance." *Medicine and Science Sports Exercise*, vol. 30, n.º 2, pp. 284-288

GUYTON, A. (1992), *Tratado de fisiología médica*. Rio de Janeiro: Guanabara.

HAYMES, E. M. (1991), "Vitamin and mineral supplementation to athletes". *International Journal of Sports Nutrition*, n.º 1, pp. 146-169.

HILLER, W. D.; O'TOOLE, M.; MASSIMINO, F.; HILLER, R. y LAIRD, R. (1985), "Plasma electrolyte and glucose change during Hawaiian Ironman Triathlon". (Abstract). *Medicine and Science in Sports and Exercise*, vol. 17, n.º 4, pp. 219.

HILLER, W.; O'TOOLE, M.; FORTES, E.; LAIRD, R.; IMBERT, P. y SISK, T. (1987), "Medical and physiological considerations in triatlons." *American Journal Sports Medicine*, vol. 15, n.º 2, pp. 164-167.

IRVING, R. A. et al., (1991), "Evaluation of renal function and fluid homeostasis during recovery from exercise hyponatremia". *Journal Applied Physiology*, n.º 70, pp. 342.

KATCH, F. y MCARDLE, W. (1996), *Nutrição, exercício e saúde*. Rio de Janeiro: MEDSI.

KHOO, C. S.; RAWSON, N. E.; ROBINSON, M. L. y STEVENSON, R. J. (1987), "Nutrient intake and eating habits of triathletes". *Ann. Sports Medicine*, n.º 3, pp. 144-150.

KREIDER, R. B. (1991), "Physiological considerations of ultraendurance performance". *International Journal of Sport Nutrition*, vol. 1, pp. 3-27.

- LANE, H. W. et al. (1978), "Effect of physical activity on human potassium metabolism in a hot and humid environment". *Am. Journal Clin. Nutrition*, n.º 31, pp. 838.
- LANE, H. y CERDA, J. (1978), "Potassium requirements and exercise." *Journal American Diet. Association*, vol. 73, pp. 64.
- MACK, G. (1998), "Recovery after exercise in the heat-factors influencing fluid intake". *International Journal Sports Medicine*, vol. 19, pp. s139-s141.
- MARINS, J. (1997), "Influencia da hidratação (solução carboidratada durante um exercício submáximo". Congresso AISEP- Universidade Gama Filho-Rio de Janeiro.
- MATEO, R.; LAÍNEZ, M.; MANSO, J.; LARIO, M. y SORIA, A. (1993), "Efectos de una carrera de maratón sobre los parámetros hematológicos, minerales y elementos traza". *Archivos de Medicina del Deporte*, vol. 10, n.º 40, pp. 413-420.
- MATEO, R.; LAÍNEZ, M.; ROBINSON, M. y OLTRA, M. (1999), "Estudio nutricional en mujeres deportistas de elite (I). Energía, principios inmediatos y macrominerales". *Archivos de Medicina del Deporte*, vol. XVI, n.º 69, pp. 15-27.
- MAUGHAN, R.; LEIPER, J. B. y SHIRREFFS, S. M. (1996a), "Rehydration and recovery after exercise". *Sports Science Exchange. Gatorade Sports Science Institute*, vol. 9, n.º 3, pp. 1-6.
- (1996b), "Restoration of fluid balance after exercise-induced dehydration: effects of food and fluid intake". *European Journal Applied Physiology*, n.º 73, pp. 317-325.
- MCARDLE, W.; KATCH, F. y KATCH, V. (1998). *Fisiología do exercício: Energia, nutrição e desempenho humano*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- MENA, P.; MAYNAR, M.; GUTIÉRREZ, J. y CAMPILLO, J. (1988), "Fisiología metabólica de la vuelta ciclista a Extremadura". *Archivos de Medicina del Deporte*, vol. 5, n.º 18, pp. 233-236.
- MILLARD, STAFFORD, M.; SARLING, P.; ROSSKOPF, L. y DICARLO, L. (1992), "Carbohydrate-electrolyte replacement improves distance running performance in the heat". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, vol. 24, n.º 8, pp. 934-940.
- MURRAY, R. (1987), "The effects of consuming carbohydrate-electrolytes beverages on gastric emptying and fluid absorption during and following exercise". *Sports Medicine*, n.º 4, pp. 322-351.
- (1998), "Rehydration strategies-balancing substrate, fluid, and electrolyte provision." *International Journal Sports Medicine*, vol. 19, pp. s133-135.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL-NRC (1989), *Recommend dietary allowances (10 th ed.)* Washington D.C.: National Academy Press
- NELSON, P.; ROBINSON, A.; KAPOOR, W. y RINALDO, J. (1986), "Hyponatremia in a marathoner". *Physician Sportsmedicine*, vol. 16, pp. 78-87.
- NIEMAN, D. C.; BUTLER, J. V.; POLLET, L. M.; DIETRICH, S. J. y LUTZ, R. D. (1989), "Nutrient intake of marathon runners". *J. Am. Diet. Assoc.* n.º 89, pp. 1273-1278.
- NOAKES, T.; GOODWIN, N.; RAYNER, B.; BRANKENT, T. y TAYLOR, R. (1985), "Water intoxication: a possible complication during endurance exercise". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, vol. 17, n.º 3, pp. 370-375.
- NOAKES, T.; NORMAN, R.; BUCK, R.; GODLONTON, J. STEVENSON, K. y PITTAWAY, D. (1990), "The incidence of hyponatremia during prolonged ultra-endurance exercise". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, vol. 22, pp. 165-170.
- NOAKES, T. (1993), Fluid replacement during exercise. In: Holloszy, J. (ed.), *Exercise and sports sciences reviews*. vol. 21. Baltimore: Williams & Wilkins.
- PARDO, E. y VÁZQUEZ, C. (1995), *Nomenclator de Laboratório Clínico*. Madrid: Interamericana McGraw-Hill.
- PASTENE, J. GERMAIN, M. ALLEVAR, A. M.; GHARIB, C. y LACOUR, J. R. (1996), "Water balance during and after marathon running". *European Journal Applied Physiology*, n.º 73, pp. 49-55.
- PIVARNIK, J. M. y PALMER, R. A. (1996), Balanço hidroeletrólítico durante o repouso e o exercício. In: I. Wolinsky, y J. Hijkson, (Eds), *Nutrição no exercício e no esporte*. Sao Paulo: Roca.
- ROMO, I. (1998), "Cuidado con beber sólo agua." *Corricolari*. n.º 147, pp. 54-55.
- ROTELLAR, E. (1996), *ABC das alterações hidroeletrólíticas e ácido base*. Rio de Janeiro.
- SAWKA, M.; LATZKA, W.; MATTOT, R. y MONTAIN, S. (1998), "Hydration effects on temperature regulation". *International Journal Sports Medicine*, vol. 19, pp. s108-110.
- SHEPARD, R. (1988), "Calor", En A. Dirix; H. Knuttgen; K. Tittel, (Ed.) *Libro Olímpico de la Medicina Deportiva*. Barcelona: Doyna.
- SHIRREFFS, S. y MAUGHAN, R. (1997), "Whole body sweat collection in humans: an improved method with preliminary data on electrolyte content". *Journal Applied Physiology*. vol. 82, n.º 1, pp. 336-341.
- SHIRREFFS, S. (1998), "Effects of ingestion of carbohydrate-electrolyte solutions on exercise performance". *International Journal Sports Medicine*, vol. 19, pp. s117-s120
- STROMME, S.; GULLESTAD, R.; MEEN, H.; REFSUM, H. y KROG, J. (1976), "Serum sodium and calcium and body temperature during prolonged exercise". *Journal Sports Medicine*, vol. 16, pp. 91-97.
- VEA, A. M. y RABASA, A. T. (1995), "Alteraciones del metabolismo hidrosalino". En Rozman (ed.), *Medicina Interna*. Madrid: Mosby/Doyma Libros.
- VERDE, T.; SHEPARD, R.; COREY, P. y MOORE, R. (1982), "Sweat composition in exercise and in heat." *Journal Applied Physiology*, vol. 53, n.º 6, pp. 1540-1545.
- VILLEGAS, J.; BECERRO, J.; ROCAMORA, M. y ZAMORA, S. (1995), "Termorregulación en relación con el ejercicio en ambientes cálidos". *Medicina Aeroespacial y Ambiental*, vol. 1, n.º 3, pp. 122-132, 1995.
- VILLEGAS, J. (1998), "Alimentación en deportes de especial requerimiento". En J. Gallego, y J. Vicente, (ed), *Nutrición y ayudas ergogénicas en el deporte*. Madrid: Editorial Síntesis
- (1999), *La alimentación en la actividad física y el deporte*. Murcia: UCAM.
- ZAMORA, S.; SÁNCHEZ, F.; GIL, A. y ANTONIO, J. (1992), "Nutrición e dietética en la actividad física". In: J. Gallego (Ed), *Fisiología de la actividad física y del deporte*. Madrid: McGraw-Hill.
- WALSH, R. M.; NOAKES, T. D.; HAWLEY, J. A.; DENNIIS, S. C. (1994), "Impaired high-intensity cycling performance time at how hevels of dehydration". *International Journal Sports Medicine*, vol. 15, n.º 7, pp. 392-398.
- WEIGHT, L. M.; NOAKES, T. D.; LABADARIOS, D.; GRAVES, J.; JACOBS, P. y BERMAN, P. A. (1988), "Vitamin and mineral status of trained athletes including the effects of supplementation." *Am. J. Clin. Nutrition*, n.º 47, pp. 186-191
- WHITING, P. H.; MAUGHAN, R. J. y MILLER, D. B. (1984), "Dehydration and serum biochemical changes in marathon runners", *European Journal Applied Physiological*, vol. 52, pp. 183-187.
- WHITMIRE, J. (1998), "Agua eletrólitos y equilibrio ácido-base". L. K. Mahan & S. Escott-Stanp, S. (ed.), *Nutrición y dietoterapia de Krause*. 9ª de McGraw-Hill, México.
- WILK, B. y BAR-OR, O. (1996), "Effect of drink flavor and NaCl on voluntary drinking and hydration in boys exercising in the heat". *Journal Applied Physiology*, n.º 80, pp. 1112-1117.