

Hidratación y ejercicio físico

JOSÉ M. ROSÉS^a Y PERE PUJOL^b

^aInstituto de Biometría Aplicada (BIOMET). Asesor Científico de Recuperación Electrolitos. Barcelona.

^bCap de Servei de Nutrició i Dietètica. Centre d'Alt Rendiment. Sant Cugat del Vallès. Barcelona.

RESUMEN

El agua posee propiedades térmicas ya que contribuye a mantener la temperatura corporal constante, especialmente durante la práctica de un ejercicio prolongado en un ambiente caluroso y húmedo. El sodio es el principal catión perdido por el sudor. Los autores revisan las causas y consecuencias de la pérdida debido al ejercicio: la deshidratación, la hipohidratación y la hiponatremia, así como las consecuencias, en primer lugar, la disminución del rendimiento deportivo y, en segundo lugar, el deterioro funcional de músculos y tendones. Se revisan las distintas modalidades y recomendaciones para una correcta hidratación: previa al ejercicio, durante el ejercicio y la rehidratación después del ejercicio. Se analizan las ventajas de una rehidratación postejercicio con una bebida moderadamente alta en sodio (0,15 g/100 ml) en comparación con una bebida con un bajo contenido en sodio (0,07 g/100 ml), junto con una ingesta del 150% de la pérdida de peso por deshidratación.

PALABRAS CLAVE: Sodio. Deshidratación. Hipohidratación. Hiponatremia dilucional. Rehidratación con una solución con alto y bajo contenido en sodio.

ABSTRACT

Water has thermal properties, since it helps to maintain body temperature constant, especially during prolonged physical exercise in a hot and humid environment. The main cation lost through sweat is sodium.

The authors review the causes of exercise-induced fluid loss (dehydration, hypohydration and hyponatremia) as well as its consequences (firstly, a reduction in sporting performance and secondly, muscle and tendon functional impairment). The distinct modalities and recommendations for adequate hydration before and during exercise, as well as for rehydration after exercise, are reviewed.

The advantages of postexercise rehydration with moderately high sodium-containing drinks (0.15 g/100 ml) in comparison with low sodium-containing drinks (0.07 g/100 ml), together with intake of 150% of the weight lost through dehydration, are discussed.

KEY WORDS: Sodium. Dehydration. Hypohydration. Dilutional hyponatremia. Rehydration through high and low sodium-containing sports drinks.

El agua participa en las reacciones celulares, como medio de reacción, reactivo o producto. Además, participa en el transporte de nutrientes, gases y productos de desecho metabólico. El agua posee propiedades térmicas: durante el ejercicio, a pesar de que la contracción muscular genera mucho calor, la temperatura corporal aumenta poco. La alta conductividad térmica del agua facilita un rápido transporte de calor hacia la piel logrando enfriar rápidamente el cuerpo, evaporando el sudor, eliminando vapor con el aire espirado o directamente por la piel a través de la perspiración insensible^{1,2}.

El calor metabólico generado por el ejercicio puede ser disipado para mantener la temperatura corporal dentro de los estrechos límites fisiológicos. Cuando la temperatura ambiental

excede de la temperatura de la piel, la pérdida de calor sólo puede ocurrir por la evaporación del sudor en la superficie de la piel. La producción significativa de sudor también ocurrirá en ambiente frío si la cuantía de trabajo es alta. La tasa de sudor que excede de los $2 \text{ l} \times \text{h}^{-1}$ puede mantenerse durante varias horas en personas entrenadas y aclimatadas para realizar ejercicios en ambiente caluroso y húmedo. La pérdida de masa corporal en maratonianos puede oscilar entre el 1 y el 6% (0,7-4,2 kg de masa corporal en un hombre de 70 kg) a baja temperatura ambiental (10 °C) hasta más del 8% (5,6 kg) en ambiente caluroso³.

El ejercicio prolongado en un ambiente caluroso/húmedo disminuye la capacidad de perder calor por radiación/convec-

ción y evaporación, respectivamente, ocasionando un aumento de la temperatura corporal y una mayor sudoración, produciéndose los siguientes fenómenos: *a)* disminución de la ejecución (rendimiento) del ejercicio; *b)* aumento de la temperatura corporal (hipertermia), que produce una alteración del sistema nervioso central (SNC) con la consiguiente disminución de la capacidad de ejecución motora del ejercicio; *c)* disminución del flujo sanguíneo muscular y un aumento del flujo sanguíneo cutáneo; *d)* aumento del consumo de glucógeno muscular; *e)* aumento de la producción de ácido láctico (acidosis) y *f)* fatiga muscular^{2,4}.

La aclimatación al calor (ejercicio regular en un medio caluroso) produce una serie de cambios encaminados a minimizar las alteraciones en la homeostasis debido al estrés por el calor. La aclimatación al calor trae como consecuencia las siguientes adaptaciones: un aumento del volumen plasmático (10-12%); un inicio más rápido de la sudoración, así como un aumento de la capacidad de sudoración; una disminución de la pérdida de sal (cloruro sódico) por el sudor; un aumento del flujo sanguíneo muscular junto con una disminución del flujo sanguíneo cutáneo, y, por último, un aumento de la producción de las “proteínas de estrés” que son sintetizadas en respuesta al estrés celular (calor, acidosis, etc.). Estas proteínas protegen a la célula de la agresión térmica, intervienen en el desarrollo de la termotolerancia y en la protección celular frente a las cargas de calor debido al ejercicio prolongado⁵. La completa aclimatación al calor se logra en una o dos semanas, mientras que la pérdida de la aclimatación es rápida después de unos pocos días de inactividad (falta de exposición al calor): comienza a declinar al cabo de una semana y es completa a las 4 semanas.

El intercambio libre de agua entre los compartimentos de líquido corporal asegura que el contenido de agua del sudor deriva de todos los compartimentos. La distribución está influida por la tasa de sudor, la composición del sudor y la pérdida de agua total y electrolitos. Costill et al⁶ provocaron la deshidratación en sujetos en sucesivas etapas mediante ejercicios en bicicleta y exposición al calor. A bajos niveles de pérdida de agua corporal (3%), la pérdida de agua provino en gran medida del espacio extracelular; a medida que se incrementaba la pérdida de agua, un gran porcentaje de la pérdida provenía del espacio intracelular. El largo tiempo transcurrido para alcanzar los grados más altos de pérdida de sudor provendrá de alguna redistribución del agua corporal. El sodio es el principal catión perdido por el sudor, con unas típicas pérdidas entre 40-60 mmol \times l⁻¹, comparado con la pérdida entre 4-8 mmol \times l⁻¹ de potasio. Dada la pérdida de sodio más elevada y la distribución de estos cationes entre los compartimentos de agua corporal,

es probable que la principal pérdida de agua provenga del espacio extracelular.

CAUSAS Y CONSECUENCIAS DE LA PÉRDIDA DE LÍQUIDO DEBIDA AL EJERCICIO

En la pérdida de líquido debido al ejercicio pueden darse 3 situaciones posibles.

En primer lugar, la deshidratación aparece cuando la pérdida de líquido a consecuencia del ejercicio excede la ingesta de líquido. En segundo lugar, la hipohidratación ocurre cuando se deshidratan antes del inicio de una competición debido a una restricción de la ingesta de líquido, práctica de un ejercicio de precalentamiento, uso de diuréticos o exposición a sauna. Por último, la hiponatremia aparece como resultado de la práctica de un ejercicio prolongado con abundante sudoración y una ingesta excesiva de líquido, superior a la pérdida por el sudor y la orina, o por la ingesta de líquidos con bajo contenido en sodio⁷⁻⁹.

Las consecuencias de la pérdida de líquido son básicamente dos. Por una parte hay una disminución del rendimiento deportivo. En primer lugar, está condicionado por la afectación cardiovascular, debido al aumento del trabajo cardíaco. En segundo lugar, por el deterioro funcional de músculos y tendones, debido a que el aumento de la temperatura muscular altera la estructura normal de las proteínas contráctiles y de la colágena, con riesgo de lesiones musculotendinosas. Por otra, tenemos los riesgos de la deshidratación. Así, la pérdida del 3% del peso corporal causa contracturas y calambres musculares y aumento del riesgo de lipotimia (temperatura corporal, 38 °C); la pérdida del 5% del peso corporal ocasiona un mayor riesgo de lesiones musculotendinosas (temperatura corporal, 39 °C); la pérdida del 8% del peso corporal provoca la contracción sostenida del músculo sin posibilidad de relajación (temperatura corporal > 39,5 °C); por último, la pérdida del 10% del peso corporal comporta un riesgo vital^{2,9,10}.

COMPOSICIÓN Y VOLUMEN DEL AGUA DE BEBIDA

El agua corriente no es la bebida ideal para la rehidratación postejercicio cuando se hace necesaria la restauración rápida y completa del balance de líquido y donde todo el consumo es en forma líquida. Costill y Sparks¹¹ demostraron que la ingestión de agua corriente después de la deshidratación inducida por el ejercicio del 4% de la masa corporal provocó una gran disminución de la osmolalidad plasmática seguida de una abundan-

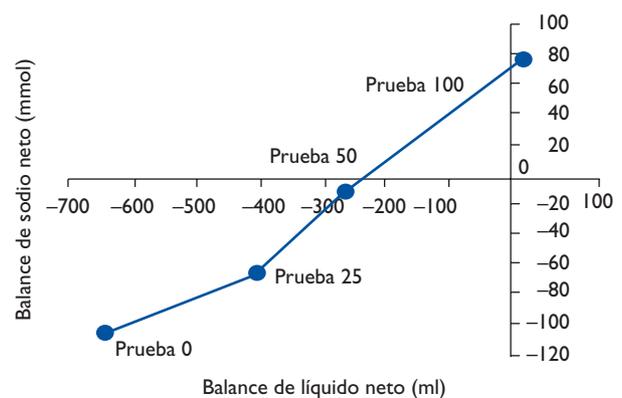
te diuresis: la elevada pérdida de agua urinaria resultó un fracaso para lograr un balance de líquido positivo al final de la cuarta hora del estudio. Sin embargo, cuando se ingirió una solución conteniendo electrolitos ($106 \text{ g} \times \text{l}^{-1}$ de carbohidratos, $22 \text{ mmol} \times \text{l}^{-1}$ de Na^+ , $2,6 \text{ mmol} \times \text{l}^{-1}$ de K^+ , $17,2 \text{ mmol} \times \text{l}^{-1}$ de Cl^-), la diuresis fue menor y el balance neto de agua se situó muy próximo al nivel preejercicio.

Los primeros estudios para investigar los mecanismos de la rehidratación postejercicio mostraron que la ingestión de grandes volúmenes de agua corriente después de la deshidratación inducida por el ejercicio tiene como consecuencia una rápida caída de la osmolalidad plasmática y de la concentración de sodio, produciendo una inmediata y acusada diuresis. En estos estudios, los sujetos hicieron ejercicio de baja intensidad en ambiente caluroso durante 90-110 min, ocasionando un nivel medio de deshidratación equivalente al 2,3% de la masa corporal preejercicio, descansando a continuación durante 1 h antes de empezar a beber. El volumen plasmático no se restableció hasta pasados 60 min, cuando se ingirió agua corriente junto con cápsulas de placebo (sacarosa). Por el contrario, cuando se ingirieron cápsulas de cloruro sódico con agua para conseguir una solución salina con una concentración efectiva del 0,45% ($77 \text{ mmol} \times \text{l}^{-1}$), la restauración del volumen plasmático fue completa en menos de 20 min. En el ensayo del NaCl, el consumo de líquido *ad libitum* fue mayor y la producción de orina fue menor, perdiéndose el 29% del consumo de agua como orina dentro de las 3 h siguientes comparado con el 49% en el ensayo con agua corriente. El retraso de la rehidratación en el ensayo con agua corriente se debió a una pérdida de agua en forma de orina causada por un rápido retorno a los valores de control de la actividad de la renina plasmática y de la aldosterona¹²⁻¹⁵.

La adición de sodio a las bebidas para rehidratación puede, por tanto, justificarse de dos maneras¹². La primera, el sodio estimula la absorción de glucosa en el intestino delgado: la absorción de agua desde la luz intestinal es puramente un proceso pasivo que está determinado mayormente por gradientes osmóticos locales. El cotransporte activo de glucosa y sodio crea un gradiente osmótico que actúa para fomentar la absorción neta de agua, y la proporción de rehidratación es, por tanto, mayor cuando se consumen las soluciones de glucosa con cloruro sódico que cuando se ingiere agua corriente. La segunda, el reemplazamiento de pérdidas por el sudor con agua corriente conduce, si el volumen ingerido es suficientemente grande, a la hemodilución: el descenso de la osmolalidad plasmática y de la concentración de sodio que ocurre en esta situación reducirá el impulso a beber y estimulará la producción de

Figura 1

Balance neto de sodio frente al balance neto de líquidos 6 h después del fin del período de rehidratación. Las bebidas, con un volumen equivalente al 150% de la pérdida por el sudor, conteniendo 0, 25, 50 y 100 $\text{mmol} \times \text{l}^{-1}$ de sodio (pruebas 0, 25, 50 y 100, respectivamente) se consumieron después del ejercicio. Seis horas después de la rehidratación, el balance de líquidos se mantiene sólo cuando la ingesta de sodio ha sido mayor que la pérdida de sodio por el sudor.



orina y tiene consecuencias potencialmente más serias, tales como la hiponatremia.

Se ha propuesto que las bebidas utilizadas para la rehidratación postejercicio deberían tener una concentración de sodio similar a la del sudor. Sin embargo, el contenido de electrolitos del sudor muestra una variación considerable entre personas y en el tiempo; parece imposible prescribir una única formulación para cada persona o para cada situación. En una investigación sistemática de la relación entre las pérdidas de sodio por el sudor de todo el cuerpo y la efectividad de las bebidas con diferentes concentraciones de sodio en el restablecimiento del balance de líquidos, Shirreffs et al¹⁶ demostraron que, con tal de que se consuma un volumen suficiente de líquido, la euhidratación se alcanza cuando la ingesta de sodio es mayor que la pérdida de sodio por el sudor (fig. 1).

El sodio es el mayor ion del líquido extracelular, pero el potasio es el mayor ion del líquido intracelular. Por tanto, el potasio puede ser importante para alcanzar la rehidratación ayudando a retener el agua en el espacio intracelular. Maughan et al¹² provocaron una deshidratación en varones, aproximadamente un 2% de la masa corporal, sometiendo a un ejercicio en ambiente caluroso seguido de una ingestión de una bebida con glucosa ($90 \text{ mmol} \times \text{l}^{-1}$), una bebida con sodio (60

mmol \times l⁻¹ NaCl), una bebida con potasio (25 mmol \times l⁻¹ KCl), o una bebida con los tres componentes. Todas las bebidas se consumieron en un volumen equivalente a la pérdida de masa, pero se excretó un volumen de orina más pequeño después de la rehidratación cuando se ingirieron cada una de las bebidas que contenían electrolitos (entre 250-300 ml) comparado con la bebida carente de electrolitos (una media de volumen de 577 ml). Se observó una disminución del volumen plasmático estimado en un 4,4% con la deshidratación en todas los ensayos, pero se retrasó la tasa de recuperación cuando se consumió la bebida con KCl. Se hallaron diferencias en la cantidad total de electrolitos reemplazados, así como diferencias en el tipo de electrolitos presentes en las bebidas. Sin embargo, no se encontraron diferencias en la fracción del líquido ingerido retenido 6 h después de beber las soluciones que contenían electrolitos. Esto bien podría atribuirse a que el volumen de bebida consumido fue equivalente al volumen perdido por el sudor; debido a las continuas pérdidas de orina, los sujetos estuvieron deshidratados durante todo el estudio, incluso inmediatamente después del período de ingesta de bebida. Los volúmenes de orina excretada se mantuvieron próximos a los valores basales y las ulteriores reducciones significativas de la excreción de orina no pudieron tener lugar cuando se ingirieron sodio y potasio. Por tanto, el potasio parece ser importante en el aumento de la rehidratación favoreciendo la rehidratación intracelular.

Las pérdidas de orina obligatoria persisten aún en situación de deshidratación debido a la necesidad de eliminar los productos de desecho metabólicos. El volumen de líquido consumido después de la sudoración secundaria al ejercicio o a la pérdida por el calor debe, por tanto, ser mayor que el volumen perdido por el sudor si se lleva a cabo una rehidratación eficaz. Esto contradice las recomendaciones de que los atletas deberían igualar el consumo de líquido exactamente a la cuantía de la pérdida de masa corporal. Shirreffs et al¹⁵ investigaron la influencia del volumen de líquido ingerido en la eficacia de la rehidratación secundaria a la deshidratación inducida por el ejercicio equivalente aproximadamente al 2% de la masa corporal. Se consumieron después del ejercicio los volúmenes de bebida equivalentes al 50, 100, 150 y 200% de la pérdida por la sudoración. Para investigar la posible interacción entre el volumen de bebida consumido y su contenido de sodio, se compararon una bebida con relativamente bajo contenido en sodio (23 mmol \times l⁻¹ equivalentes a 529 mg) y una con un contenido moderadamente alto en sodio (61 mmol \times l⁻¹ equivalentes a 1.403 mg).

Con ambas bebidas, el volumen de orina producido guardaba relación con el volumen de bebida consumido; los volú-

menes más pequeños se produjeron cuando se repuso el 50% de las pérdidas y los mayores cuando se repuso el 200% de las pérdidas. Los sujetos no pudieron volver a la situación de euhidratación cuando ingirieron un volumen equivalente a, o menor que, la pérdida por el sudor, independientemente de la composición de la bebida. Cuando ingirieron un volumen de bebida igual al 150% de la pérdida por el sudor, los sujetos estaban ligeramente hipohidratados 6 h después de beber si la bebida tenía una baja concentración de sodio, y estaban en una condición similar cuando bebieron la misma bebida con un volumen doble al de su pérdida por el sudor. Con la bebida alta en sodio, se retuvo suficiente líquido como para mantener a los sujetos en un estado de hiperhidratación 6 h después de la ingestión de bebida cuando consumieron 150% o 200% de su pérdida por el sudor (fig. 2). El exceso habría sido eventualmente perdido por la producción de orina o por la sucesiva pérdida de sudor si la persona reanudaba el ejercicio o se movía en un ambiente caliente. Los cambios de volumen plasmático calculados indicaron una disminución de aproximadamente un 5,3% con la deshidratación. Al final del período del estudio, el patrón general puso de manifiesto que el aumento del volumen plasmático estuvo directamente relacionado con el volumen de líquido consumido. El incremento tendió a ser mayor para aquellas personas que ingirieron la bebida con alta concentración de sodio.

En un reciente estudio, Pujol et al¹⁷ compararon la eficacia (osmolalidad plasmática) de la rehidratación de una bebida con un contenido moderadamente alto de sodio (0,15 g/100 ml) con una solución con un bajo contenido en sodio (0,07 g/100 ml). Todos los voluntarios ingirieron un 150% de la pérdida de peso postejercicio. Con la bebida con un contenido relativamente alto en sodio la rehidratación fue más rápida que con la bebida con un bajo contenido en sodio (fig. 3a y b). Así, pues, los resultados de este y de otros estudios indican que se puede alcanzar la rehidratación después del ejercicio sólo si las pérdidas de electrolitos por el sudor así como el agua son reemplazadas con la concentración de sodio y agua adecuados. Las bebidas que contienen aproximadamente 50 mmol \times l⁻¹ de sodio han mostrado ser más efectivas que las concentraciones de sodio de la mayoría de las bebidas para deportistas, que oscilan entre 10-25 mmol \times l⁻¹, y en algunos casos aún menores. Así, las bebidas con concentraciones bajas de sodio son ineficaces para rehidratar y, además, también disminuyen el estímulo para beber.

La adición de una fuente energética no es necesaria para la rehidratación, aunque una pequeña cantidad de carbohidratos puede mejorar la absorción intestinal de sodio y agua y, ade-

Figura 2

Balance neto de líquidos frente a tiempo. El volumen de bebida consumido fue la mitad (50%), igual (100%), una vez y media (150%) y el doble (200%) de la pérdida por el sudor. El balance neto de líquido cero corresponde al estado de euhidratación. La hipohidratación ligera estuvo presente 6 horas después de la rehidratación cuando se consumió un gran volumen de bebida con bajo contenido en sodio ($23 \text{ mmol} \times \text{l}^{-1}$), pero con el mismo volumen la hiperhidratación se alcanzó con la bebida con alto contenido en sodio ($61 \text{ mmol} \times \text{l}^{-1}$).

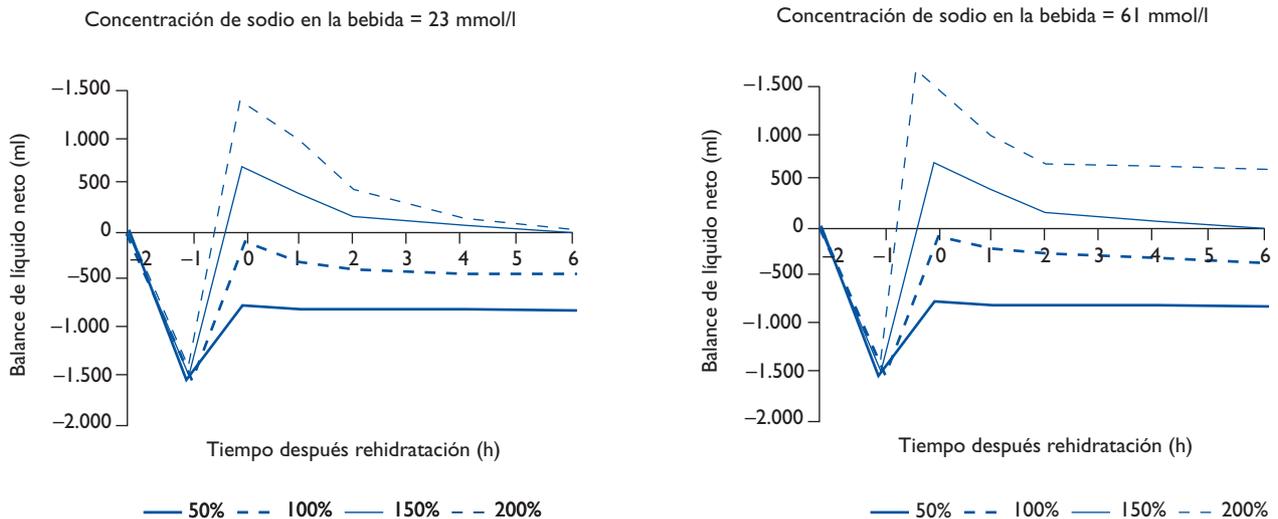
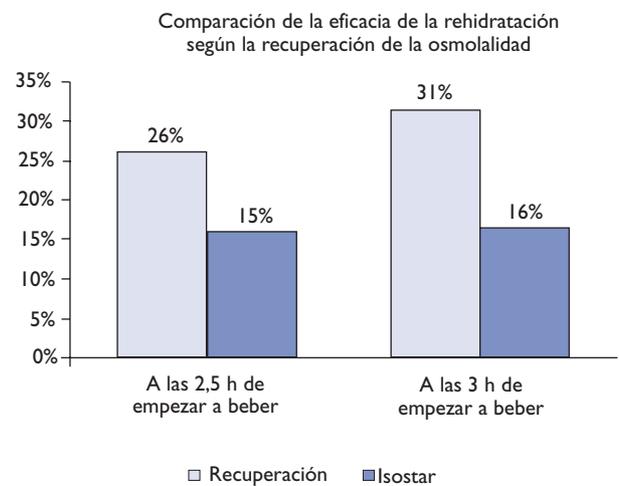
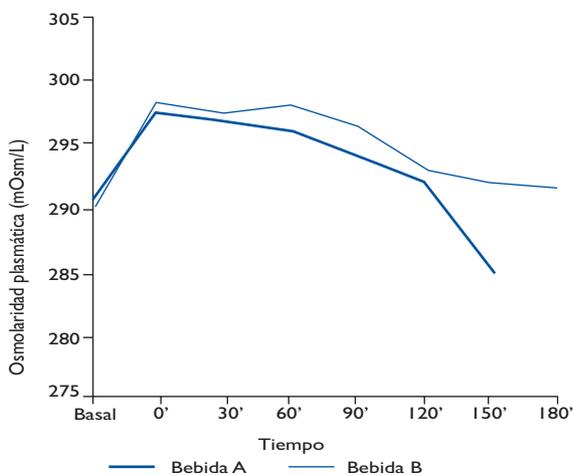


Figura 3a y b



más, mejorará el sabor. Sin embargo, es conveniente la adición de carbohidratos en ejercicios intensos y de larga duración, porque normaliza la hipoglucemia, retarda la fatiga y acelera la recuperación del glucógeno perdido. Suelen adicionarse carbohidratos en forma de glucosa, fructosa, asociación de gluco-

sa y fructosa, sacarosa, entre otros^{2,18-20}. Así, en el estudio de Pujol et al¹⁷, la solución con una concentración moderadamente alta de sodio, junto con la adición de los monosacáridos glucosa y fructosa, se logró un restablecimiento más rápido y marcado postejercicio del Pi/total, PCr/beta-ATP y Pi/PCr, en

Tabla I

	Tiempo	Diferencia	p
Pi/total	Basal-final	0,013	0,007
	Final 2 h	0,016	0,001
	Final-6 h	0,010	0,034
Pi/beta- ATP	Basal-final	0,082	0,045
	Final-2 h	0,118	0,003
Pi/Pcr	Basal-final	0,032	0,015
	Final-2 h	0,040	0,002

comparación con la bebida con baja concentración de sodio (0,07 g/100 ml), medido mediante la espectroscopia por resonancia magnética nuclear (^{31}P -NMR) (tabla 1). Probablemente, la rápida rehidratación postejercicio contribuyó a ello.

Por último, recientes investigaciones demuestran que el ejercicio induce, en el músculo que trabaja, a producir y liberar interleucina (IL)-6. Esta citocina tiene importantes efectos metabólicos y su producción está íntimamente regulada por el glucógeno muscular y las concentraciones de glucosa en sangre. La suplementación de carbohidratos en el agua de bebida disminuye la concentración sistémica de IL-6. Una consecuencia biológica de la carga de carbohidratos durante el ejercicio puede radicar en la inhibición de la lipólisis, aunque el significado clínico se desconoce. Además, la IL-6 es el mayor inductor de la liberación de cortisol, el cual, a su vez, produce una inmunosupresión. Así, la consecuencia de la inhibición y/o la liberación del IL-6 es que se incrementa el cortisol plasmático y, por tanto, los cambios inmunológicos en respuesta al ejercicio se minimizan. Además, el ejercicio provoca una acumulación de linfocitos en la sangre, lo cual va seguido de una disminución del número de éstos así como de una alteración de la función linfocitaria. Se ha demostrado que la carga de carbohidratos durante el ejercicio atenúa los efectos del ejercicio sobre los linfocitos y, por consiguiente, sobre la función inmunitaria²¹⁻²⁴.

LA HIDRATACIÓN ANTES, DURANTE Y DESPUÉS DEL EJERCICIO²⁵⁻²⁹

En la hidratación previa al inicio del ejercicio, el objetivo es conseguir que los deportistas estén bien hidratados antes del comienzo del entrenamiento o de la prueba de competición, ya que la euhidratación asegura una correcta funcionalidad y rendimiento muscular. El indicador más fiable de una correcta hi-

Tabla II Estado de hidratación basado en los cambios del peso corporal

Estado de hidratación	Cambio en el peso corporal (%)
Bien hidratado	+1 a -1%
Deshidratación mínima	-1 a -3%
Deshidratación significativa	-3 a -5%
Deshidratación grave	> 5%

dratación es la osmolalidad plasmática, que debe situarse entre 280 y 300 mOsm \times l⁻¹^{30,31}. Sin embargo, en la práctica se emplea la variación del peso corporal (tabla II).

Entre los consejos para una correcta hidratación preejercicio, está la recomendación de la ingesta de 400 a 600 ml de líquido 2-3 h antes del ejercicio, para permitir a los mecanismos renales el tiempo suficiente para regular el volumen total del líquido corporal y la osmolalidad a valores óptimos preejercicio y ayudar a retrasar o evitar los efectos perjudiciales de la deshidratación durante el ejercicio.

En la hidratación durante el ejercicio, el objetivo es conseguir que los deportistas ingieran suficiente cantidad de líquido para mantener el balance hidroelectrolítico positivo, ya que incluso la deshidratación parcial puede comprometer el trabajo muscular, repercutiendo negativamente en el rendimiento deportivo.

En cuanto a los consejos para la hidratación durante el ejercicio, hay que tener en cuenta que a partir de los 30 min del inicio del ejercicio comienza a ser necesario compensar la pérdida de agua; a partir de la hora es imprescindible. Hay que tener presente que la ingesta de volúmenes muy pequeños se vacían con lentitud, aunque volúmenes excesivos producen una molesta distensión gástrica y lentifican aun más el vaciado.

Se recomienda la ingesta de 150-350 ml de líquido a intervalos de 15-20 min, comenzando desde el inicio del ejercicio, con una concentración de sodio entre 20-30 mmol \times l⁻¹ para prevenir la hiponatremia. En ejercicios intensos y de larga duración, es conveniente la adición de carbohidratos para mantener la oxidación de los azúcares, normalizar la hipoglucemia, retardar la aparición de la fatiga y acelerar la recuperación del glucógeno perdido. En cuanto a la ingesta de líquidos, hay que tener presente que una bebida demasiado fría, aunque es más apetecible, enlentece la absorción, y en determinadas condiciones puede producir un pequeño choque térmico ("corte de digestión"), que puede llegar a producir pequeños desvanecimientos o lipotimias. Además, una bebida demasiado caliente

no es apetecible y también enlentece su absorción. Por tanto, se recomienda ingerir una bebida "fresca", es decir, entre 10 y 15 °C.

Por último, en la rehidratación después del ejercicio, el objetivo fundamental es el restablecimiento inmediato de la función fisiológica muscular, especialmente si se inicia a continuación una nueva tanda de ejercicios. La rehidratación postejercicio consiste en corregir cualquier pérdida de líquido acumulada durante el transcurso del ejercicio. Lo ideal es completar la rehidratación durante las 2 primeras horas después de finalizado un ejercicio.

Para una correcta y rápida rehidratación postejercicio se recomienda la ingesta de al menos un 150% de la pérdida de peso para cubrir la pérdida de líquido por el sudor más las pérdidas obligatorias de orina, con una concentración de sodio en-

tre 50 y 60 mmol \times l⁻¹, para mantener la osmolalidad plasmática y el deseo de beber^{10,16,32-34}.

Los carbohidratos deben consumirse tan pronto como sea posible después del ejercicio, ya que el músculo tiene una alta afinidad por la captación de glucosa inmediatamente después del ejercicio, y la mayor resíntesis del glucógeno muscular ocurre durante las 2 primeras horas inmediatamente después de finalizado el ejercicio.

El rápido restablecimiento de los depósitos de glucógeno muscular se hace a expensas de la glucosa, mucho más rápida que la fructosa, mientras que ésta produce una resíntesis de glucógeno hepático, más rápida que la glucosa. Se recomienda la ingesta de 0,7 g/kg de peso de carbohidratos cada 2 h durante las primeras 4 a 6 h después del ejercicio, para potenciar al máximo la resíntesis de glucógeno.

Bibliografía

1. Willmore JH, Costill DL. *Physiology of Sport and Exercise*. Illinois: Human Kinetics Pub; 1999.
2. Barbany JR. *Alimentación para el deporte y la salud*. Barcelona: Ediciones Martínez Roca; 2002.
3. Maughan RJ, Shirreffs SM. Fluid and electrolyte loss and replacement in exercise. En: Harries M, Williams C, Stanish WD, editors. *Oxford Textbook of Sports Medicine*. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press; 1998.
4. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. *Exercise Physiology. Energy, Nutrition, and Human Performance*. 5th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2001.
5. Locke M, Nobre EG. *Exercise and Stress Response. The Role of Stress Proteins*. Boca Raton: CRC Press; 2002.
6. Costill DL, Cote R, Fink W. Muscle water and electrolytes following varied levels of dehydration in man. *J Appl Physiol*. 1976;40:6-11.
7. Binkley HM, Beckett J, Casa DJ, Kleiner D, Plummer P. National Athletic Trainers Association position statement: Exertional heat illnesses. *J Athl Training*. 2002;37:329-43.
8. Bar SI. Effects of dehydration on exercise performance. *Can J Appl Physiol*. 1999;24:164-72.
9. González Alonso J, Mora Rodríguez R, Below PR, Coyle EF. Dehydration reduces cardiac output and increases systemic and cutaneous vascular resistance during exercise. *J Appl Physiol*. 1995;79:1487-96.
10. Maughan RJ, Gleeson M. *The Biochemical Basis of Sports Performance*. Oxford: Oxford University Press; 2004.
11. Costill DL, Sparks KE. Rapid fluid replacement after thermal dehydration. *J Appl Physiol*. 1973;34:299-303.
12. Maughan RJ, Owen JH, Shirreffs SM, Leiper JB. Post-exercise rehydration in man: effects of electrolyte addition to ingested fluids. *Eur J Appl Physiol*. 1994;69:209-15.
13. Maughan RJ, Leiper JB. Sodium intake and post-exercise rehydration in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1995;71:311-9.
14. Maughan RJ, Shirreffs SM. Recovery from prolonged exercise: restoration of water and electrolyte balance. *J Sports Sci*. 1997; 15:297-303.
15. Shirreffs SM, Maughan RJ. Volumen repletion following exercise-induced volume depletion in man: replacement of water and sodium losses. *Am J Physiol*. 1998;274:F868-75.
16. Shirreffs SM, Taylor AJ, Leiper JB, Maughan RJ. Post-exercise rehydration in man: effects of volume consumed and drink sodium content. *Med Sci Sports Exerc*. 1996;28:1260-71.
17. Pujol P, Rosés JM, Drobnic F, Aliste L, González C, Moreno A. Rehydration following exercise: effects of administration of two beverages, one with relatively low sodium content versus one with moderately high sodium content. A randomized controlled crossover study. 2004. Presentado en el 3.^{er} Congrés de la Societat Catalana de Medicina de l'Esport. Andorra, octubre 2004. Pendiente de publicación.
18. Bahrke MS, Yesalis CE, editors. *Performance-Enhancing Substances in Sport and Exercise*. Illinois: Human Kinetics; 2002.
19. Bucci LR. *Nutrients as Ergogenic Aids for Sports and Exercise*. Boca Raton: CRC Press; 1993.
20. Clark N. *Nutrición para deportistas*. Madrid: Desnivel Ediciones; 2002.
21. Nieman DC, Pedersen BK. Exercise and immune function: recent development. *Spots Med*. 1999;27:73-80.

22. Nieman DC, Henson DA, Garner EB, Butterworth DE, Warren BJ, Utter A, et al. Carbohydrate affects natural killer cell redistribution but not activity after running. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29:1318-24.
23. Pedersen BK. Exercise, Cytokines, and Lymphocytes. En: Hughes DA, Darlington LG, Bendich A, editors. *Diet and Human Immune Function*. Totowa: Humana Press; 2004.
24. Gleeson M, Bishop NC. Special feature for the Olympics: effects of exercise on the immune system: modification of immune responses to exercise by carbohydrate, glutamine and anti-oxidant supplements. *Immunol Cell Biol.* 2000;78:554-61.
25. American Dietetic Association. Nutrition and athletic performance. Position of the American Dietetic Association, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine. *J Am Diet Assoc.* 2000;100:1543-56.
26. Convertino VA, Armstrong LE, Coyle EF, Mack GW, Sawka MN, Senay LC, et al. American College of Sports Medicine. Position Stand on Exercise and Fluid Replacement. *Med Sci Sports Exerc.* 1996;28:i-vii.
27. Latzka WA, Montain SJ. Water and electrolyte requirements for exercise. *Clin Sports Med.* 1999;18:513-24.
28. Noakes T, Martin DE. IMMDA-AIMS Advisory statement on guidelines for fluid replacement during marathon running. *New Studies in Athletics.* 2002;17:15-24.
29. Shirreffs SM. Restoration of fluid and electrolyte balance after exercise. *Can J Appl Physiol.* 2001;26 Suppl:S228-35.
30. Nose H, Mack GW, Shi X, Nadel ER. Role of osmolality and plasma volume during rehydration in humans. *J Appl Physiol.* 1988;65:325-31.
31. Popowski LA, Oppliger RA, Lambert GP, Johnson RF, Johnson AK, Gisolfi CV. Blood and urinary measures of hydration status during progressive acute dehydration. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:747-53.
32. Wong SH, Williams C, Adams N. Effects of ingesting a large volume of carbohydrate-electrolyte solution on rehydration during recovery and subsequent exercise capacity. *Int J Sports Nutr Exerc Metab.* 2000;10:375-93.
33. Montain SJ, Sawka MN, Wenger B. Hyponatremia associated with exercise: risk factors and pathogenesis. *Exerc Sports Sci Rev.* 2001;29:113-7.
34. Shirreffs SM, Maughan RJ. Rehydration and recovery of fluid balance after exercise. *Exerc Sport Sci Rev.* 2000;28:27-32.