

**Declaración de consenso científico en relación con la importancia de la hidratación
y la ingesta total de agua para la salud y las enfermedades
29 de noviembre de 2006– Washington, DC (EE.UU.)**

El agua es el principal componente del cuerpo humano. El agua corporal se pierde continuamente; la cantidad perdida es variable y depende de la edad, el tamaño del cuerpo, el nivel de actividad física, el estado de salud y las condiciones medioambientales. La pérdida de agua debe reponerse a través de productos alimenticios que contengan agua, entre los que se incluyen alimentos y bebidas. Por ejemplo, los valores de referencia para el agua del “Institute of Medicine” de EE.UU. y Canadá se basan en datos que indican que aproximadamente un 80% de la ingesta total se realiza bebiendo agua y otros líquidos. Para individuos a partir de 19 años, corresponde a una ingesta diaria media de líquidos (agua y otras bebidas) de 3,0 litros en los hombres y 2,2 litros en las mujeres. Estas cifras pueden variar en otras regiones y países.

Se ha acordado que las evidencias científicas vinculan la ingesta adecuada de agua con la supervivencia, la mejora de la salud, el rendimiento físico continuado, el mantenimiento del rendimiento mental y la seguridad y productividad a nivel laboral. A continuación se proporciona un resumen de los datos tratados y sintetizados en la Conferencia del ILSI NA (International Life Sciences Institute North America) sobre Hidratación y Promoción de la Salud (actas adjuntas):

1. El agua es fundamental para la vida.
2. Confiar en la percepción de la sed no siempre garantiza una ingesta total de agua adecuada.
3. Los alimentos y las bebidas proporcionan distintas cantidades de agua a nuestra dieta.
4. El consumo de diversas bebidas con o sin cafeína incluyendo agua, leche, té, café, zumo, refrescos y bebidas para deportistas, puede contribuir a satisfacer las necesidades corporales de agua.
5. Los alimentos, entre ellos determinadas frutas, verduras, sopas y lácteos, también pueden contribuir a satisfacer las necesidades corporales de agua.
6. La elección adecuada de alimentos y bebidas de cada individuo puede variar en función de las necesidades de energía, nutrientes y agua, así como de las preferencias del consumidor.

Los gobiernos, organizaciones nacionales e internacionales, e instituciones responsables del establecimiento e implementación de las directrices de nutrición y difusión de materiales informativos entre el público, tienen la responsabilidad de incluir información actual y con base científica sobre la importancia de la hidratación y la ingesta total de agua para mejorar la salud y el bienestar.

La Declaración de consenso científico se acuerda y firma entre:

Lawrence E. Armstrong, PhD, University of Connecticut, Storrs, CT, EE.UU.

Maxime Buyckx, MD, The Beverage Institute for Health & Wellness, Atlanta, GA, EE.UU.

Sheila Campbell, PhD, RD, Healthcare Creative, Columbus, OH, EE.UU.

Victor Fulgoni, III, PhD, Nutrition Impact, LLC, Battle Creek, MI, EE.UU.

Ann Grandjean, EdD, The Center for Human Nutrition, Omaha, NE, EE.UU.

*Robert Kenefick, PhD, U.S. Army Research Institute of Environmental Medicine (ARIEM), Natick, MA, EE.UU.

Kathy Kolasa, PhD, RD, East Carolina University, Greenville, NC, EE.UU.

Florian Lang, Prof. Dr. Med., Tübingen University, Tübingen, Alemania

*Harris Lieberman, PhD, U.S. ARIEM, Natick, MA, EE.UU.

Friedrich Manz, Prof. Dr. Med., Research Institute of Child Nutrition, Dortmund, Alemania

Ron Maughan, PhD, University of Loughborough, Leicestershire, Reino Unido

Bob Murray, PhD, Gatorade Sports Science Institute, Barrington, IL, EE.UU.

Irv Rosenberg, MD, Tufts University, Boston, MA, EE.UU.

Rick Sharp, PhD, Iowa State University, Ames, IA, EE.UU.

*Las opiniones y/o conclusiones recogidas en este informe pertenecen a sus autores y no deben considerarse la postura, política o decisión oficial del Departamento del Ejército a menos que así se especifique en otros documentos oficiales.

Lawrence E. Amstrong, PhD [FIRMA]

Maxime Buyckx, MD [FIRMA]

Sheila Campbell, PhD [FIRMA]

Victor Fulgoni, III, PhD [FIRMA]

Ann Grandjean, EdD [FIRMA]

Robert Kenefick, PhD [FIRMA]

Kathy Kolasa, PhD [FIRMA]

Florian Lang, Prof. Dr. Med [FIRMA]

Harris Lieberman, PhD [FIRMA]

Friedrich Manz, Prof. Dr. Med [FIRMA]

Ron Maughan, PhD [FIRMA]

Bob Murray, PhD [FIRMA]

Irwin H. Rosenberg, MD [FIRMA]

Rick Sharp, PhD [FIRMA]

Introducción

Hidratación y promoción de la salud: breve introducción

Maxime E. Buyckx, MD, MBA

The Beverage Institute for Health and Wellness, The Coca-Cola Company, Atlanta, Georgia

Se ha reconocido el agua como esencial para la vida humana desde tiempos pasados [1]. Constituye más de un 60% de nuestro cuerpo y juega un papel importante en nuestras funciones fisiológicas y bioquímicas. En 2004, el "Institute of Medicine of the National Academies (IOM)" publicó el informe "Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride and Sulfate" (Ingesta de referencia diaria de agua, potasio, sodio, cloruro y sulfato), en el cual se detalla lo siguiente:

"El mayor componente individual del cuerpo humano, el agua, es fundamental para la homeostasis celular y la vida. Proporciona el disolvente para las reacciones bioquímicas, es el medio de transporte de materiales y cuenta con propiedades físicas únicas (calor específico alto) para absorber el calor metabólico. El agua es esencial para mantener el volumen vascular, garantizar el suministro de nutrientes a los tejidos y eliminar residuos a través del sistema cardiovascular y la depuración renal y hepática. La escasez de agua corporal pone en peligro la capacidad del cuerpo de mantener la homeostasis durante perturbaciones (por ejemplo enfermedad, ejercicio físico o estrés térmico) y puede afectar a las funciones y la salud. La ingesta total de agua incluye el agua, el agua de otras bebidas y el agua (humedad) de los alimentos [2]."

Numerosos factores tienen un impacto en nuestras necesidades de hidratación diarias y en nuestra capacidad de hidratación: el mecanismo de la sed, la edad, los antecedentes genéticos, el género, la disponibilidad, el entorno social y factores culturales [3-5]. El informe del IOM de 2004 "Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride and Sulfate" [2] ha aportado una revisión actualizada de todas las cuestiones relacionadas con la hidratación. Este trabajo ha proporcionado también un marco global para la investigación futura con el fin de ampliar el conocimiento científico sobre la hidratación. El informe destacó el hecho de que todas las bebidas, así como los alimentos, pueden satisfacer las necesidades diarias de fluidos de los individuos. Se estableció la Ingesta Adecuada (AI, por sus

siglas en inglés) "para evitar los efectos perjudiciales de la deshidratación primaria aguda, entre los que se incluyen las anomalías metabólicas y funcionales" [2], dado que es difícil determinar el nivel específico de ingesta de agua que garantizaría una hidratación apropiada y una salud óptima bajo todas las condiciones medioambientales, lo que impide establecer un Requisito Medio Aproximado (Estimated Average Requirement, EAR). Por ejemplo, se estableció una ingesta total de agua (AI) de 3,7 l/día y 2,7 l/día para hombres y mujeres de entre 19 y 70 años respectivamente. El IOM destacó también que de media, un 80% de la ingesta total de agua proviene del agua y las bebidas, mientras que el 20% restante proviene de los alimentos. Es importante especificar que las recomendaciones y porcentajes mencionados anteriormente pueden variar para las distintas poblaciones en función de la dieta, el entorno y la región del mundo a la que pertenezcan.

La investigación actual ha comenzado a centrarse en comprender mejor el estado de hidratación de los individuos en relación con sus necesidades físicas y dieta general [6]. Hasta hace poco tiempo, la investigación de fluidos y electrolitos se había centrado principalmente en la atención clínica, la supervivencia y situaciones en las que se podía mejorar el rendimiento físico óptimo (competición en deportes de resistencia u operaciones militares) [7-8]. De manera creciente, se ha prestado especial atención para comprender la relación entre la hidratación y la prevención potencial de enfermedades crónicas como la urolitiasis, infecciones del tracto urinario, cáncer de vejiga, estreñimiento, afecciones broncopulmonares, hipertensión, enfermedades cardíacas, tromboembolismo venoso, enfermedades dentales y otras. [9]. Puesto que se han realizado pocas investigaciones sobre las necesidades de hidratación de los individuos medios en condiciones sedentarias, actualmente se está trabajando para evaluar la relación de la hidratación con el rendimiento físico y mental, el bienestar y el estilo de vida [6,10-12]

El informe DRI del IOM, sin embargo, deja claro que actualmente existen evidencias insuficientes para establecer recomendaciones sobre ingesta de agua como medio para reducir enfermedades crónicas. Por ello, se necesitan

Remitir solicitudes de reimpresión a: Dr. Maxime E. Buyckx, Director, Nutrition and Health Sciences, The Beverage Institute for Health and Wellness, The Coca-Cola Company, C.P. 1734, Atlanta, GA 30301. Correo electrónico: mbuyckx@na.ko.com

Presentado en la Conferencia del ILSI North America sobre Hidratación y Promoción de la Salud, celebrada el 29-30 de noviembre de 2006 en Washington, DC.

Revelación conflicto de intereses: Dr. Buyckx es empleado de The Coca-Cola Company.

estudios y trabajos clínicos adicionales con el fin de comprender mejor los beneficios de la hidratación adecuada para una buena salud.

Además, persisten muchos mitos e ideas falsas en relación con el agua y las bebidas, sus capacidades fisiológicas y los requisitos para mantener una correcta hidratación. Por tanto es importante que la población reciba información apropiada, sólida y con base científica sobre la importancia de una hidratación correcta en la vida cotidiana de organizaciones nacionales e internacionales, profesionales de la salud y el deporte, los medios de comunicación tradicionales y a través de medios modernos como Internet.

Por ello es un gran honor y un placer dar la bienvenida a tantos expertos en hidratación en esta Conferencia sobre Hidratación y Promoción de la Salud organizada por el Comité Técnico de Hidratación del ILSI. La agenda es muy completa desde el punto de vista científico y cuenta con numerosos temas. El objetivo principal de la conferencia es basarse en la investigación sobre hidratación existente en la actualidad para incluir de manera formal la hidratación en el debate general sobre mejora de la salud y el bienestar. Esta conferencia pretende establecer una Declaración de Consenso Científico sobre la importancia de la hidratación. Esperamos que dicho Consenso permita que se preste mayor atención a la importancia creciente de la hidratación en la población general y ayude a los gobiernos, organizaciones científicas, instituciones sanitarias y otras partes, entre ellas la industria, a fomentar directrices adecuadas y con base científica en relación con la hidratación.

REFERENCIAS

1. Kiple KF, Ornelas KC (eds): "The Cambridge World History of Food". Nueva York: Cambridge University Press, 2004.
2. Institute of Medicine and Food and Nutrition Board: "Dietary Reference Intakes for Water, Sodium, Chloride, and Sulfate". Washington, DC: National Academies Press, 2004.

Revisión

Hidratación y enfermedad

Friedrich Manz, MD

Research Institute of Child Nutrition, Dortmund, ALEMANIA

Palabras clave: deshidratación, hidratación, hiperhidratación, enfermedades crónicas

Muchas enfermedades son de origen multifactorial. Existe un aumento en las evidencias que indican que la deshidratación leve tiene un papel en el desarrollo de diversas enfermedades. En esta revisión, se describen los efectos del estado de hidratación en enfermedades agudas y crónicas (excluyendo los efectos agudos de la deshidratación leve en la realización de ejercicio, bienestar, función cognitiva y rendimiento mental) y éstos se dividen de acuerdo a cuatro categorías de evidencia (I-IV).

Evitar una ingesta alta de fluidos puede prescribirse como medida preventiva a pacientes con afecciones cardiovasculares, fallo renal crónico pronunciado (III), hipoalbuminemia, endocrinopatías o en pacientes con tumores que reciban terapia con cisplatino (IIb) y riesgo de intoxicación por agua.

La hipohidratación o deshidratación leve sistémica aguda puede ser un factor patogénico en casos de oligohidramnios (IIa), esfuerzo prolongado (IIa), fibrosis quística (III), deshidratación hipertónica (III) y toxicidad renal por xenobióticos (Ib).

Se ha comprobado que mantener un buen estado de hidratación tiene efectos positivos en casos de urolitiasis (Ib) y puede ser beneficioso para tratar infecciones del tracto urinario (IIb), estreñimiento (III), hipertensión (III), tromboembolismos venosos (III), enfermedades coronarias mortales (III), derrames cerebrales (III), enfermedades dentales (IV), cetoacidosis diabética hiperglicémica hiperosmolar (IIb), cálculos biliares (III), prolapso de la válvula mitral (IIb) y glaucomas (III).

La hipohidratación y deshidratación leve local pueden jugar un papel fundamental en la patogénesis de diversas enfermedades broncopulmonares como el asma del ejercicio (IIb) o la fibrosis quística (Ib). En los casos de cáncer de vejiga y colon, la evidencia sobre los efectos del estado de hidratación son inconsistentes.

Puntos clave:

- La ingesta excesiva de agua, la deshidratación severa y la intoxicación por agua son conocidas causas de mortalidad.
- Se sabe que incluso la deshidratación leve influye en la aparición de diferentes enfermedades.
- El trabajo prolongado, la urolitiasis y las infecciones del tracto urinario son ejemplos de condiciones asociadas a la deshidratación aguda o crónica.

INTRODUCCIÓN

Muchas enfermedades son de origen multifactorial. En concreto las diferencias en el estilo de vida y el impacto medioambiental influyen en numerosas enfermedades y constituyen factores de riesgo que están siendo evaluados en la actualidad. Los extremos del metabolismo del agua, la deshidratación severa y la intoxicación por agua son causas conocidas de mortalidad. No obstante, existe un aumento en las evidencias que indican que la deshidratación leve también influye en diferentes enfermedades. Esta revisión es una

continuación de dos revisiones anteriores [1, 2] y se basa principalmente en búsquedas electrónicas de la literatura existente como Medline. Se utilizaron los siguientes indicadores del estado de hidratación: [a] ingesta (agua O líquidos), [b] orina (volumen U osmolaridad) y [c] hidratación. Los documentos se clasificaron de acuerdo a las siguientes categorías de evidencia [3]:

- (Ia) evidencia a partir de meta-análisis de ensayos controlados aleatorios;
- (Ib) evidencia a partir de al menos un ensayo controlado aleatorio;
- (IIa) evidencia a partir de al menos un estudio

Remitir solicitudes de reimpresión a: Dr. Friedrich Manz, Research Institute of Child Nutrition, Heinstück 11, D-44225 Dortmund, ALEMANIA. Correo electrónico: fr.manz@t-online.de

Presentado en la Conferencia del ILSI North America sobre Hidratación y Promoción de la Salud, celebrada el 29-30 de noviembre de 2006 en Washington, DC.

Revelación conflicto de intereses: No existen conflictos de intereses a declarar en relación con esta obra.

controlado no aleatorio;
(IIb) evidencia a partir de al menos un estudio cuasi-experimental de otro tipo;
(III) evidencia a partir de estudios descriptivos como estudios comparativos, de correlación y control de casos; y
(IV) evidencia a partir de informes de comités de expertos, opiniones o experiencia clínica de autoridades respetadas, o ambos.

Los efectos agudos para la salud de la deshidratación leve en la realización de ejercicio, bienestar, función cognitiva y rendimiento mental serán tratados por otros autores en este suplemento.

HIPERHIDRATACIÓN Y ENFERMEDAD

La corta vida media de la excreción del agua de alrededor de 100 min., basada en una capacidad de dilución renal alta, es un mecanismo eficaz de protección de sujetos sanos de la hiperhidratación [4].

Efectos de la polidipsia y poliuria en la salud

Una ingesta elevada de agua puede ser patogénica en determinadas enfermedades. Recomendar una ingesta moderada de líquidos a pacientes con enfermedades cardiovasculares, niveles de albúmina bajos o endocrinopatías (secreción de ADH inadecuada, etc.) es una práctica clínica habitual. A los pacientes con insuficiencia renal crónica se les instaba a beber para estar bien hidratados. No obstante, una ingesta elevada de líquidos con osmolaridad urinaria por debajo de la osmolaridad plasmática puede acelerar la disminución del índice de filtración glomerular (prueba de categoría III) [5]. La osmolaridad urinaria baja es un factor determinante de la nefrotoxicidad por cisplatino en pacientes con tumores, lo que justifica el uso de infusiones intravenosas concurrentes de sustancias osmóticamente activas (evidencia de categoría IIb) [6].

Intoxicación por agua

La intoxicación aguda por agua con confusión, náuseas, fatiga, ataques, o incluso la muerte, se ha considerado poco habitual [7]. En mineros, trabajadores del acero y bomberos que trabajan con mucho calor, las altas pérdidas descompensadas de sodio a través del sudor pueden resultar en hiponatremia y secreción de vasopresina no osmótica. Una ingesta adicional alta de agua con bajo contenido en sodio puede disminuir la hiponatremia provocando convulsiones e incluso la muerte. La intoxicación por agua en los niños pueden estar provocada por repetidas inmersiones al nadar [8] o por haber ejercido fuerza de manera malintencionada en el agua sobre el niño [7], en los

bebés puede estar provocada por el ahogamiento o casi ahogamiento [9], en los corredores de maratón por una ingesta elevada e incontrolada de líquidos, en ocasiones combinada con el uso de fármacos anti-inflamatorios [10, 11], en potomanías de dietas de choque puede estar causada por dietas hipocalóricas con una carga osmótica renal baja y una capacidad máxima de dilución de la orina ligeramente reducida [12] y en pacientes psicóticos puede estar provocada por haberles obligado a beber [13].

La intoxicación iatrogénica por agua puede observarse tras la ingesta rápida de grandes cantidades de soluciones hipotónicas en niños con deshidratación hipertónica, durante pruebas de concentración de orina con análogos de vasopresina [14] o lavados gástricos no controlados en niños tras el envenenamiento oral [15]. La hiperhidratación crónica puede resultar en diarrea crónica [16].

DESHIDRATACIÓN O HIPOHIDRATACIÓN LEVE Y ENFERMEDAD

La hipohidratación o deshidratación leve puede favorecer problemas de salud locales o sistémicos, agudos o crónicos.

Deshidratación o hipohidratación leve sistémica aguda

Oligohidramnios. El líquido amniótico es una sustancia compleja esencial para el bienestar del feto. Tanto el oligohidramnios como el polihidramnios están asociados con un aumento significativo de la morbilidad y mortalidad perinatal. Una hidratación materna simple y a largo plazo con agua por vía oral o fluido hipotónico intravenoso aumenta el volumen de líquido amniótico y se ha considerado beneficiosa para prevenir y tratar el oligohidramnios durante el parto (evidencia de categoría IIa) [17, 18]. En los embarazos hipertensos, el efecto del índice de líquido amniótico no era tan pronunciado como en los embarazos normotensos (evidencia de categoría IIa) [19].

Parto prolongado. Se tiene poca información sobre las diferencias en el progreso del parto, las consecuencias en el nacimiento y el estado neonatal entre las mujeres que consumen alimentos y/o líquidos durante el parto y aquellas que no lo hacen [20]. El aumento de la administración de líquidos en mujeres nulíparas durante el parto por encima de los índices utilizados habitualmente se asoció, a través de un estudio controlado aleatorio (evidencia de categoría Ib) [21], con la baja frecuencia de parto prolongado y posiblemente menor necesidad de oxitocina.

En teoría, la hidratación puede reducir la contractilidad uterina mediante el aumento del

flujo sanguíneo del útero y la disminución de la secreción pituitaria de la hormona antidiurética y la oxitocina. En dos pequeños estudios, sin embargo, no se observaron las ventajas de la hidratación en comparación con casos únicamente de reposo para evitar partos prematuros (evidencia de categoría IIa) [22].

Fibrosis quística. Los pacientes con fibrosis quística muestran alto contenido en sodio en el sudor, justo por debajo de la concentración plasma-sodio. El volumen del sudor se deriva principalmente de la contracción del volumen extracelular durante la actividad física y ante situaciones de calor. Dado que las pérdidas de agua funcional son pequeñas, la osmolalidad del plasma aumenta muy poco y prácticamente no existen estímulos de beber [23]. Los pacientes con fibrosis quística, por tanto, son especialmente propensos a padecer daños causados por el calor. Durante la ola de calor que azotó Francia en 2003, seis de cada 245 pacientes adultos con fibrosis quística desarrollaron deshidratación extrarrenal con fallos funcionales de riñón, hipokalemia e hipocloremia. Un paciente murió de hipertermia maligna (evidencia de categoría III) [24].

Deshidratación hipertónica en niños. En los niños, el alto contenido en proteínas y sodio de los preparados y alimentos de destete pueden resultar en osmolaridad urinaria submáxima, que aumenta el mortal riesgo de deshidratación hipertónica durante las gastroenteritis agudas (evidencia de categoría III) [25].

Deshidratación y toxicidad por xenobióticos. Se sabe que los agentes de contraste utilizados en los procedimientos de angiografía causan nefropatía por contraste, principalmente en pacientes con deshidratación leve. La prehidratación es suficiente para evitar la nefropatía por contraste (evidencia de categoría Ib) [26].

HIPOHIDRATACIÓN O DESHIDRATACIÓN LEVE SISTÉMICA CRÓNICA

Urolitiasis

Existen muchos estudios descriptivos que relacionan la urolitiasis con la escasa ingesta de líquidos o bajo volumen de orina. Sin embargo, sólo se ha realizado un estudio controlado aleatorio [27]. En el estudio participaron 199 pacientes, divididos en dos grupos. Tras el primer episodio de piedras idiopáticas, se solicitó a un grupo que aumentara la ingesta de líquidos para alcanzar un volumen de orina de al menos 2 litros sin realizar otros cambios en la dieta, mientras que el otro grupo no recibió ningún tratamiento. Durante los periodos de seguimiento de cinco años, los pacientes del grupo de intervención presentaban mayor volumen de orina (2,1-2,6 frente a 1,2 1/24

h), un índice inferior de reaparición (12 frente a 27%) y un periodo de tiempo más largo hasta la primera reaparición (39 frente a 25 meses) (evidencia de categoría Ib). En Israel se demostró la prevención primaria comparando dos ciudades del desierto con una alta incidencia de urolitiasis. Los habitantes de uno de los asentamientos participaron en un programa educativo para aumentar la ingesta de líquidos como medida preventiva, mientras que los del segundo asentamiento no recibieron información. Tres años después, el seguimiento de la población intervenida mostró un mayor volumen de orina y un menor número de casos de urolitiasis (evidencia de categoría IIb) [28].

Dos estudios posteriores con numerosos participantes confirmaron el efecto preventivo de una elevada ingesta de líquidos en el riesgo sintomático de la urolitiasis (evidencia de categoría IIb) [29, 30]. En un estudio realizado a trabajadores de una zona calurosa con volúmenes bajos de orina presentaban un riesgo nueve veces superior al de las personas que trabajaban a temperatura ambiente de padecer urolitiasis (evidencia de categoría IIb) [31]. Los niños con urolitiasis rara vez siguen las recomendaciones de ingerir una elevada cantidad de líquidos pese al dolor que padecen durante los cólicos [32]. La exposición prolongada a la microgravedad durante viajes al espacio, también aumenta el riesgo de formación de piedras en el riñón. Las cámaras de baja presión, la terapia alcalina y la hidratación agresiva se consideran contraindicaciones a la hora de disminuir la supersaturación urinaria [33].

Infección del trato urinario

Los datos clínicos y experimentales sobre la conexión de la ingesta de líquidos y el riesgo de padecer infecciones del tracto urinario son contradictorios [34]. Dos estudios recientes descriptivos mostraban que la escasa ingesta de líquidos o la baja cantidad de orina eran factores de riesgo (evidencia de categoría III) [35, 36]. En dos estudios comparativos, se observó que la ingesta escasa de líquidos era más frecuente en mujeres con infección del tracto urinario que en los grupos de control (53% frente a 16%; 50% frente a 9,5%) (evidencia de categoría III) [37, 38]. Dos años después de la implementación de sesiones de educación sanitaria y formación temporal dirigidas a 366 mujeres trabajadoras cualificadas, el número de ingestas de agua y evacuaciones de orina aumentó y los casos de infección del tracto urinario disminuyeron del 9,8% al 1,6% (evidencia de categoría IIb) [39].

Cáncer de vejiga y colon

Dos revisiones recientes y dos meta-análisis sobre la relación entre la ingesta total de líquidos y el cáncer de vejiga han mostrado conclusiones contradictorias (evidencia de categoría III) [40-43]. Estudios individuales destacan el aumento de los riesgos de padecer cáncer de colon de pacientes que consumen de manera regular altas cantidades de bebidas especiales o agua del grifo (evidencia de categoría III) [44]. El consumo de elevadas cantidades de agua contaminada, como el agua del grifo con una alta concentración de nitrato, puede aumentar el riesgo de padecer cáncer de colon (evidencia de categoría III) [45, 46]. Una ingesta total elevada de líquidos parece no influir en el aumento de dicho riesgo. El estreñimiento y el uso de laxantes también pueden aumentar el riesgo de padecer cáncer de colon (evidencia de categoría III). No obstante, la deshidratación leve parece no ser un factor de confusión [47].

Estreñimiento

Pocos estudios han demostrado que la restricción de líquidos provoque estreñimiento [48]. El efecto beneficioso de aumentar la ingesta de líquidos quizá podría limitarse a sujetos con deshidratación [48]. En un estudio retrospectivo, multi-centro de control de casos, el 73% de los niños con estreñimiento bebían menos de cuatro vasos de agua al día, en comparación con el 47% de los que no padecían estreñimiento (evidencia de categoría III) [49]. En otro estudio, 94 pacientes japoneses con Parkinson tomaban mucho menos café y té que el grupo de control (604 ml./día frente a 910 ml./día) [50]. La gravedad del estreñimiento se correlacionó de manera inversa con la ingesta de agua (evidencia de categoría III) [50].

Hipertensión

Un potente agonista receptor de vasopresina renal, el dDAVP, redujo considerablemente tanto el flujo de orina como la excreción de sodio en humanos sanos [51]. No obstante, debe trazarse el impacto de la antinatriuresis por niveles altos de vasopresina crónicos en la deshidratación leve de la patofisiología de la hipertensión. En pacientes diabéticos, los índices bajos de flujo de orina y excreción del sodio están asociados a un mayor nivel de presión sanguínea por el día y a una disminución del mismo durante la noche (evidencia de categoría III) [52]. Las crías de ovejas a las cuales se les ha restringido el agua en la etapa prenatal muestran hipernatremia e hipertensión, lo que indica una programación *in utero* de un valor determinado alterado para la osmolaridad sistémica y la presión sanguínea [53].

Tromboembolismo venoso

La hemoconcentración, la policitemia y las circunstancias especiales de las trombosis del viajero son factores de riesgo de padecer tromboembolismo que posiblemente se intensifican por la deshidratación. Tras un ataque isquémico agudo, el tromboembolismo venoso aumentó en pacientes con valores de osmolaridad sérica de más de 297 mosm/kg.. (evidencia de categoría III) [54]. Los viajes de larga distancia parecen estar asociados con el aumento del riesgo de padecer un tromboembolismo venoso. Aunque el papel causal de los factores relacionados con los viajes (sentarse en un espacio reducido, hipoxia hipobárica, baja humedad debido a la climatización e ingesta reducida de líquidos, etc.) aún no se ha probado, diversos comités científicos recomiendan mantener una hidratación adecuada, ejercitar las piernas y utilizar medias de compresión (evidencia de categoría IV) [55]. Pruebas *in vitro* muestran que los cambios de hidratación pueden influir de manera significativa en la adhesión, haciendo que los eritrocitos normales muestren propiedades adhesivas similares a las de las células falciformes y viceversa [56].

Enfermedad coronaria mortal

En el Adventist Health Study, se asoció la ingesta elevada de agua con el riesgo reducido de enfermedad cardíaca mortal (evidencia de categoría III) [57]. En taxistas japoneses, la escasa ingesta de agua por la noche podría haber causado un aumento de la coagulación de la sangre, de los hematocritos y riesgos de enfermedades cardíacas mortales [58].

Infarto cerebral

El aumento de la osmolaridad del plasma o los hematocritos tras el ingreso se asocia con un mayor riesgo de morbilidad o mortalidad por derrame cerebral (prueba de categoría III) [59, 60]. En pacientes con ataques isquémicos, el mejor resultado de descarga se asocia con un nivel inicial de hematocritos intermedio [61].

Enfermedades dentales

Aunque existen evidencias circunstanciales considerables que vinculan la deshidratación con enfermedades dentales, aún no se ha probado [62]. La hipohidratación reduce la excreción salival. La deshidratación por realización de ejercicio podría ser la razón principal para la pérdida de la protección salival de los dientes. Un aspecto de las estrategias WATCH de fomento individualizado entre los pacientes para evitar la erosión y combatir el desgaste de los dientes entre jóvenes australianos

sanos es, por tanto, la recomendación de una ingesta adecuada de agua durante el ejercicio (evidencia de categoría IV) [63]. La protección salival de los dientes puede verse afectada no sólo por la cantidad y composición de las bebidas ingeridas, sino también por los hábitos a la hora de beber. La caries de biberón o lactancia son un ejemplo de como sorber de una botella durante demasiado tiempo o tomar el pecho con demasiada frecuencia favorece las caries dentales [64].

Cetoacidosis diabética hiperglicémica hiperosmolar

En pacientes con diabetes mellitus, la deshidratación favoreció el desarrollo de hiperglicemia, mientras que el ayuno resultó en la reducción de las concentraciones de glucosa plasmática (evidencia de categoría IIb) [65]. Los pacientes mayores con diabetes mellitus son particularmente vulnerables a la hiperglicemia y la deshidratación, los componentes fundamentales del síndrome de hiperglicemia hiperosmolar, dado que la sensibilidad a la insulina y los mecanismos de la sed disminuyen a medida que pasan los años [66]. En niños con cetoacidosis diabética, el nivel de osmolalidad sérica en el momento del ingreso fue el indicador más importante de fallecimiento [67]. En pacientes pediátricos con diabetes mellitus recién diagnosticada, la elevada ingesta de carbohidratos carbonatados líquidos favoreció un cuadro más grave de cetoacidosis [68].

Cálculos biliares

Se ha demostrado que la ingesta de agua induce el vaciado de la vesícula y una elevada cantidad de agua diaria quizá podría evitar la formación de cálculos biliares [69]. En un estudio de control de casos realizado entre población femenina, se observó que los principales factores de riesgo eran la edad, los antecedentes familiares de cálculos biliares, la ingesta de grasas, el número de embarazos y la menopausia. Beber agua de un pozo profundo fue un factor preventivo (evidencia de categoría III) [70].

Prolapso de la válvula mitral

La deshidratación leve indujo signos ecocardiográficos visibles de prolapso de la válvula mitral en aproximadamente el 50% de mujeres asténicas sanas con pruebas cardiacas anteriores normales. Entre los hombres, sólo el 10% desarrolló prolapso de la válvula mitral por deshidratación (evidencia de categoría IIb) [71].

Glaucoma

La diferencia entre la presión intraocular y la presión sanguínea de los vasos oculares juega un papel fundamental en la patogénesis del glaucoma. La combinación de una elevada presión intraocular y una baja presión sanguínea es especialmente perjudicial. La ingesta oral de agua aumenta de manera transitoria la presión intraocular, mientras que la deshidratación la disminuye. En un análisis retrospectivo de los ojos de 76 pacientes con glaucoma de ángulo abierto, la presión intraocular media y el porcentaje de variación de la presión intraocular fueron significativamente mayores durante una prueba en la que se hizo beber agua a pacientes con progresión de campo visual, a diferencia de los pacientes sin progresión (evidencia de categoría III) [72]. Los ojos con mayor daño glaucomatoso del campo visual presentaron mayores picos intraoculares y fluctuaciones tras la ingesta de agua [73]. En pacientes con glaucoma de baja tensión y defectos del campo visual, el estrés emocional o meter una mano en agua fría podría conducir a vasoespasmos oculares con una baja presión sanguínea y a un aumento de la sensibilidad del ojo a la presión intraocular [74]. En un estudio de control de casos, los sujetos con síndrome vasoespástico informaron de la reducción del deseo de beber, de la disminución de la ingesta diaria de líquidos y de otros episodios de baja presión sanguínea (evidencia de categoría III) [75].

HIPOHIDRATACIÓN O DESHIDRATACIÓN LEVE LOCAL

Afecciones broncopulmonares

No se ha demostrado que la mejora del estado de hidratación sistémica sea clínicamente efectiva en afecciones de los pulmones y las vías respiratorias [76]. No obstante, el transporte de agua local y el estado de hidratación de la mucosidad juegan un papel fundamental en la patogénesis de muchas de estas enfermedades. En los casos de asma del ejercicio, inhalar aire cálido y húmedo o medicamentos que estabilicen el estado de hidratación de la mucosidad mejoran de manera rápida el cuadro clínico (evidencia de categoría IIb) [77]. Al realizar ejercicio, la pérdida de agua por evaporación desde la superficie de las vías respiratorias provoca que los mastocitos celulares expulsan mediadores inflamatorios que estimulan la broncoconstricción [78]. La inflamación continuada provoca una producción excesiva de mucosidad con alta vicoelasticidad y adherencia. Inhalar salino hipertónico o manitol aumentó la expulsión de mucosidad y mejoró la calidad de vida de los pacientes con asma leve,

bronquiectasia y fibrosis quística [79]. En pacientes con fibrosis quística, el beneficio clínico del salino hipertónico inhalado se vio reducido ya que la amilorida impedía el transporte osmótico de agua (evidencia de categoría Ib) [80]. En 10 pacientes asmáticos y 10 individuos controlados, una prueba de taquipnea de aire seco en el laboratorio causó deshidratación en el aire expirado por todos los sujetos y broncoconstricción en la mitad de los asmáticos, pero no en los individuos controlados (evidencia de categoría IIb) [81]. La humidificación del aire inspirado evitó la broncoconstricción. En 19 sujetos sanos, la pérdida de agua neta en el aire expirado aumentó un 42% al cambiar el modo de respiración de expiración nasal a oral [82]. En un estudio cruzado aleatorio, la administración de aerosoles de ácido hialurónico, una sustancia con una capacidad única para vincular y conservar un número particularmente relevante de moléculas de agua, redujo la hiperreactividad bronquial al ejercicio en los asmáticos [83].

CONCLUSIÓN

Existen condiciones en las que un individuo puede necesitar reducir la ingesta de líquidos, entre las que se incluyen las afecciones cardiovasculares, fallo renal crónico de etapa final, hipoalbuminemia y tratamientos con cisplatino. La hipo o deshidratación leve sistémica aguda puede ser un factor patogénico en otras condiciones, incluyendo oligohidramnios, esfuerzo prolongado, pacientes con fibrosis quística, deshidratación hipertónica en niños y toxicidad renal por xenobióticos. La hipo o deshidratación leve sistémica crónica también puede ser un factor patogénico en casos de urolitiasis, infección del tracto urinario, estreñimiento, hipertensión, tromboembolismo venoso, enfermedades coronarias mortales, derrames cerebrales, enfermedades dentales, cetoacidosis diabética hiperglicémica hiperosmolar, cálculos biliares, prolapso de la válvula mitral y glaucomas. La hipo o deshidratación leve local puede ser un factor patogénico en enfermedades broncopulmonares como el asma del ejercicio o la fibrosis quística.

La Tabla 1 resume las condiciones descritas y el nivel de prueba que respalda las asociaciones. Existen pocas pruebas controladas aleatorias. La mayoría de las pruebas disponibles provienen de estudios descriptivos como estudios comparativos, estudios de correlación y estudios de control de casos.

Tabla 1. Relación de la deshidratación leve aguda, crónica y local con diversas enfermedades o estados corporales y categoría de la clasificación de las evidencias

		Categoría de evidencia					
		Ia	Ib	IIa	IIb	III	IV
Deshidratación sistémica aguda	leve						
Oligohidramnios				X			
Esfuerzo prolongado				X			
Deshidratación hipertónica en niños						X	
Fibrosis quística						X	
Toxicidad renal por xenobióticos			X				
Deshidratación sistémica crónica	leve						
Urolitiasis			X				
Infecciones del tracto urinario					X		
Estreñimiento						X	
Hipertensión						X	
Tromboembolismo venoso						X	
Enfermedad coronaria						X	
Derrame cerebral						X	
Enfermedad dental							X
Cetoacidosis diabética hiperglicémica hiperosmolar					X		
Cálculos biliares						X	
Prolapso de la válvula mitral					X		
Glaucoma						X	
Deshidratación leve local							
Afecciones broncopulmonares:							
Asma del ejercicio					X		
Fibrosis quística			X				

Revisión

Hidratación y rendimiento físico

Bob Murray, PhD

Gatorade Sports Science Institute, Barrington, Illinois

Palabras clave: hidratación, deshidratación, hiperhidratación, rendimiento, actividad física

Desde principios del siglo XIX, existe numeroso material científico sobre el estado de hidratación y la función física, aunque la relación probablemente se había establecido siglos antes. La disminución del agua corporal por debajo de los niveles normales (a menudo denominada deshidratación o hipohidratación) provoca cambios en la función cardiovascular, termorreguladora, metabólica y nerviosa central, mayores a medida que la deshidratación empeora. De forma similar, la disminución en el rendimiento, a menudo presente en casos de deshidratación moderada (-2% de la masa corporal), se agrava también con una pérdida de líquidos mayor.

La deshidratación durante la realización de actividad física con calor, causa una disminución del rendimiento mayor a la observada al realizar una actividad similar en condiciones más frías, una diferencia que se considera debida, al menos en parte, a una mayor presión cardiovascular y termorreguladora asociada a la exposición al calor. Existen pocas dudas sobre el hecho de que el ejercicio continuo y prolongado con calor reduce el rendimiento con niveles de deshidratación de $\geq 2\%$ de la masa corporal, y hay diversas evidencias que indican que niveles inferiores de deshidratación pueden hacer que disminuya también el rendimiento incluso al realizar ejercicios intermitentes de corta duración.

Aunque se necesita más investigación para comprender totalmente los efectos de los niveles bajos de deshidratación sobre el rendimiento físico, se puede afirmar de forma general que cuando está en juego el rendimiento, es mejor estar bien hidratado que deshidratado. Esta generalización es cierta en el ámbito laboral, militar y deportivo.

Puntos clave:

- Durante la actividad física, la deshidratación es común porque la ingesta de líquidos voluntaria a menudo es inferior a la pérdida de líquidos que se produce a través del sudor.
- La deshidratación se traduce en efectos negativos inevitables sobre la función fisiológica y el rendimiento físico. La magnitud de los efectos causados por la deshidratación aumenta en función del incremento de calor, la duración del ejercicio y la intensidad de éste.
- Beber de forma adecuada durante el ejercicio ayuda a atenuar la reducción en el volumen sanguíneo, el gasto cardíaco, el flujo sanguíneo de los músculos, el flujo sanguíneo de la piel, el aumento de la temperatura central, y la disminución del rendimiento físico que acompañan a la deshidratación.

INTRODUCCIÓN

Diversos documentos de consenso de organizaciones científicas [1-3] y numerosas revisiones [4-6] han resumido de manera global el impacto de la deshidratación (disminución de los líquidos corporales por debajo del estado de euhidratación normal) en el rendimiento físico, con la conclusión sistemática de que la deshidratación puede reducir de forma significativa el rendimiento, principalmente cuando se realiza una actividad física durante un periodo prolongado en condiciones cálidas/calurosas. Por esta razón, se

han establecido directrices de reposición de líquidos [por ejemplo 1, 3, 7] para atletas, soldados y trabajadores con el fin de fomentar una ingesta suficiente de líquidos y así minimizar el nivel de deshidratación durante la actividad física. El objetivo de este artículo de revisión es, en primer lugar, resumir cómo la deshidratación afecta al rendimiento físico. Dicho resumen servirá como prelude a la consideración del nivel de deshidratación necesario para que el rendimiento disminuya. El consenso científico actual es que una deshidratación igual o superior a una pérdida del 2% de la masa corporal euhidratada (por ejemplo

Remitir solicitudes de reimpresión a: Bob Murray, PhD, Gatorade Sports Science Institute, 617 West Main Street, Barrington, IL 60021. Correo electrónico: bob.murray@gatorade.com

Presentado en la Conferencia del ILSI North America sobre Hidratación y Promoción de la Salud, celebrada el 29-30 de noviembre de 2006 en Washington, DC.

Revelación conflicto de intereses: El Dr. Murray es el director del Gatorade Sports Science Institute y empleado de The Gatorade Company, una filial de entera propiedad de PepsiCo. Gatorade fabrica y comercializa productos de nutrición para la hidratación y deportivos para atletas y consumidores activos físicamente.

una pérdida de 1,4 kg. en un atleta de 70 kg.) puede afectar de forma negativa al rendimiento físico. De hecho, es común que los atletas, soldados y trabajadores terminen la actividad deshidratados con unos niveles considerablemente superiores al -2% de su masa corporal, incluso cuando existen líquidos disponibles [8]. Existen dos motivos principales para esta deshidratación "voluntaria": 1) la pérdida de sudor durante la actividad física puede ser importante, desde tan poco 400 ml./hora a más de 2 l./hora [9], y 2) el deseo voluntario de ingerir líquidos durante la actividad física a menudo disminuye para adaptarse al ritmo de pérdida de sudor [10, 11]. Independientemente de los motivos de la deshidratación, los datos científicos existentes permiten realizar esta generalización: durante la actividad física, es mejor estar bien hidratado que estar deshidratado [12, 13]. Lo cerca de la euhidratación que debemos estar para evitar la disminución del rendimiento continúa siendo una cuestión de interés científico y es el tema tratado en la última parte de esta revisión.

SUDOR Y PÉRDIDA DE SODIO DURANTE LA ACTIVIDAD FÍSICA

Existen diferencias importantes en el índice de sudoración de cada individuo, incluso en las mismas condiciones medioambientales, intensidad del ejercicio, forma física y grado de aclimatación al calor [3-5]. De forma similar, el índice de sudoración, y por tanto la pérdida de sudor total, varía considerablemente de un día a otro en un mismo individuo, debido en gran medida a las diferencias medioambientales, la intensidad del ejercicio, la duración del mismo y el tipo de ropa y equipamiento utilizado. Dado que la pérdida de sudor y la ingesta de líquidos durante la actividad física son tan variables, algunos individuos pueden sufrir una deshidratación importante, mientras que otros pueden finalizar la misma actividad con una deshidratación mínima.

Pérdida de agua durante la actividad física

Al realizar ejercicios ligeros en entornos fríos o moderados, el índice de sudoración puede ser tan bajo como unos 100 ml./hora, mientras que si los ejercicios son intensos algunos individuos pueden llegar a sudar más de 3.000 ml./hora [9]. Los índices altos de sudoración (> 1,5 l./hora) causan una deshidratación significativa y disminuyen el rendimiento, en gran medida porque incluso los individuos muy motivados encuentran dificultades a la hora de beber grandes cantidades al realizar dicho ejercicio y porque la tasa de vaciado gástrico máxima tiene un límite. Este límite aún no se ha definido claramente, probablemente puede variar

mucho entre los distintos individuos, pero podría ser superior a 1,3 l./hora [5]. Debido a las sustanciales diferencias en el índice de sudoración entre los individuos, no existe una recomendación general válida para toda la población sobre la ingesta de líquidos durante la actividad física. Permanecer bien hidratado requiere que atletas, soldados y trabajadores ajusten de forma continua su patrón de ingesta de líquidos en relación con la pérdida de sudor padecida durante el ejercicio para así minimizar la deshidratación.

Pérdida de sales durante la actividad física

Al realizar una actividad física de manera prolongada, se pueden perder grandes cantidades de sal (cloruro sódico) a través del sudor [8, 14]. De media, el sudor humano contiene 40-50 mmol. de sodio por litro (920 a 1.150 mg./l.). Una gran pérdida de sudor conduce a una gran pérdida de sal; por ejemplo, un atleta con una concentración de sodio en sudor media que pierda 5 l. de sudor al día, perderá entre 4.600 y 5.750 mg. de sodio (el equivalente a entre 11,5 y 14,4 gr. de sal). Los individuos con alta pérdida de líquidos y/o sudor con mayor concentración de sal, pueden perder bastante más sodio cada día. Debe destacarse que los atletas, trabajadores y soldados con una buena forma física y aclimatados al calor, a menudo presentan una mejor reabsorción de sodio en el túbulo de las glándulas sudoríparas, una respuesta de adaptación que ayuda a proteger el volumen de plasma disminuyendo la pérdida de sodio. De hecho, algunos individuos son capaces de producir sudor con menos de 20 mmol. de sodio por litro [12, 14]. La pérdida de sales en sí misma no tiene un impacto directo sobre el rendimiento físico, pero una reposición adecuada del cloruro sódico durante la actividad física puede ayudar a mejorar la ingesta voluntaria de líquidos [15], a proteger el volumen de plasma [16] y a reducir la producción de orina [17], todas ellas respuestas para mejorar la hidratación.

IMPACTO DEL ESTADO DE HIDRATACIÓN EN LA FUNCIÓN FISIOLÓGICA Y RENDIMIENTO FÍSICO

Con fines experimentales, se puede inducir la deshidratación mediante la restricción de líquidos antes o durante el ejercicio, la exposición al calor antes del ejercicio, o el uso de diuréticos también antes del mismo. En general, los estudios de evaluación de las respuestas fisiológicas y de rendimiento a menudo utilizan unos niveles de deshidratación de -2% de la masa corporal o más para producir suficiente pérdida de líquidos y garantizar cambios tangibles, y puesto que dichos niveles de deshidratación son comunes entre los atletas, soldados y trabajadores [6, 8]. El sudor

generado durante la actividad física puede resultar rápidamente en deshidratación, principalmente en personas con mayor tendencia a sudar en entornos cálidos. Dependiendo de la idoneidad de la ingesta de líquidos, se puede producir una deshidratación del 1 al 8% de la masa corporal durante la actividad física [5, 8].

Deshidratación y función fisiológica

El impacto de la deshidratación en diversas funciones cardiovasculares y termorreguladoras se puede medir al comenzar el ejercicio (por ej. a los 30 minutos) lo que equivaldría a una pérdida de masa corporal de aproximadamente un 1%; a medida que aumenta el nivel de deshidratación, el deterioro de la función fisiológica también aumenta de forma progresiva [3, 13, 18]. Por ejemplo, una deshidratación progresiva de -4,9% de masa corporal durante dos horas andando en bicicleta con calor (65% VO₂máx; 35° C), causó un aumento continuado del ritmo cardíaco, la temperatura central y el esfuerzo percibido, mientras que el volumen sanguíneo, el gasto cardíaco y el flujo sanguíneo de la piel disminuyeron [18]. Montain y Coyle presentaron resultados similares demostrando que los niveles de deshidratación de -1%, -2%, -3% y -4% de masa corporal eran cada vez más perjudiciales para la función cardiovascular y termorreguladora [13].

Estos y otros datos llevaron a Cheuvront *et al.*, [19] a proponer que la deshidratación provoca fatiga prematura durante el ejercicio prolongado dado que aumenta la presión termorreguladora, la presión cardiovascular, los cambios negativos en el metabolismo muscular (por ej. índice acelerado de disminución del glucógeno) y las alteraciones en la función del sistema nervioso central (por ej. la reducción de la motivación y el esfuerzo).

En resumen, la deshidratación afecta de manera negativa a numerosas funciones fisiológicas, cuyo efecto combinado es el rendimiento comprometido. Cheuvront *et al.* [19] destacan que para muchas personas físicamente activas, una ingesta de fluidos de aproximadamente 1 l./hora, a menudo proporcionará agua, carbohidratos y electrolitos suficientes para limitar la deshidratación a menos del -2% de la masa corporal y proveer una cantidad de carbohidratos exógenos adecuada para ofrecer beneficios de rendimiento adicionales [16]. En general, una ingesta de aproximadamente 1 l./hora es razonable para la mayoría de los adultos [15] cuyo índice de vaciado gástrico exceda 1 l./hora.

No sorprende que el impacto de la deshidratación en las funciones fisiológicas sea mayor en entornos cálidos que en entornos fríos [4, 20, 21]. Ante estrés por calor, incluso moderado (por ej. >16° C), la presión cardiovascular aumenta y esto hace que mantener el volumen sanguíneo sea fundamental para conservar el flujo sanguíneo con

el fin de activar los músculos, la piel y el cerebro [21].

Deshidratación y rendimiento

Se han estudiado diversas tareas de rendimiento en experimentos relacionados con la hidratación, incluyendo cálculos del tiempo necesario hasta el agotamiento, protocolos de tipo ensayo por tiempo, protocolos con sprint final y diseños empleando pruebas de capacidades deportivas específicas, fuerza muscular, resistencia muscular y rendimiento anaeróbico. A continuación se resumen tres estudios realizados entre 1944 y 2007. Los diseños experimentales y las tareas de rendimiento utilizados en estos estudios son muy diferentes, pero la uniformidad de los resultados refleja el consenso actual en la literatura científica: la deshidratación antes o durante el ejercicio prolongado a menudo disminuye el rendimiento físico. Aunque la investigación sobre el efecto de la deshidratación en la fuerza muscular y el rendimiento anaeróbico es equívoca y se necesitan más trabajos, el consenso científico actual es que la deshidratación tiene un impacto reducido en dichas medidas [3].

En 1944, Pitts *et al.* [11] publicaron un estudio diseñado para determinar de qué forma la ingesta de agua, sales y glucosa afectaba al rendimiento físico en condiciones de calor. Seis hombres aclimatados al calor caminaron a 3,5 mph. (2,2 km./hora) en entornos calurosos/secos (38° C con 30% HR) o calurosos/húmedos (35° C con 83% HR). Los paseos duraron entre una y seis horas, con un descanso de 10 minutos tras cada hora. Los autores detallan los resultados de un sujeto que caminó en seis ocasiones (inclinación del 2,5%), todas ellas en condiciones calurosas/secas. En dos ocasiones, el sujeto no bebió nada. En otras dos pruebas, el sujeto bebió de acuerdo con su sed. En las dos pruebas restantes se evitó la deshidratación haciendo que el sujeto bebiera agua cada 15 minutos en volúmenes equivalentes a su pérdida de sudor. Basándose en mediciones de la temperatura rectal, el ritmo cardíaco, el índice de sudoración, el consumo de oxígeno y la duración del ejercicio, Pitts *et al.* observaron lo siguiente:

"Primero, sin agua la temperatura rectal aumentó de forma regular hasta alcanzar niveles altos y no mostró signos de llegar a un estado fijo. Aunque el sujeto, con una resistencia superior a la media, logró andar 25 km., al terminar estaba muy cansado y no era eficaz. Segundo, sin agua durante la primera hora, pero bebiendo después para satisfacer su sed en todo momento, la temperatura rectal comenzó a aumentar después de permanecer constante durante 20 km. El sujeto completó

30 km. en condiciones adecuadas. Por último, cuando el sujeto se obligó a beber agua de acuerdo a su pérdida de sudor, la temperatura corporal se mantuvo baja para este tipo de actividad y tras 25 km. éste afirmó que podía continuar andando todo el día sin problemas."

Pitts *et al.* [11] no dejan claro si se tomaron medidas para estandarizar el estado de hidratación previo al ejercicio de los sujetos. Los autores no indicaron cambios en la masa corporal de los sujetos, a partir de los cuales podría haberse calculado el porcentaje de deshidratación. No obstante, es claro a partir de sus datos que las mejores respuestas fisiológicas y de rendimiento se produjeron cuando la deshidratación fue mínima.

El efecto de la deshidratación moderada padecida al realizar ejercicios cortos fue estudiado por Below *et al.* [16]. Su investigación consistía en andar en bicicleta al 85% $\text{VO}_2\text{máx}$ y a continuación desempeñar una tarea de rendimiento en la que los sujetos debían completar una cantidad fija de trabajo lo más rápido posible (requiriendo aprox. 10-12 minutos). El protocolo se diseñó para imitar la demanda de un sprint final al concluir una prueba de ciclismo contrarreloj de 40 km. El experimento consistió en cuatro pruebas equilibradas realizadas en condiciones cálidas (31° C), entre las que se incluían una prueba en la que se reponía aproximadamente un 80% del sudor producido (ingesta de agua media de 1,33 l.) y una prueba en la que los sujetos ingerían una media de 200 ml. de agua durante el ejercicio, suficiente para reponer el 13% del sudor perdido. Los investigadores estandarizaron el estado de hidratación previo al ejercicio haciendo que los sujetos consumieran una dieta estándar y no hicieran ejercicio el día anterior a cada prueba. Durante las 2 horas anteriores al ejercicio, los sujetos ingirieron 5 ml. de agua por kg. de masa corporal. Como resultado, no existieron diferencias en las mediciones anteriores al ejercicio de masa corporal o concentración de hemoglobina.

Cuando los sujetos ingirieron poca cantidad de agua, se deshidrataron un -2% de su masa corporal y su rendimiento disminuyó una media de 6,5%, a diferencia de lo ocurrido en la prueba en la que repusieron el 80% de la pérdida de sudor. Los autores destacaron que una mejor hidratación durante el ejercicio estaba asociada a una temperatura esofágica, ritmo cardíaco e índices de esfuerzo percibido inferiores, todos ellos factores que podrían haber afectado la tasa de trabajo autoseleccionada de los sujetos durante la tarea de rendimiento.

En 2007, Ebert *et al.* [22] publicaron un estudio diseñado para determinar si la pérdida de masa corporal asociada con la deshidratación beneficiaría el rendimiento al subir una cuesta en bicicleta dada la "pérdida de carga", lo que

reduciría el gasto de energía al pedalear o aumentaría el cociente potencia-masa, ambos resultando en un mejor rendimiento en el pedaleo. Tras pruebas preliminares y sesiones de familiarización, ocho ciclistas entrenados participaron en dos ensayos experimentales: baja ingesta de líquidos o alta ingesta de líquidos. Cada prueba consistía en pedalear durante 2 horas a un ritmo constante del 53% determinado de acuerdo con la potencia aeróbica máxima de cada sujeto, seguida por una carrera hasta llegar al agotamiento. El ejercicio fijo se realizó en un ergómetro de pedaleo. Tras 2 horas de ejercicio, se volvió a pesar a los sujetos en un intervalo de 3 minutos y estos volvieron a su bicicleta, pedaleando con una inclinación del 8% y una velocidad aproximada del 88% de la potencia aeróbica máxima de cada sujeto. Se registró el tiempo del agotamiento voluntario como medida de rendimiento.

Se garantizó la euhidratación anterior a cada prueba haciendo que los sujetos tomaran una dieta estándar durante las 24 horas anteriores, limitando el ejercicio y la ingesta de cafeína antes de cada prueba y haciendo que estos ingirieran una media de 350 ml. de agua durante las dos horas anteriores a las pruebas. Las posteriores mediciones de la masa corporal, la gravedad específica de la orina, la hemoglobina y los hematocritos no variaron entre las distintas pruebas, lo que indica que los sujetos comenzaron cada una de ellas hidratados de manera similar. Ambas pruebas se realizaron en un entorno cálido (29,3° C). Durante las 2 horas de ejercicio submáximo, los sujetos ingirieron o una pequeña cantidad (total=0,4 l.) o una cantidad mayor (total 2,4 l.) de bebida con carbohidratos y electrolitos; cada cantidad se dividió en alícuotas de 50 ml. o 300 ml. ingeridas en intervalos de 15 minutos. La ingesta de carbohidratos se estandarizó haciendo que los sujetos ingirieran gel de carbohidratos en intervalos regulares durante el ejercicio submáximo en el ensayo con baja cantidad de líquidos. Los regímenes de ingesta de líquidos se diseñaron con el propósito de reflejar las prácticas comunes entre numerosos ciclistas de competición (baja ingesta) y el nivel superior de ingesta basándose en las anteriores recomendaciones del American College of Sports Medicine [23].

Al finalizar las 2 horas de ejercicio submáximo, los sujetos mostraban una deshidratación de -2,5% de la masa corporal inicial en el ensayo de baja ingesta de líquidos; la deshidratación se evitó con el régimen de alta ingesta de líquidos (cambio medio del +0,3% en la masa corporal). Tras la tarea de rendimiento, los sujetos presentaban una deshidratación media de -3,6% de la masa corporal en el ensayo de baja ingesta y -1,3% en el de alta ingesta.

Todos los sujetos rindieron menos en el ensayo de baja ingesta. El tiempo medio de agotamiento

fue de 5,6 minutos más lento, una disminución relativa del rendimiento del 28,6%. Los autores concluyeron que "...la hipertermia por deshidratación superó los beneficios teóricos de la reducción de la masa corporal en el índice potencia-a-masa y el gasto de energía al practicar ciclismo".

En muchas circunstancias la deshidratación reduce el rendimiento físico, pero debe señalarse que no siempre es el caso. Algunos estudios han demostrado la ausencia de reducción del rendimiento con niveles de deshidratación de -2% a -3% de la masa corporal [24, 27]. No obstante, nuevas investigaciones continúan ilustrando el efecto perjudicial que la deshidratación moderada puede tener en diversos tipos de tareas de rendimiento. Por ejemplo, Dougherty *et al.* [28] señalaron una reducción significativa en el rendimiento de adolescentes jugando a baloncesto a temperatura ambiente con una deshidratación de -2% de la masa corporal. Se necesitan más investigaciones para comprender mejor la compleja relación existente entre el estado de hidratación, la intensidad del ejercicio, la duración y el tipo de éste, y el estrés térmico, efectos combinados que determinan si la deshidratación moderada afecta e forma negativa al rendimiento.

Estado de hidratación y entornos fríos

Aunque la mayoría de las pruebas científicas indican que la deshidratación reduce el rendimiento físico, existen circunstancias en las que la deshidratación moderada (-2% a -3% de la masa corporal) no altera de forma significativa dicho rendimiento. Una de esas circunstancias es la realización de ejercicio con temperaturas bajas. Cheuvront *et al.* [21] demostraron que la deshidratación (-3% de la masa corporal) perjudicaba el rendimiento físico a temperatura ambiente (20°), pero no en entornos fríos (2° C). La tarea de rendimiento consistió en 30 minutos de pedaleo constante a 50% VO₂máx, seguido de 30 minutos en los que los sujetos (n = 8) debían completar la mayor cantidad de trabajo posible. Los autores razonaron que un mayor gasto cardíaco y una menor temperatura central durante el ejercicio con frío podían explicar por qué la deshidratación tenía menos efectos en el rendimiento. No obstante, deben completarse investigaciones adicionales para confirmar estas sospechas, en parte porque otros investigadores han observado reducción del rendimiento asociado a la deshidratación en entornos fríos [29].

Hiperhidratación y rendimiento

La hiperhidratación se refiere a un aumento de los líquidos corporales por encima del estado de euhidratación. Esto puede conseguirse ingiriendo

una cantidad excesiva de agua, a menudo combinada con una molécula como el glicerol para crear un imperativo osmótico para la retención temporal de agua. Tras unas horas, el exceso de líquido se elimina en forma de orina, pero durante ese periodo, la hiperhidratación podría tener ventajas en relación con el rendimiento ya que retrasa la deshidratación y suaviza el aumento de la temperatura central. Algunos estudios señalaron pequeñas mejoras del rendimiento asociadas a la hiperhidratación [30-32]. No obstante, en la actualidad el consenso científico prevalente es que la hiperhidratación no proporciona beneficios fisiológicos o del rendimiento significativos en comparación con una buena hidratación durante el ejercicio [3, 33-36].

Estado de hidratación y rendimiento en el ámbito laboral

Además de en el ámbito deportivo, existen muchas otras situaciones en las que la hidratación puede ser un factor determinante del rendimiento físico. Trabajos como la mina, la agricultura, la tala de árboles, la extinción de fuegos y la construcción a menudo exponen a los trabajadores a entornos calurosos y trabajo físico constante que puede requerir el uso de ropa de protección y equipamiento específico. Los soldados viven condiciones similares, desde el entrenamiento básico hasta los deberes del día a día y su participación en guerras.

Las investigaciones demuestran que, al igual que en el deporte, proteger el estado de hidratación mejora el rendimiento en el ámbito laboral [3]. Se ha observado que la deshidratación reduce la capacidad de trabajo físico y disminuye la tolerancia al calor, particularmente en ambientes con presión inevitable por calor (por ej. entornos que no permiten una pérdida suficiente de calor para que la temperatura central alcance niveles seguros). Cuando se protege el estado de hidratación mediante una ingesta adecuada de líquidos durante la actividad física, la tolerancia al calor y el rendimiento mejoran [37-39].

¿CUÁNTOS LÍQUIDOS DEBEN PERDERSE PARA QUE SE PERJUDIQUE EL RENDIMIENTO?

Las directrices prácticas actuales identifican una pérdida del 2% de la masa corporal como el nivel de deshidratación en el que es probable que el rendimiento se vea afectado. Estas directrices se reflejan en una declaración de consenso científico realizada en 2005 por el American College of Sports Medicine: "Una deshidratación de más del 2% de la masa corporal puede comprometer las funciones fisiológicas y perjudicar la capacidad de rendimiento físico. Niveles superiores de

deshidratación agravan las respuestas negativas" [2]. Existen numerosas pruebas científicas que corroboran que la reducción del rendimiento a menudo se produce cuando se pierde un 2% o más de masa corporal antes o durante el ejercicio. No obstante, es poco probable que una pérdida del 2% de la masa corporal represente un límite fisiológico establecido sobre el cual se vea comprometido el rendimiento. Pueden existir condiciones medioambientales y relacionadas con el ejercicio bajo las cuales menos de un 2% de pérdida de masa corporal haga que disminuya el rendimiento. De hecho, numerosos estudios sugieren que podría ser el caso. Aunque se necesitan muchas más investigaciones para concluir con seguridad que una ligera deshidratación puede reducir el rendimiento, los resultados de los siguientes estudios sugieren dicha posibilidad.

Uno de los estudios citados con más frecuencia que señala la reducción del rendimiento asociada a la deshidratación es el de Armstrong *et al.* [40]. Este grupo observó a ocho corredores experimentados los cuales tuvieron que completar pruebas de 1,5 km., 5,0 km. y 10,0 km. en una pista exterior de 400 metros en condiciones de frío (15,7° C). Los autores comprobaron las concentraciones de sodio y potasio en el plasma para garantizar un estado de hidratación similar de los sujetos antes de realizar las pruebas diuréticas y de control. Un aspecto único de este estudio es que la deshidratación se logró haciendo que los participantes ingirieran 40 mg. de furosemida diurética 5 horas antes del ejercicio. El protocolo experimental pretendía reducir los volúmenes de plasma de los sujetos un 2%. Esto condujo a reducciones de la masa corporal del 1,9% (1,5 km.), 1,6% (5,0 km.) y 2,1% (10,0 km.). En comparación con la realización de la actividad en estado euhidratado, la deshidratación aumentó los tiempos un 3,1% (1,5 km.), 6,7% (5,0 km.) y 6,3% (10,0 km.); la deshidratación aumentó significativamente el tiempo necesario para completar las pruebas de 5 y 10 km. A partir de estos resultados, los autores observaron que una deshidratación leve puede afectar negativamente al rendimiento: "El análisis de regresión lineal indicó que un cambio del 1% en la masa corporal causaba un aumento de los tiempos de +0,17, +0,39 y +1,57 minutos respectivamente en las pruebas de 1.500, 5.000 y 10.000 metros".

Walsh *et al.* [41] indicaron que una deshidratación de -1,8% de la masa corporal reducía significativamente el rendimiento tras realizar un ejercicio de 60 minutos en bicicleta a un 70% VO₂máx. Los sujetos (n = 6) realizaron el ejercicio con calor (32° C) en dos ocasiones, una sin ingerir líquidos y otra bebiendo 400 ml. de una solución salina diluida (20 mmol./l.) entre 2 y 3 minutos antes de realizar el ejercicio y 120 ml. cada 10 minutos durante los primeros 50 minutos

de actividad. Antes de las pruebas no existían diferencias en la osmolaridad del plasma o la masa corporal, lo que indicaba que los sujetos contaban con una hidratación similar para cada prueba. En la tarea de rendimiento, los sujetos debían pedalear hasta agotarse al 90% VO₂máx. Cuando estaban bien hidratados, los sujetos realizaron el ejercicio durante una media de 9,8 minutos, unos 3 minutos más que al estar deshidratados, y su rendimiento mejoró un 44%. Estos resultados demostraron además la importancia en cuanto a rendimiento de permanecer bien hidratado al realizar ejercicio en condiciones de calor, incluso durante periodos relativamente cortos, y además ofrecieron una indicación direccional sobre el hecho de que niveles bajos de deshidratación (por ej. < -2%) pueden reducir el rendimiento.

Maxwell *et al.* [42] señalaron que un nivel bajo de deshidratación reducía el rendimiento realizando una prueba de *running* a gran intensidad y de corta duración a temperatura ambiente. Los investigadores utilizaron una prueba de *running* intermitente máximo para calcular el rendimiento. Los sujetos (n = 11) tuvieron que completar repetidas carreras de 20 segundos en cinta aumentando la intensidad hasta un 10,5%, intercaladas con 100 segundos de descanso. Las pruebas se realizaron en un ambiente fresco (21° C) y el rendimiento se determinó a través del tiempo acumulado de las pruebas de alta intensidad. Se estandarizó la hidratación previa haciendo que los sujetos consumieran 500 ml. de agua 90 minutos antes de llegar al laboratorio; las mediciones de gravedad específica de la orina y masa corporal previas no variaron de una prueba a otra. Los sujetos fueron sometidos a aproximadamente una hora de estrés por calor pasivo y activo que incluyeron 10 minutos en un baño caliente, tras el cual tuvieron que andar y correr de forma intermitente hasta alcanzar una deshidratación del -1,5% de la masa corporal. Tras esto hubo 2 horas de recuperación en condiciones ambiente del laboratorio. Para la prueba de euhidratación, los sujetos ingirieron una solución salina con sabor a limón sin azúcar (80 mmol./l.) mientras andaban/corrían y durante los primeros 40 minutos del periodo de recuperación de 2 horas. El volumen total ingerido fue del 155% de la pérdida de sudor prevista para garantizar la eliminación de orina durante la sesión de recuperación. La pérdida de sudor durante la prueba de rendimiento fue de unos 500 ml. de media en ambas pruebas, es decir unos valores de deshidratación final de -2,0% y -0,6% de masa corporal en las pruebas con deshidratación y euhidratación respectivamente. El nivel de -2% de deshidratación redujo significativamente el rendimiento al correr, alrededor de un 4% (148 ± 9 s frente a 154 ± 9 s). El ritmo cardiaco y la temperatura rectal aumentaron significativamente

durante la prueba de deshidratación, indicando una presión cardiovascular y termorreguladora mayor.

Los datos de Armstrong *et al.*, Walsh *et al.*, y Maxwell *et al.*, [40-42] muestran una disminución del rendimiento con niveles bajos de deshidratación y dan credibilidad a la generalización de que cuando el rendimiento está en juego, es mejor permanecer bien hidratado que deshidratado. No obstante, se necesitan otras investigaciones para comprobar más en profundidad los efectos de un nivel bajo de deshidratación en las respuestas fisiológicas y de rendimiento en temperaturas frías, ambiente y entornos cálidos. Para determinar el modo en que un nivel bajo de deshidratación podría afectar al rendimiento en un ejercicio intermitente o constante de corta o larga duración se necesitarán mediciones adicionales de la función cardiovascular y termorreguladora, la temperatura muscular, los metabolitos sanguíneos/musculares, el esfuerzo percibido y otros parámetros. También es importante, desde el punto de vista tanto práctico como científico, caracterizar más profundamente los tipos de tareas de rendimiento (aeróbico, anaeróbico, de fuerza, específico de deporte, etc.) sensibles a cambios en el estado de hidratación.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Los resultados de muchas décadas de investigación dejan claro que la deshidratación a menudo disminuye el rendimiento físico. Por ese motivo, las directrices prácticas actuales [3] recomiendan consumir cantidades adecuadas de líquidos al realizar ejercicio para minimizar la deshidratación. Esto a menudo se puede lograr ingiriendo 1 litro de líquido cada hora (o un nivel aproximado pero nunca superar la pérdida de sudor). En circunstancias en las que no se puede evitar una deshidratación importante (por ej. en el caso de personas con tendencia a sudar o cuando la disponibilidad de líquidos es limitada), el objetivo debe ser reducir la gravedad de la deshidratación ingiriendo todo el líquido que se tolere (sin excederse) y aprovechando cualquier oportunidad para disminuir el índice de sudoración (minimizar la intensidad del ejercicio de calentamiento, quitarse ropa y equipamiento, realizar descansos con más frecuencia, disminuir la intensidad de la actividad y sacar provecho de la pérdida de calor convectivo asociada a la brisa y el aumento de la pérdida de calor radiado que se experimenta en la sombra).

En resumen, beber cantidades suficientes de agua durante la actividad física para minimizar la deshidratación se podría decir que la forma más sencilla y eficaz de mantener las funciones fisiológicas y mejorar el rendimiento físico.

Revisión

Deshidratación y rendimiento cognitivo

Ann C. Grandjean, EdD, FACN y Nicole R. Grandjean, PhD

The Center for Human Nutrition, Omaha, Nebraska (A.C.G.) Pate Rehabilitation, Dallas, Texas (N.R.G.)

Palabras clave: deshidratación, función cognitiva, rendimiento cognitivo, restricción de líquidos, ejercicio, calor

La neuropsicología humana investiga las relaciones cerebro-conducta haciendo uso de herramientas objetivas (pruebas neurológicas) con el fin de vincular los aspectos biológicos y de la conducta.

La utilización de herramientas de evaluación neuropsicológica para valorar los efectos potenciales de la deshidratación es una evolución natural del objetivo científico de comprender las ramificaciones físicas y mentales de la deshidratación.

Desde hace tiempo se sabe que la deshidratación afecta de forma negativa al rendimiento físico. El estudio de los efectos del estado de hidratación en la función cognitiva es un campo de investigación relativamente reciente, resultante en parte del mayor entendimiento del impacto de la hidratación en el rendimiento físico y de los avances en la disciplina de la neuropsicología cognitiva.

Las investigaciones disponibles en esta área, aunque escasas, indican que se puede producir una disminución del rendimiento físico, visomotriz, psicomotriz y cognitivo cuando se pierde un 2% o más del peso corporal debido a la restricción del agua, el calor y/o el esfuerzo físico. Se requieren investigaciones adicionales, principalmente estudios diseñados para reducir, si no eliminar, las limitaciones de los estudios realizados hasta la fecha.

Puntos clave:

- Las investigaciones para evaluar los efectos del estado de hidratación en la función cognitiva surgen del entendimiento del impacto de la hidratación en el rendimiento físico y los avances en la disciplina de la neuropsicología cognitiva.
- Descensos en el rendimiento físico, visomotriz, psicomotriz y cognitivo pueden ocurrir cuando se pierde un 2% o más del peso corporal debido a la restricción del agua, el calor y/o el esfuerzo físico.
- La principal limitación de los estudios realizados hasta la fecha es la incapacidad de determinar los efectos de la deshidratación independientemente de los efectos del estrés térmico, el estrés físico y/o la fatiga.
- Un mayor entendimiento de los efectos del estado de hidratación en el rendimiento cognitivo podría aplicarse a la atención sanitaria, la educación y otros campos en los que se evalúa el rendimiento cognitivo y/o se ofrecen tratamientos.

INTRODUCCIÓN

El Panel “Dietary Reference Intakes for Electrolytes and Water” (Panel sobre ingesta alimenticia de referencia de electrolitos y agua), bajo la supervisión y ayuda del “Standing Committee on the Scientific Evaluation of Dietary Reference Intakes” (Comité para la Evaluación Científica de la Ingesta Diaria de Referencia, IDR), ha establecido valores de referencia (IDR) sobre ingesta de agua y electrolitos en la dieta para que los estadounidenses y canadienses gocen de buena

salud [1]. Las IDR amplían y sustituyen a las recomendaciones previas, las Recommended Dietary Allowances (Cantidad alimenticia recomendada) (RDA), publicadas por última vez en 1989 [2]. La sección sobre agua de las RDA de 1989 estaba compuesta de cuatro páginas de texto y cinco referencias. La sección sobre agua del Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride and Sulfate (DRI del agua) está formada por 81 páginas de texto y 24 páginas de referencias, lo que indica nuestro mayor entendimiento y apreciación del agua como

Remitir solicitudes de reimpresión a: Ann C. Grandjean, Directora Ejecutiva. The Center for Human Nutrition, Room 1024 505 Durham Research Plaza, Omaha, Nebraska 68105. Correo electrónico: agrandjc@unmc.edu

Presentado en la Conferencia del ILSI North America sobre Hidratación y Promoción de la Salud, celebrada el 29-30 de noviembre de 2006 en Washington, DC.

Revelación conflicto de intereses: ACG declara que ni ella, ni ningún familiar directo, tienen relación corporativa o gubernamental alguna que presente un conflicto de intereses en relación con este manuscrito. El autor es un miembro de The Beverage Institute for Health and Wellness Advisory Council, trabaja como asesor científico en el ILSI NA Technical Committee on Hydration y ha recibido con anterioridad concesiones de investigación sin limitaciones de The Coca-Cola Company.

NRG no tiene ningún conflicto de intereses que declarar en relación con esta obra.

nutriente esencial. Una de las recomendaciones del Panel era la realización de estudios adicionales sobre los efectos de los déficits de agua en el rendimiento cognitivo.

El objetivo de este documento es ofrecer una perspectiva general y concisa de la evolución de la investigación en el campo de la deshidratación y el rendimiento cognitivo.

NEUROPSICOLOGÍA

Conexión Cerebro-Conducta

La historia está repleta de individuos que han intentado establecer el origen de la conducta humana. En un principio, las hipótesis existentes consideraban que la conducta estaba controlada por el alma, el espíritu o alguna parte del cuerpo (el corazón, el cerebro, etc.). Alrededor del año 500 aC, Alcmaeón de Crotona situó los procesos mentales en el cerebro, estableciendo así la hipótesis del cerebro. Filósofos y médicos debatieron el mérito de la hipótesis del cerebro durante los 2.000 años siguientes. El pensamiento moderno comenzó con Descartes (1596-1650), que afirmó que el razonamiento provenía de la "mente". Las observaciones sobre la conducta realizadas por investigadores (tras crear lesiones en cerebros animales) y médicos (con pacientes que tenían lesiones en determinadas partes del cerebro) establecieron el cerebro como centro de control tanto de los pensamientos como de la conducta.

La disciplina de la neuropsicología consideró posteriormente la relación cerebro-conducta basándose en información de diversos campos (anatomía, biología, farmacología, fisiología, etc.). Phineas Gage y Patient HM fueron dos de los sujetos que permitieron llegar a esta consideración [4, 5]. En 1848, Phineas Gage sufrió un accidente trabajando en la construcción en el que una barra de hierro de 1,2 metros entró por su mejilla derecha y salió por la parte superior de su cabeza. Aunque Gage sobrevivió, sufrió graves daños en el lóbulo frontal. Este suceso proporcionó una de las primeras pruebas de que algunas zonas específicas del lóbulo central podían tener relación con las emociones y la personalidad. En 1953, diversos cirujanos retiraron partes del lóbulo temporal medial de Patient HM para tratar su epilepsia. Aunque sus ataques mejoraron, la cirugía le causó grandes problemas de memoria (amnesia selectiva). Dado que esto había sido provocado mediante cirugía y por tanto se conocía la ubicación exacta de los daños, se pudieron hacer observaciones sobre la ubicación del daño en relación con los posteriores cambios en las habilidades cognitivas.

Evaluación cognitiva

El procesamiento de la información (por ej. procesos mentales como la percepción y la memoria) pasó a ser el modelo dominante para comprender la función cognitiva en la década de 1960. Psicólogos especializados en el procesamiento de la información consideraron las capacidades cognitivas específicas de cada tarea y observaron el modo en que se utilizaban dichas habilidades específicas para actividades concretas. Esto facilitó una importante base teórica para la neuropsicología – el estudio del modo en que el cerebro afecta al funcionamiento cognitivo, conductual y emocional [6].

Los avances en neuropsicología han ido acompañados de una proliferación de pruebas o herramientas de evaluación (a menudo denominadas pruebas o medidas neuropsicológicas) diseñadas originariamente para identificar a los individuos con daños cerebrales. Con la creación de grupos de investigación neuropsicológica en los años 50 y 60, se desarrollaron pruebas para medir las funciones cognitivas específicas. A nivel clínico, las medidas neuropsicológicas a menudo se administran en grupos concretos (denominados baterías) que permiten el análisis del rendimiento y conducta mediante patrones de prueba. En investigación, las medidas neuropsicológicas permiten evaluar el funcionamiento cognitivo en comparación con otras variables. El uso de herramientas de evaluación neuropsicológica para valorar los efectos potenciales de la deshidratación, unido a los avances de la evaluación de los efectos del estado de hidratación en el rendimiento físico, condujo a un descubrimiento científico.

EFEECTO DE LA DESHIDRATACIÓN EN LA FUNCIÓN FÍSICA Y COGNITIVA

En los años 40, los investigadores demostraron que las personas bajo estrés térmico o fisiológico deben prestar especial atención a la ingesta de líquidos y sales [7-10]. Dado que el estado de hidratación puede ser fundamental para el rendimiento, los militares han actuado como sujetos de numerosos estudios. La enfermedad del calor que afectó a las tropas americanas durante la Segunda Guerra Mundial, fue en parte, lo que llevó a realizar las primeras investigaciones. Pitts y diversos compañeros, realizaron un estudio de referencia que demostró el impacto de diversos niveles de ingesta de agua al marchar en condiciones de calor [10]. Se realizaron seis experimentos en un sujeto individual al que se hizo caminar en una sala con calor (37,7° C, 35-45% HR). Durante dos de los experimentos el sujeto no bebió agua. Durante otros dos, el sujeto consumió agua de acuerdo a su sed; y durante los dos restantes, se le obligó a beber agua cada 15

minutos en cantidades equivalentes a la pérdida de sudor (Tabla 1).

Tabla 1. Ingesta insuficiente de agua, agotamiento por calor y rendimiento

	Sin agua	Agua para satisfacer sed	Agua cada 15 minutos, equivalente a la pérdida de sudor
Horas de marcha	4-5	5-6	Experimento detenido a las 6 horas
Distancia recorrida	16 mi	19 mi	16 mi
Temperatura rectal	> 38,8° C	38,3-38,8° C	38° C Estable
	Aumento	Aumento	
Resultado	Agotamiento por calor	Agotamiento inminente	El sujeto declaró que podía caminar todo el día sin problemas

Adaptado de Pitts *et al.*, 1944 [10].

Tratando los resultados, los autores concluyeron que "Debe enfatizarse que durante las horas de trabajo, los hombres nunca beben voluntariamente tanta agua como sudan, aunque esto sea beneficioso para mantener el equilibrio térmico, sino que por lo general beben alrededor de dos tercios de la pérdida de agua a través del sudor". Estudios posteriores han confirmado y ampliado nuestro conocimiento colectivo en relación con la importancia de mantener una hidratación adecuada para el rendimiento físico. Consultar Murray [11], Maughan [12] y Kenefick [13] en esta publicación.

En 1958, Bursill publicó estudios realizados en el Psychological Laboratory de Cambridge, Inglaterra [14]. Aunque admitía que los estudios anteriores mostraban la reducción del rendimiento bajo presión térmica, Bursill reconoció que no se había identificado el locus de dicha disminución, y dado que los procesos psicológicos complejos dependen de datos entrantes adecuados, se debería evaluar las modificaciones en la cantidad de los datos sensoriales entrantes. Para determinar los efectos del calor y la presión física sobre la atención, se llevaron a cabo tres estudios: los sujetos fueron voluntarios jóvenes y sanos pertenecientes a la Marina. Estos tuvieron que responder a señales periféricas aleatorias a la vez que se centraban en una tarea central continuada. El tiempo que los sujetos estaban expuestos al calor, el número de días de prueba y el número de estímulos presentados variaron en los tres experimentos. No se observaron disminuciones significativas, pero sí una canalización de la conciencia periférica hacia el campo central de visión en una alta proporción de los sujetos.

Leibowitz y colegas, reconociendo el trabajo de Bursill y otras personas que habían investigado el impacto del estrés fisiológico en el tiempo de reacción, llevaron a cabo un estudio para determinar si los cambios en el estrés fisiológico mostraban los mismos efectos bajo condiciones con una carga de tarea central constante [15]. Los sujetos perdieron un 2,5% o un 5% de su peso corporal ejercitándose de manera intermitente (periodos de actividad de 20 minutos) en una cinta andadora situada en una sala con calor durante 6 horas. Mientras los sujetos caminaban en la cinta se

comprobó el tiempo de reacción a estímulos visuales centrales y periféricos. Tras esas

6 horas, los sujetos estuvieron otras 2 horas en la sala realizando una serie de pruebas fisiológicas. No se observaron efectos en el tiempo de reacción a estímulos visuales centrales, pero se produjo una respuesta más rápida a los estímulos visuales periféricos (Tabla 2). Sin embargo, los efectos de la deshidratación no pudieron determinarse de manera independiente al calor y el estrés relacionado con el ejercicio. Los autores concluyeron que el estrés fisiológico provocado por las altas temperaturas y la hipohidratación no afectaban de forma negativa al tiempo de reacción periférico o central. De hecho, el tiempo de respuesta a los estímulos visuales periféricos mejoró con la práctica. Leibowitz y colegas, concluyeron que durante periodos cortos, los sujetos muy motivados y experimentados podían reducir los efectos de la presión por calor. Además, reconocieron el posible efecto de la práctica declarando lo siguiente:

"Considerando ambas fases del presente experimento, queda claro que la práctica fue la variable dominante con respecto a la detección de estímulos periféricos. El resto de numerosas variables, incluyendo un nivel de estrés poco utilizado en experimentos psicológicos, fueron insignificantes o tuvieron una importancia menor."

Yoram Epstein, de la "Israel Defense Forces Physiological Research Unit", y colegas, evaluaron el efecto combinado de modificar las cargas de calor e intensidad de las misiones en el rendimiento psicomotriz [16]. Haciendo uso de un juego computerizado de TV, nueve varones jóvenes y sanos llevaron a cabo una tarea de puntería con rifle en una sala con tres temperaturas efectivas diferentes (21°, 30° y 35° C). Para complicar las tareas, los objetivos aparecían en tres tamaños y configuraciones diferentes y los sujetos debían seguir las órdenes del instructor, situado en una sala de control adyacente. Los resultados mostraron un efecto mínimo de la carga de calor en la capacidad de los sujetos para realizar tareas sencillas, pero el número de objetivos derribados se

redujo un 17,5% en las tareas complicadas realizadas con calor (Tabla 2).

Tabla 2. Funciones cognitivas y de control motriz consideradas afectadas por la deshidratación

Función	Referencia	Condiciones	Resultados
Percepción de fatiga	Cian <i>et al.</i> , 2000 [19]	Deshidratación del 2,8% por ejercicio o calor climático	Aumento del índice de fatiga
Disparo a objetivo	Epstein <i>et al.</i> , 1980 [16]	Deshidratación del 2,5% por calor climático	Leve efecto en tareas sencillas; reducción de la velocidad y precisión en tareas complicadas
Criterio percibido	Cian <i>et al.</i> , 2000 [19]	Deshidratación del 2,8% por ejercicio o calor climático	Reducción del criterio
Precisión visual-motriz	Gopinathan <i>et al.</i> , 1988 [79]	Deshidratación del 1, 2, 3 ó 4% por ejercicio con calor	Reducción de la precisión con 2% o más de deshidratación
Memoria a corto plazo	Cian <i>et al.</i> , 2000 [19]	Deshidratación del 2,8% por ejercicio o calor climático	Reducción de la memoria a corto plazo
Memoria a corto plazo	Gopinathan <i>et al.</i> , 1988 [79]	Deshidratación del 1, 2, 3 ó 4% por ejercicio con calor	Reducción de la memoria a corto plazo con un 2% o más de deshidratación
Memoria a largo plazo	Cian <i>et al.</i> , 2000 [19]	Deshidratación del 2,8% por ejercicio o calor climático	Reducción de la memoria, principalmente tras el ejercicio
Atención	Gopinathan <i>et al.</i> , 1988 [79]	Deshidratación del 1, 2, 3 ó 4% por ejercicio con calor	Reducción de la atención con un 2% o más de deshidratación
Eficacia aritmética	Gopinathan <i>et al.</i> , 1988 [79]	Deshidratación del 1, 2, 3 ó 4% por ejercicio con calor	Reducción de la capacidad aritmética con un 2% o más de deshidratación
Tiempo de reacción en elecciones	Leibowitz <i>et al.</i> , 1972 [15]	Deshidratación del 2, 5 ó 5% por ejercicio con calor	Tiempo de respuesta más breve a estímulos visuales periféricos; sin efecto en tiempo de respuesta a estímulos visuales centrales

Adaptado en parte del Institute of Medicine and Food and Nutrition Board, 2004 [1].

Los autores concluyeron que los efectos de la intensidad del ejercicio y la carga de calor en el deterioro del rendimiento son sinérgicos; el rendimiento psicomotriz se deteriora incluso antes de que se reduzcan las respuestas fisiológicas; e incluso sujetos con gran motivación resultan afectados por la carga de calor, principalmente cuando se les asignan tareas complejas que requieren un alto grado de vigilancia, cooperación y coordinación.

Gopinathan y colegas utilizaron pruebas de rendimiento cognitivo para evaluar el efecto de diversos grados de deshidratación en el rendimiento mental [17]. Se deshidrató en un 1, 2, 3 ó 4% del peso corporal a once soldados con edades comprendidas entre 20 y 25 años, provenientes de regiones tropicales de la India, limitándoles el agua mientras se ejercitaban en una sala a 45° C y 30% HR. Cuando los sujetos alcanzaron el nivel de deshidratación deseado, se recuperaron en una sala termoneutra. Se consideraba recuperados a los sujetos cuando su ritmo cardíaco en reposo y la temperatura oral

alcanzaban los niveles en reposo iniciales o si se alcanzaban niveles constantes en los 30 últimos

minutos de la fase de recuperación. Las pruebas para evaluar la capacidad aritmética, la memoria a corto plazo y la precisión visomotriz se realizaron al comenzar el estudio y una vez que el sujeto estaba recuperado. Con un nivel de deshidratación del 2% o superior del peso corporal, se observaron disminuciones significativas del rendimiento mental (Tabla 2). Para conocer más detalles de este estudio, consultar Lieberman [18].

Cian y colegas, realizaron un estudio para comparar los efectos de la euhidratación, la deshidratación inducida por ejercicio, la deshidratación inducida por calor y la hiperhidratación en la función cognitiva [19]. La hiperhidratación se indujo utilizando una solución de agua y glicerol. Para varones sanos, cuyo entrenamiento habitual consistía en cuatro sesiones de 1 hora corriendo a la semana, se eliminó la aclimatación al calor. Todos los sujetos recibieron cuatro tratamientos de diseño cruzado. Una vez alcanzado el nivel de hidratación deseado, los

sujetos permanecieron sentados durante 90 minutos en un entorno termoneutro (25° C, 40% HR). Al finalizar la fase de recuperación, los sujetos se ejercitaron en un ergómetro con cigüeñal hasta que no pudieron mantener la potencia requerida para el ejercicio (aproximadamente 15-20 minutos). La batería de pruebas cognitivas se realizó antes de la intervención (mientras los sujetos estaban descansados e hidratados), 30 minutos después de finalizar la fase de manipulación con hidratación y de nuevo 15 minutos tras la prueba en el ergómetro, en la que los sujetos se habían ejercitado hasta el agotamiento. El nivel medio de deshidratación alcanzado durante las dos pruebas de deshidratación fue de -2,8% del peso corporal. Los resultados mostraron que, en comparación con el estado de euhidratación, los dos estados de deshidratación resultaron en aumento de la fatiga, aumento de los errores de precisión, aumento del tiempo de reacción para tomar decisiones y disminución de la memoria a corto plazo (Tabla 3). El estado de hiperhidratación se diferenció del de euhidratación únicamente en la memoria a corto plazo. Los investigadores concluyeron que el efecto positivo en la memoria podría atribuirse a la sobrecarga hídrica, pero que, basándose en los datos disponibles, el mecanismo exacto no podía identificarse, al igual que otros efectos indirectos del glicerol.

Un limitación fundamental de los estudios similares a los resumidos anteriormente es que no es posible determinar los efectos de la deshidratación sin tener en cuenta los efectos de

otros factores de estrés (térmicos, físicos, fatiga). Teniendo en cuenta esta limitación, Szinnai y

diversos compañeros llevaron a cabo un estudio con el que pretendían determinar si la deshidratación moderada progresiva lenta (pérdida del 2-5% del peso corporal) inducida mediante la privación del agua afectaba al rendimiento mental [20]. Los sujetos, ocho mujeres y ocho hombres, participaron en dos ensayos. Durante el ensayo con limitación de líquidos, los sujetos no pudieron beber nada y consumieron una dieta seleccionada por ellos mismos de alimentos con <75% de su peso en agua. Durante el ensayo de control, se permitió a los sujetos tomar bebidas sin alcohol (excepto café) *ad libitum* a lo largo del periodo de duración del estudio, que incluía una sesión en la que se les animaba a beber. La disminución media del peso corporal fue del 0,75% durante el ensayo de control y del 2,56% durante el ensayo de deshidratación. Los investigadores no observaron diferencias en la función cognitiva-motriz o neuropsicológica entre la prueba con privación de agua y las condiciones de control. Los autores señalaron una diferencia de género, ya que cuando se limitó el agua las mujeres presentaban un tiempo de reacción prolongado, mientras que el tiempo de reacción de los hombres era inferior. En relación con estas conclusiones, Rogers *et al.* observaron que consumir agua durante las pruebas podía mejorar o comprometer el rendimiento mental en función del nivel de sed del sujeto [21]. Para conocer una crítica sistemática de este estudio, consultar Lieberman [18].

Tabla 3. Rendimiento en estado de hiperhidratación, deshidratación por calor y deshidratación por ejercicio en comparación con el estado de euhidratación

Función cognitiva evaluada	Hiperhidratación	Deshidratación por calor	Deshidratación por ejercicio
Fatiga	↔	↑	↑
Ánimo	↔	↔	↔
Velocidad y precisión de respuesta	↔	↔	↔
Número de errores de precisión	↔	↑	↑
Comparación perceptual:			
Porcentaje de respuestas correctas	↔	↔	↔
Comparación perceptual: tiempo medio de reacción	↔	↔	↔
Memoria a corto plazo ^a	↑	↓	↓
Memoria a largo plazo ^b	↔	↔	↔

↔ Sin diferencia

↑ Aumento

↓ Disminución

^a Calculada recordando series de números

^b Calculada recordando imágenes mostradas 30 minutos antes

Adaptado de Cian *et al.* [19].

FUTURAS INVESTIGACIONES Y RETOS

De forma colectiva, las investigaciones disponibles indican que se puede producir una disminución del rendimiento físico, visomotriz, psicomotriz y cognitivo cuando se pierde un 2% o más del peso corporal debido a la limitación de agua, al calor y/o al esfuerzo físico. Como podemos extraer de la breve revisión de estudios realizada en el presente, aunque existen similitudes en las conclusiones de los diversos estudios, el diseño de las investigaciones ha variado significativamente. Independientemente de las limitaciones del diseño, los datos disponibles actualmente, y lo que es más importante, las implicaciones de efectos negativos potenciales de la hipohidratación y la deshidratación, dictan que se necesita una mayor investigación [1]. Serían de especial valor estudios con diseño experimental que permitieran discriminar elementos de confusión como el estrés térmico, el estrés físico, fatiga y otros factores.

Además de los elementos de confusión físicos citados anteriormente, también se requiere un control de otros factores para reducir la ambigüedad. Entre los ejemplos de elementos de confusión potenciales se incluyen:

- duración de la fase de deshidratación
- hora en la que se realiza la evaluación neuropsicológica
- composición de macronutrientes y micronutrientes de la dieta, así como de componentes no nutritivos
- ritmo circadiano
- cantidad y calidad de sueño
- diferencias individuales (coeficiente intelectual, inventiva, motivación, competitividad, psicopatologías)

También debe considerarse el efecto práctico (es decir, la mejora en el rendimiento que puede producirse en las medidas neuropsicológicas simplemente debido a la repetida exposición a procedimientos de prueba y estímulos). Los efectos prácticos pueden exagerar de manera artificial el rendimiento de muchas pruebas neuropsicológicas cuando se realizan como prueba-nueva prueba en intervalos de semanas, meses o incluso años. El efecto práctico fue destacado por Leibowitz y colegas[15] y continúa suponiendo un reto para la neuropsicología [22]. En relación con las recomendaciones para futuras investigaciones y el debate sobre el diseño y conducta de los estudios, consultar Lieberman [18].

Pese a la escasez de datos disponibles en el campo de la hidratación y el rendimiento cognitivo, no se puede evitar considerar aplicaciones potenciales, principalmente relacionadas con la

atención sanitaria y el bienestar general. Por ejemplo, el estado de hidratación puede ser una variable confusa en un individuo al que se le realice una evaluación neuropsicológica en entornos clínicos o educativos. Por lo tanto, se necesitan investigaciones que determinen si el estado de hidratación debe considerarse en evaluaciones de demencia (Alzheimer, vascular), daños cerebrales adquiridos (derrame cerebral, daños traumáticos del cerebro), dificultades de aprendizaje y otras evaluaciones del rendimiento cognitivo.

Revisión

Hidratación y cognición: revisión y recomendaciones para futuras investigaciones

Harris R Lieberman, PhD

U.S. Army Research Institute of Environmental Medicine, Natick, Massachusetts

Palabras clave: rendimiento cognitivo, ánimo, fatiga, deshidratación, entorno, calor, ejercicio

La escasa literatura científica existente sobre los efectos de la deshidratación en la función cognitiva humana es contradictoria e inconsistente. Aunque se ha sugerido que se presentan disminuciones en el rendimiento cognitivo con una reducción del 2 al 3% del peso corporal, diversos estudios dosis-respuesta indican que un nivel del 1% de deshidratación también puede afectar de forma negativa al mismo.

Cuando se induce una pérdida del 2% o más del peso corporal mediante exposición al calor y ejercicio, se observan disminuciones en la precisión visomotriz, la memoria a corto plazo y la atención, pero no todos los estudios encuentran efectos en la conducta a estos niveles.

Se deben realizar futuras investigaciones utilizando diseños dosis-respuesta y métodos de conducta novedosos para determinar los niveles más bajos de deshidratación que producen efectos importantes en el rendimiento cognitivo y el ánimo. En el diseño e implementación de dichos estudios deben considerarse los factores de confusión, como la ingesta de cafeína y los métodos utilizados para producir la deshidratación. En estos estudios, también debería incluirse una situación de control positivo como la ingesta de alcohol, fármacos hipnóticos u otros tratamientos conocidos para producir cambios adversos en el rendimiento cognitivo. Los esfuerzos para cegar, en la medida de lo posible, a voluntarios e investigadores, deberían ser una consideración importante en el diseño de los estudios.

Puntos claves:

- La deshidratación compromete el rendimiento cognitivo y el ánimo.
- Los efectos adversos de la deshidratación en la función cognitiva se presentan con un 2% o más de reducción de la hidratación y pueden aparecer también con un nivel del 1% de deshidratación.
- La mayoría de los estudios sobre los efectos de la deshidratación en la función cognitiva han utilizado el calor y el ejercicio para inducir una deshidratación rápida.
- Los estudios sobre el efecto de la deshidratación en la función cognitiva deberían emplear diseños dosis-respuesta.
- Aún no se han establecido las funciones de conducta específicas que pueden resultar más afectadas por la deshidratación; deberían realizarse estudios adicionales utilizando pruebas de rendimiento novedosas y cuestionarios sobre el ánimo.
- En los estudios sobre la función cognitiva y la deshidratación, se deberían utilizar, siempre que fuera posible, procedimientos de doble ciego, o sustitutos de éstos.

INTRODUCCIÓN

Una hidratación adecuada es esencial para la homeostasis humana y la supervivencia, además de para garantizar la función del cerebro. En un periodo relativamente corto de tiempo, la falta de consumo suficiente de agua resulta en el deterioro de la función cognitiva y neurológica, el fallo de

los órganos y la muerte. No obstante, los efectos de la deshidratación en el rendimiento cognitivo y la función del cerebro no se han investigado en profundidad. Existen diversas razones que explican la falta de investigación de los efectos de la deshidratación en la función del cerebro humano. La deshidratación es difícil de evaluar con precisión (ver Armstrong [1]). Para su estudio se

Remitir solicitudes de reimpresión a: Harris R. Lieberman, PhD, US Army Research Institute of Environmental Medicine, Natick, MA 01760. Correo electrónico: harris.lieberman@us.army.mil

Presentado en la Conferencia del ILSI North America sobre Hidratación y Promoción de la Salud, celebrada el 29-30 de noviembre de 2006 en Washington, DC.

Revelación conflicto de intereses: No existen conflictos de intereses declarables en relación con esta obra.

Revista del American College of Nutrition, Vol 26, N° 5. 555S-561S (2007)

Publicada por el American College of Nutrition

necesita una experiencia fisiológica específica considerable, ya que producir cambios fiables en la hidratación es complicado y requiere muchas exigencias. Lograr un nivel preciso de deshidratación es muy difícil, e incluso los mejores estudios no han conseguido los resultados deseados. Además, existen muchos elementos de confusión asociados a dichos estudios, entre ellos la naturaleza y duración de los elementos de presión utilizados para producir la deshidratación, normalmente el calor y el ejercicio aeróbico continuado. Asimismo, dado que existen categorías fisiológicamente distintas de deshidratación, por ejemplo hipotónica e isotónica, generalizar los resultados de estudios específicos puede ser muy complejo.

Evaluar la función cognitiva humana también es difícil y complejo. Existen cientos de pruebas del rendimiento cognitivo pero poco acuerdo entre los psicólogos sobre qué prueba utilizar para evaluar funciones específicas como la atención, el aprendizaje, la memoria y el razonamiento [2, 3]. Al examinar un campo tan único como los efectos de la deshidratación en la función cognitiva, con material publicado disponible limitado, existen pocos principios establecidos que los investigadores que trabajan en el área puedan aplicar directamente. Quizá los campos de investigación más relacionados sean la psicofarmacología y la neurociencia nutricional, de los cuales se han resuelto numerosas cuestiones metodológicas [3].

Dado que la deshidratación severa desemboca de manera inevitable en delirio, coma y la muerte, no existen dudas de que antes de que se presenten esas graves consecuencias, la función cognitiva se verá afectada (Fig. 1) [4, 5]. No obstante, no se dispone de información suficiente para determinar el nivel y duración de la deshidratación que provocarían fallos cognitivos y qué funciones cognitivas se verían más perjudicadas. La deshidratación es un elemento de estrés único con efectos fisiológicos únicos que pueden o no ser similares a los efectos de otros elementos de estrés que afectan a la función cognitiva. Por ejemplo, la deshidratación, a diferencia de otros elementos de estrés, puede producir cambios en los electrolitos, lo que podría alterar de manera importante la neurotransmisión del cerebro dado que la función neuronal depende en gran medida del medio fisiológico del sistema nervioso central (SNC). Para conocer un debate sobre los posibles mecanismos fisiológicos que pueden ser

responsables de los efectos adversos de la deshidratación en la función del cerebro, consulte a Wilson y Morley [5] y a Maughan [6]. Haciendo uso del escaso material disponible en el campo, este artículo intentará proporcionar diversas nociones sobre los efectos de la deshidratación en la función cognitiva, señalar las principales cuestiones metodológicas y sugerir recomendaciones para futuras investigaciones.

CUESTIONES METODOLÓGICAS

Inducción de la deshidratación

Inducir la deshidratación de una forma coherente y controlada es complicado. La mayoría de los estudios que han examinado el efecto de la deshidratación en la función cognitiva han utilizado una combinación de exposición al calor y ejercicio controlado (para conocer una revisión completa, consultar a Sawka [7]). Desafortunadamente, existen limitaciones inherentes a este procedimiento. La exposición al calor y ejercicio de manera independiente alterarán de manera invariable el rendimiento cognitivo y el estado de ánimo [8-10]. Los investigadores a menudo intentan controlar estos efectos de confusión potencial haciendo uso de una condición de control de hidratación total con exposición a calor y ejercicio equivalente a la de la condición de la prueba de deshidratación. No obstante, esto sugiere que los efectos del calor y el ejercicio serán idénticos independientemente de los efectos del estado de hidratación. De hecho, una combinación de elementos de estrés puede tener efectos complejos y no lineales en el rendimiento cognitivo. La suma de los efectos obtenidos combinando calor, ejercicio y deshidratación pueden no ser aditiva con respecto a la exposición al calor y ejercicio de manera independiente. Esto podría conducir a sobre o infravalorar los efectos de la deshidratación en sí misma, dependiendo de la medida y dirección de toda interacción no lineal de la combinación de los elementos de estrés. Por ejemplo, si la deshidratación aumenta los efectos del calor y el ejercicio, parecerá que la deshidratación tiene mayor efecto en el rendimiento cognitivo que el que se observaría si la única condición del tratamiento fuera la deshidratación. Por tanto, los estudios de deshidratación inducida por calor y ejercicio no deberían considerarse estudios de deshidratación "puros".

Otro método para inducir la deshidratación es la restricción de líquidos y alimentos con alto contenido en agua. Desafortunadamente, esta técnica sólo se ha utilizado de manera aparente en dos estudios recientes, y como se comenta más adelante, estos tienen limitaciones significativas [11, 12].

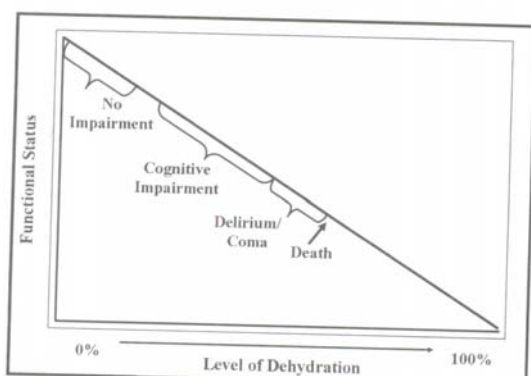


Fig. 1. Disminución de la función debido a la deshidratación

Ventajas del diseño dosis-respuesta

Un diseño estándar muy empleado en la investigación farmacológica es administrar el componente de interés en una serie de dosis graduales. Al igual que la dosis de un fármaco, la deshidratación es una variable continua y se puede inducir a distintos niveles, dentro de los límites de la seguridad del voluntario, para evaluar de forma precisa el estado de hidratación. Los estudios dosis-respuesta tienen diversas ventajas, incluyendo un modo firme de control interno. Además de facilitar información sobre los efectos paramétricos de un tratamiento concreto, si los resultados de un estudio se relacionan con la dosis de manera sistemática, se obtendrá una reproducción interna de sus conclusiones.

Utilizar un diseño dosis-respuesta para estudiar los efectos de la deshidratación en el rendimiento cognitivo es una estrategia particularmente adecuada dada la complejidad inherente asociada a la evaluación de la función cognitiva. Dado el elevado número de tipos de funciones cognitivas, cada una dirigida por diferentes regiones del cerebro y sistemas neurotransmisores, es probable que éstas se vean afectadas de modo diferente por la deshidratación. La reproducción interna ofrecida por un estudio dosis-respuesta permite estar más seguros de que los resultados del mismo son correctos. La deshidratación es particularmente adecuada para su estudio a través de un diseño dosis-respuesta ya que parece producir cambios graduales y monotónicos en la función cognitiva, como han indicado diversos estudios [13, 14]. Estos estudios sugieren que, a medida que aumenta la deshidratación, también aumentan los efectos adversos en la conducta. Los tratamientos nutricionales y farmacológicos no siempre producen funciones dosis-respuesta monotónicas. Con los fármacos y determinados componentes alimenticios, cuando la dosis administrada aumenta superando los niveles óptimos, los efectos beneficiosos a menudo se reducen y pueden producirse cambios adversos. Por ejemplo, una dosis baja y moderada de cafeína tiene efectos positivos en el rendimiento cognitivo y el ánimo, mientras que una dosis alta tiene efectos adversos [15, 16].

ESTUDIOS DE DESHIDRATACIÓN INDUCIDA POR CALOR Y/O EJERCICIO

La mayoría de los estudios que han examinado los efectos de la deshidratación en el rendimiento cognitivo han empleado el calor, el ejercicio, o una combinación de ambos factores para producir la hipohidratación. Para que dichos estudios sean interpretables, es esencial que incluyan una condición de control de hidratación total en la que se estudie la exposición equivalente al calor y/o el

ejercicio [7]. Uno de los estudios más completos realizados utilizando este diseño evaluó los efectos de niveles de deshidratación entre aproximadamente un 1 y un 4% en incrementos del 1% en 11 varones sanos de entre 20 y 25 años [14]. Los voluntarios se aclimataron al calor antes de comenzar el estudio y se examinó a cada uno de ellos en cinco condiciones experimentales. Estos realizaron una actividad moderada continuada subiendo y bajando de una plataforma de 38 cm. a una velocidad de 15 pasos/minuto y deteniéndose al alcanzar el nivel de deshidratación deseado. La sala en la que se les deshidrató se mantuvo a una temperatura de 45° C con un 30% de humedad relativa (HR). Además de una condición de control de hidratación total con exposición a calor y ejercicio, los investigadores incluyeron una condición de control termoneutra sin ejercicio.

La pruebas de conducta empleadas incluyeron una prueba de adición consecutiva, otra de reconocimiento de palabras y una última de realización de trazados. La adición consecutiva consistió en una prueba de audición que evaluaba la memoria a corto plazo y el razonamiento. Sesenta números de un dígito aleatorios se agruparon en 12 conjuntos de cinco números; los números de cada conjunto se leyeron a los voluntarios a una velocidad de un número cada dos segundos. Los voluntarios debían sumar los cinco números consecutivos y escribir el total. El resultado se obtuvo a partir del porcentaje de respuestas correctas. El reconocimiento de palabras fue una prueba de audición en la que se leían 15 palabras de una lista de 52 a una velocidad de una palabra cada dos segundos. Tras escuchar las 15 palabras, los voluntarios recibían la lista escrita y debían marcar el mayor número posible de palabras que pudieran recordar de entre las 15 que habían escuchado. El resultado se obtuvo a partir del porcentaje de palabras señaladas correctamente. La realización de trazados evalúa la memoria a corto plazo, el razonamiento y el control motriz. Los voluntarios recibieron una hoja de prueba con 48 símbolos dispersos – la mitad de ellos eran números consecutivos y la otra mitad letras consecutivas del alfabeto latino. Los voluntarios debían trazar una línea alternando entre un número y una letra durante 60 segundos lo más rápido posible y sin levantar el lápiz del papel [14].

La Fig. 2a presenta los resultados de la prueba de adición consecutiva. El nivel deseado de deshidratación se indica en el eje Y, y directamente debajo del mismo, entre paréntesis, se especifica el nivel medio calculado de deshidratación alcanzado. En todos los casos, el nivel de deshidratación alcanzado superó el nivel previsto. La deshidratación prevista a nivel del 1, 2, 3 y 4% produjo una disminución importante del número de respuestas correctas en esta tarea. Además, se observó una reducción relacionada con la dosis

continuada en el rendimiento en todos los niveles de deshidratación. En la prueba de realización de trazados, se obtuvo un patrón similar, observando una disminución de la velocidad para completar la prueba a medida que la deshidratación aumentaba a un nivel del 2, 3 y 4% (Fig. 2b). La tercera prueba, el reconocimiento de palabras, mostró el mismo resultado, con una disminución del porcentaje de palabras recordadas a medida que aumentaba la deshidratación. Los efectos con niveles del 1, 2, 3 y 4% fueron estadísticamente significativos [14].

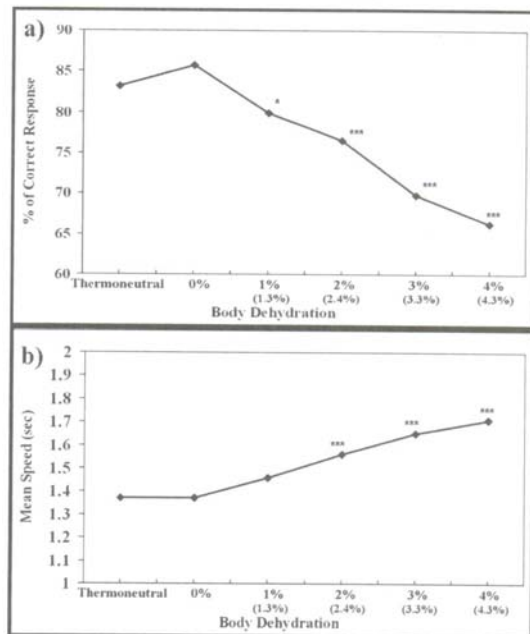


Fig. 2. a) Porcentaje de respuestas correctas en la prueba de adición consecutiva. Los resultados corresponden a condiciones termoneutras del 0, 1, 2, 3 y 4% de deshidratación. Los niveles reales de deshidratación se muestran entre paréntesis bajo los niveles objetivo deseados (* $p < 0,05$; *** $p > 0,001$). Datos extraídos de Gopinathan *et al.* [14]. b) Velocidad media (seg.) en la prueba de realización de trazados con condiciones termoneutras del 0, 1, 2, 3 y 4% de deshidratación. Los niveles reales de deshidratación alcanzados se muestran entre paréntesis bajo los niveles objetivo deseados (** $p < 0,001$). Datos extraídos de Gopinathan *et al.* [14].

Los resultados de este estudio son particularmente firmes dado que las tres pruebas realizadas detectaron un deterioro continuado del rendimiento cognitivo en relación con la dosis. Además, la introducción de una segunda condición de control, en la que se expuso a los voluntarios a condiciones termoneutras sin realizar ejercicio durante el periodo en el que se habría inducido la deshidratación, proporcionó un punto de referencia adicional para la comparación. Para cada tarea cognitiva, el rendimiento durante esta condición fue similar al de la otra condición de control (Fig. 2), apoyando de forma complementaria la validez y precisión de las conclusiones.

Sharma *et al.* [13] llevaron a cabo un estudio similar en el mismo laboratorio en el que se había realizado el estudio descrito anteriormente. Este

estudio evaluó los efectos de la deshidratación a niveles del 1 al 3% en ocho varones de entre 21 y 24 años. En él, el método principal utilizado para inducir la deshidratación fue la realización de ejercicio moderado con calor, y la prueba de conducta se implementó en tres condiciones distintas: termoneutra (30° C, 50% HR), cálida seca (45° C, 30% HR) y cálida húmeda (39° C, 60% HR). Se indujeron tres niveles de deshidratación entorno al 1, 2 y 3%. Las pruebas de conducta empleadas consistieron en una prueba de sustitución de símbolos, una prueba de concentración y una prueba de coordinación ojo-mano. En la prueba de sustitución de símbolos, se presentó a los voluntarios un código en el que diez letras se asociaban con uno de diez diseños. A continuación, se mostraba a los voluntarios diversas filas horizontales de los diseños geométricos en orden aleatorio. Estos contaban con tres minutos para escribir la letra correcta del código bajo el mayor número posible de símbolos. La prueba de concentración evaluó la memoria de trabajo. Se leyeron en voz alta diez series de números a una velocidad de una por segundo. En intervalos aleatorios se detuvieron las series y los voluntarios tuvieron que intentar escribir los cinco últimos número leídos en orden inverso [17]. Para la prueba de coordinación ojo-mano se utilizó una placa de metal con una ranura en forma de estrella de ocho puntas de 0,5 cm. de anchura. Los voluntarios debían mover un bolígrafo por la ranura sin tocar el borde. El resultado se obtuvo basándose en el tiempo necesario para completar la prueba y el número de errores [13].

En dos de las tres pruebas se observaron importantes efectos de la deshidratación relacionados con la dosis. En una de ellas, la sustitución de símbolos, sólo se señalaron efectos significativos de la deshidratación a partir del 3% ($p < ,05$) (Fig. 3a), pero en cambio, en la prueba de coordinación ojo-mano, los efectos se presentaron con los tres niveles de deshidratación en al menos una de las condiciones medioambientales ($p < ,01$) (Fig. 3b). Los resultados de este estudio son firmes e internamente coherentes dado que las pruebas se realizaron con tres niveles de hidratación y en tres condiciones ambientales distintas. Entre los parámetros ambientales, se observaron cambios graduales relacionados con la dosis del rendimiento cognitivo (Fig. 3) [13].

Aunque estos dos estudios ofrecen una perspectiva de los efectos de la deshidratación en el rendimiento cognitivo, no proporcionan indicios sobre qué funciones de conducta se ven más afectadas por la deshidratación. En las pruebas empleadas no se diferenciaron de manera adecuada los efectos de la deshidratación de los efectos específicos en funciones cognitivas concretas como el aprendizaje, la memoria o la vigilancia [13, 14].

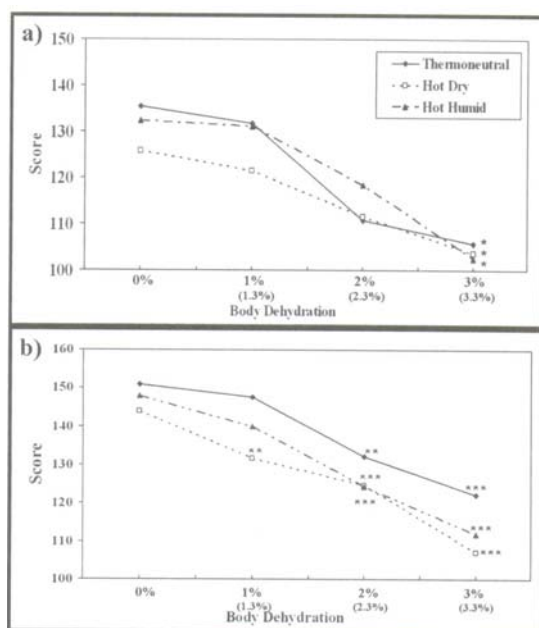


Fig. 3. a) Resultados de la prueba de sustitución de símbolos con niveles de deshidratación del 0, 1, 2 y 3% en tres condiciones ambientales; termoneutra, cálida-seca y cálida-húmeda. Los niveles medios de deshidratación real de las condiciones cálida-seca y cálida-húmeda se muestran entre paréntesis bajo los niveles objetivo. Los niveles de deshidratación real de la condición termoneutra no se han facilitado. (* $p < .05$; este valor se ha calculado a partir de los datos originales, ya que los autores no realizaron comprobaciones por debajo de $p < 0.01$). Datos extraídos de Sharma *et al.* [13]. B) Resultados de la prueba de coordinación ojo-mano con niveles de deshidratación del 0, 1, 2 y 3% en tres condiciones ambientales: termoneutra, cálida-seca y cálida-húmeda. Los niveles medios de deshidratación real de las condiciones cálida-seca y cálida-húmeda se muestran entre paréntesis bajo los niveles objetivo. Los niveles de deshidratación real de la condición termoneutra no se han facilitado. (** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$). Datos extraídos de Sharma *et al.* [13].

ESTUDIOS DE LA DESHIDRATACIÓN INDUCIDA ÚNICAMENTE MEDIANTE PRIVACIÓN DEL AGUA

Existen pocos estudios que hayan examinado los efectos de la deshidratación inducida únicamente mediante la privación del agua en el rendimiento cognitivo. Un estudio reciente en el que participaron 16 hombres y mujeres sanos de entre 20 y 34 años, evaluó los efectos de permanecer 28 horas autocontroladas sin agua, que resultaron en un nivel de deshidratación medio del 2,6% [12]. Cada voluntario participó en una sesión de control y deshidratación en orden aleatorio. Durante la mañana del primer día, se recopilaban datos de referencia después de que los voluntarios evitaran tomar bebidas con cafeína esa mañana. Se impidió ingerir todo tipo de líquidos durante la sesión de deshidratación y los voluntarios seleccionaron la comida a partir de alimentos con menos del 75% de su peso en agua durante las 28 horas que duró el estudio. A lo largo de la sesión

de control, se permitió a los voluntarios tomar todo tipo de bebidas sin alcohol, excepto café.

Las pruebas de conducta utilizadas consistieron en una tarea de tiempo de reacción en elecciones, una tarea de precisión manual, una tarea de adición consecutiva tras audición y la prueba de conflicto palabra-color de Stroop. La prueba de tiempo de reacción en elecciones fue una prueba de cinco minutos en la que se presentó una secuencia aleatoria de luces de colores y los voluntarios debían responder pulsando los botones correspondientes. En la tarea de precisión manual, los voluntarios tenían que seguir con el cursor en una pantalla de ordenador un círculo blanco en movimiento durante tres minutos. La tarea de adición consecutiva tras audición fue similar a la prueba de adición consecutiva utilizada por Gopinathan *et al.* [14], aunque en esta ocasión la prueba era una versión informatizada y en ella se presentaban los números en intervalos de 2,5 segundos. Los voluntarios debían sumar los dos últimos dígitos lo más rápido posible y responder de manera verbal. La prueba de conflicto palabra-color de Stroop evaluó el tiempo de respuesta a estímulos equívocos. En ella se mostraban en una pantalla nombres de colores escritos en un color diferente (por ejemplo "verde" aparecía en la pantalla en letra roja). En una parte de la prueba los voluntarios debían decir el color de la letra y en otra parte el color que aparecía escrito. Mediante cuestionarios se evaluó el cansancio y vigilancia, así como el esfuerzo percibido y la concentración requerida para completar las pruebas conductuales a partir de la información facilitada por los voluntarios [12].

No se detectaron efectos significativos en el rendimiento cognitivo con un 2,6% de deshidratación. No obstante, se observaron efectos de la deshidratación en los niveles de cansancio, vigilancia, esfuerzo y concentración señalados ($p < 0.05$). La implementación de este estudio tuvo algunos errores. En primer lugar, durante la prueba de control los voluntarios perdieron peso y por lo tanto se deshidrataron en cierta medida (0,75%), además de la prueba en que presentaban niveles de deshidratación (2,56%). Además, no se controló adecuadamente la cantidad de cafeína ingerida. Sólo se limitó el consumo de café, pero al parecer los voluntarios tuvieron acceso a otras bebidas con cafeína durante ambas condiciones. Dado que la abstinencia a la cafeína produce efectos adversos en el rendimiento cognitivo y el ánimo [18], la condición de deshidratación podría haber sido inducida por la abstinencia a la cafeína, ausente en la prueba de control.

Otro estudio en el que se utilizó únicamente la privación de agua para conseguir la deshidratación, no evaluó el rendimiento cognitivo, pero valoró el ánimo en diversos momentos durante un periodo de 37 horas supervisado de forma personal de

privación de agua, que resultó en un nivel medio de deshidratación del 2,7% [11]. Quince voluntarios con una edad media de 30 años participaron en dos condiciones, una con restricción de líquidos y otra con euhidratación. En ambas condiciones, los voluntarios llegaron al laboratorio tras haber evitado el consumo de alcohol y el ejercicio durante 24 horas y sin haber comido en cuatro horas. Tras realizar mediciones de referencia, se permitió a los voluntarios que abandonaran el laboratorio. Durante la condición de euhidratación, se pidió a los voluntarios que siguieran su dieta e ingesta de líquidos habitual. Durante la restricción de líquidos, los voluntarios tuvieron que restringir los líquidos y seleccionar alimentos con un bajo contenido en agua de una lista facilitada. Estos volvieron al laboratorio tras 24 y 37 horas para que se les realizaran mediciones idénticas a las tomadas al inicio [11].

En cada sesión de evaluación, se les facilitó un cuestionario personal de ocho elementos con una escala analógica visual de 100 mm. La escala medía la sed, el hambre, la sequedad bucal, el gusto de la boca, el dolor de cabeza, la concentración, el cansancio y la vigilancia. Los índices de sed y sequedad bucal fueron significativamente superiores en la condición de restricción de líquidos ($p < 0,05$). La sensación de dolor de cabeza fue mayor durante la restricción de líquidos frente al estado de euhidratación tras 24 horas ($p < 0,005$) y 37 horas ($p < 0,05$) (Fig. 4a), 1,8% y 2,6% de deshidratación respectivamente (Fig. 4c). También se redujeron de manera importante la concentración (Fig. 4b) y la vigilancia tras 13 horas (1% de deshidratación), 24 horas (1,8% de deshidratación) y 37 horas (2,6% de deshidratación) en el caso de la restricción de líquidos, si lo comparamos con el estado de euhidratación ($p < 0,05$), y los voluntarios con restricción de líquidos afirmaron sentirse más cansados tras 24 horas ($p = 0,001$) [11]. En este estudio parece que no se controló la ingesta de cafeína, una limitación importante ya que los efectos adversos de la deshidratación podrían haber sido el resultado de la abstinencia a la cafeína. Dicha abstinencia a la cafeína puede provocar dolor de cabeza en individuos susceptibles, aumentar el cansancio y reducir la vigilancia, todos ellos síntomas observados en el estudio [18].

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES

Debido a la falta de datos, no se pueden presentar conclusiones definitivas en relación con los efectos de la restricción de líquidos en el rendimiento cognitivo. No obstante, queda claro que la deshidratación inducida mediante exposición al calor, ejercicio y limitación de líquidos compromete el rendimiento cognitivo y el ánimo.

Los efectos adversos se presentan con niveles de pérdida del 1,3% del peso corporal y pueden observarse también con niveles de deshidratación inferiores. Dado que los pocos estudios dosis-respuesta publicados no emplean pruebas de conducta novedosas sensibles a los efectos de tratamientos experimentales en el rendimiento cognitivo, éstos pueden subestimar los efectos adversos de la hipohidratación. Para conocer el debate sobre la importancia de la sensibilidad de las pruebas en los estudios conductuales con factores nutricionales o privación del sueño, consultar a Balkin *et al.* [19] y Lieberman [3]. Además, las pruebas utilizadas no permiten determinar las funciones de conducta específicas afectadas por la deshidratación.

Deberían realizarse estudios en el futuro que utilicen tanto la deshidratación inducida mediante calor/ejercicio como únicamente la restricción de líquidos. En dichos estudios debería emplearse una batería de pruebas de conducta sensibles a los

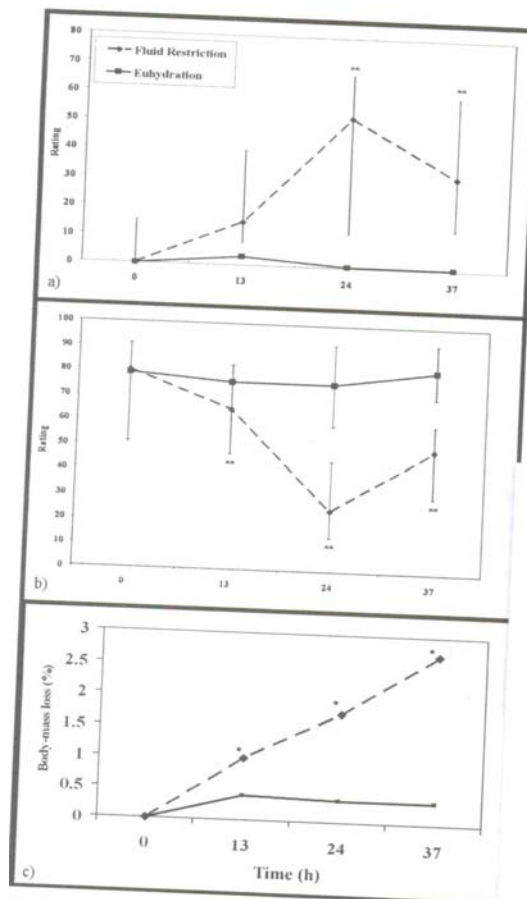


Fig. 2 a) Índices de la pregunta "¿Cuánto le duele la cabeza ahora mismo?" en las condiciones de restricción de líquidos y euhidratación. (** $p < 0,01$ en comparación con la condición de euhidratación). Datos extraídos de Shirreffs *et al.* [11]. b) Índices de la pregunta "¿Qué nivel de concentración puede alcanzar ahora mismo?" en las condiciones de restricción de líquidos y euhidratación. (** $p < 0,01$ en comparación con la condición de euhidratación) Datos extraídos de Shirreffs *et al.* [11]. c) Cambios de la masa corporal en las condiciones de restricción de líquidos y euhidratación (* $p < 0,05$ en comparación con la condición de euhidratación). Datos extraídos de Shirreff *et al.* [11].

diversos factores nutricionales y ambientales y que puedan evaluar las funciones de conducta específicas [3]. Como se ha comentado anteriormente, el diseño óptimo de dichos estudios evaluaría la deshidratación en diversos niveles graduales. Además, en ellos debería incluirse un control "positivo", como la ingesta de alcohol o tratamientos con fármacos con propiedades hipnóticas, por ejemplo la difenhidramina o la benzodiacepina [20-22]. Un control positivo proporcionaría un sistema métrico para relacionar cualquier efecto de la hipohidratación con un factor con capacidad conocida de comprometer el rendimiento cognitivo. Además, todos los estudios deberían intentar ocultar la condición del tratamiento de los voluntarios y los investigadores. La inclusión de una condición de control positivo, y un tratamiento con placebo para ese tratamiento, ayudará a ocultar la condición de deshidratación, ya que los placebos podrían administrarse en todas las fases del estudio. De manera alternativa, una línea intravenosa (IV) con el índice de flujo oculto para voluntarios e investigadores responsables de realizar las pruebas de conducta podría utilizarse para mantener la hidratación. En la condición de deshidratación, no se facilitarían líquidos [23].

RECONOCIMIENTOS

Esta obra ha recibido el apoyo del "U.S. Army Medical Research and Materiel Command (USAMRMC)". Las opiniones y conclusiones de este informe son las de sus autores, y no deben considerarse una posición, política o decisión oficial del "Department of the Army" a menos que así se especifique en otros documentos oficiales. La citación de organizaciones o nombres comerciales en este informe no garantiza la aprobación del "Department of the Army" de los productos o servicios de dichas organizaciones.

Revisión

Hidratación en niños

Friedrich Manz, MD

Research Institute of Child Nutrition, Dortmund, ALEMANIA

Palabras clave: hidratación, deshidratación, hipohidratación, niños

El consumo de agua es un problema público básico. En la ciencia moderna, pueden distinguirse tres periodos con diferentes aproximaciones con el fin de definir la ingesta de agua recomendada en adultos.

Los pediatras han acordado que en los niños, la hidratación sólo puede ser óptima durante la lactancia. Se necesitan más datos sobre los efectos en la salud de los diferentes estados de hidratación y los distintos niveles de ingesta de agua en los diversos grupos de acuerdo a género y franjas de edad, con el fin de definir los niveles adecuados de ingesta de agua. El feto se desarrolla en un entorno excepcionalmente bien hidratado. El metabolismo del agua muestra diversas peculiaridades en niños tanto prematuros como nacidos a término.

La diarrea infantil continúa siendo un tema principal de la investigación básica y clínica. La intoxicación por agua en bebés y niños no es frecuente y sólo se observa en circunstancias excepcionales. El estado de hidratación caracterizado por la hiponatremia puede ser fundamental en la patogénesis de convulsiones febriles en niños. Existen cada vez más pruebas indirectas que indican que la ingesta de agua espontánea de la población puede fijarse en el rango de edad de 1 a 2 años.

Las diferencias entre sexos en cuanto al estado de hidratación son comunes, pero no obligatorias. ¿Qué causa estas diferencias? ¿Qué se encuentra tras los diversos ritmos circadianos de la osmolaridad urinaria en los niños? ¿A qué edad y qué cantidades de alcohol y cafeína pueden ser toleradas? ¿Cómo puede definirse la susceptibilidad individual?. Teniendo en cuenta la moderna epidemia de obesidad en la infancia y adolescencia, parece obligatorio establecer un consenso público sobre el uso adecuado e inadecuado de las bebidas azucaradas. Las referencias sobre ingesta de agua se refieren al consumo en un periodo de 24 horas. En la orientación nutricional, se facilitan principalmente consejos sobre alimentos y comidas. Los padres jóvenes se enfrentan a numerosos consejos de distintos tipos. Se deberían recopilar y revisar las recomendaciones sobre consumo de líquidos.

Puntos claves:

- Los bebés prematuros muestran diversas peculiaridades en el metabolismo del agua, y las técnicas disponibles para medir la composición corporal de dichos bebés sólo permite realizar comparaciones entre grupos, no observaciones a largo plazo de los individuos.
- El estado de hidratación cultural, familiar e individual, caracterizado por la reserva de agua libre, difiere considerablemente en los niños.
- Aunque basada en observaciones correctas en un momento dado, desde el punto de vista actual, la mayor parte de la opinión pública sobre consejos sanitarios en relación a la ingesta de fluidos se considera errónea.

INTRODUCCIÓN

Actualmente existen valores de referencia de consumo diario de la mayoría de los nutrientes esenciales establecidos. Estos varían

considerablemente en función de la precisión con la que se han calculado y son revisados de forma constante. Resulta interesante que no se

Remitar solicitudes de reimpresión a: Dr. Friedrich Manz, Research Institute of Child Nutrition, Heinstück 11, D-44225 Dortmund, ALEMANIA. Correo electrónico: fr.manz@t-online.de

Presentado en la Conferencia del ILSI North America sobre Hidratación y Promoción de la Salud, celebrada el 29-30 de noviembre de 2006 en Washington, DC.

Revelación conflicto de intereses: No existen conflictos de intereses declarables en relación con esta obra.

Revista del American College of Nutrition, Vol 26, N° 5. 562S-569S (2007)

Publicada por el American College of Nutrition

fomenten valores de ingesta diaria de referencia para el agua, el nutriente cuantitativamente más como el nutriente cuya ausencia provocaría la muerte más rápida) de manera general [1]. Diferencias como el clima, la actividad física y la carga renal de solutos, así como la falta de un indicador aceptado de forma general de euhidratación, hacen que sea difícil caracterizar el estado de hidratación individual y definir una ingesta total de agua adecuada. Por ello, el papel de los diferentes estados de hidratación en la patofisiología de las distintas enfermedades no está bien delineado.

En este estudio, se presentan diversos temas de interés en relación con la hidratación de niños y bebés sanos. Los efectos de las distintas etapas de deshidratación en el rendimiento físico, el bienestar, la función cognitiva y el rendimiento mental (como la reducción de la vigilancia y la capacidad de concentración, dolores de cabeza y cansancio) serán tratados por otros autores en este suplemento.

MODELOS HISTÓRICOS DE INGESTA DE AGUA RECOMENDADA

El consumo adecuado de agua y/o líquidos es un problema público básico y las distintas sociedades utilizan métodos variados para tratarlo. La ciencia moderna comenzó a cuantificar la ingesta y pérdida total de agua de los adultos en la segunda mitad del siglo XIX (Tabla 1).

Adultos

En 1866, Pettenkofer y Voit calcularon la

importante y esencial (definiendo "esencial"

eliminación de agua durante un periodo de 24 horas a través de la orina, la piel, los pulmones y las heces en hombres activos en reposo o durante el trabajo [2]. Förster observó una eliminación total de agua de 2.215-3.538 ml./día en un grupo de varones [3]. Dado que se desconocía el contenido de agua de los alimentos y el agua metabólica, calculó un contenido de agua en los alimentos de alrededor de 500 ml./día y recomendó una ingesta diaria de bebidas de 1.700-3.000 ml./día.

En los siguientes 70 años, el valor medio observado de ingesta o pérdida total de agua en adultos europeos se utilizó para definir la ingesta de agua recomendada en adultos.

Tras la Primera Guerra Mundial, Gamble utilizó un protocolo muy estricto de restricción de líquidos en un pequeño grupo de estudiantes jóvenes y sanos a través del cual definió la media máxima de osmolalidad urinaria como 1.400 mosm./kg. [4]. Haciendo uso de este valor y de una carga media renal de solutos de 700 mosm./día, estimó un volumen de orina mínimo de 500 ml./día y calculó una eliminación total mínima media de agua de 1.400 ml./día. En los años siguientes, se cuestionó la cantidad del volumen de orina mínimo. Adolph observó un volumen de orina mínimo de 900 ml./día en soldados destinados en el desierto [5]. Widdowsen quizá basó su propuesta de un volumen de orina mínimo de 300 ml./día en los hábitos nutricionales especiales de habitantes de Nueva Guinea que se alimentaban a base de boniatos [6]. La recomendación de ingesta diaria de agua total se situó justo por encima del

Tabla 1. Modelos para definir la ingesta total de agua recomendada en varones adultos

Equilibrio de agua	Pérdida total de agua media de adultos europeos		Consumo de agua mínimo		Ingesta de agua en relación con el contexto			
	Pettenkofer [2]		Förster [3]	Gamble [4]	Adolph [5]	RDA [7]	Manz [9]	Didelot [10]
	Varón reposo	Varón Actividad				En relación con gasto de energía	Modelo fisiológico epidemiológico	Eliminación de ácido úrico renal máxima
	Media ml./día	Media ml./día	Media ml./día	Media ml./día	Media ml./día	Media ml./kcal. (ml./día)	Media Varón ml./día	Media Mujer ml./día
Consumo total de agua							2.494**	2.062**
Bebidas			>500*				1.544	1.236
Alimentos							715	639
Agua metabólica							351	258
Pérdida total de agua:	2.240	2.960	2.215-3.538	1.400	1.900		2.610	2.133
Orina	1.200	1.150		500	900		1.530	1.469
Piel, pulmones	930	1.730		800	1.000		1.080	664
Heces	110	80		100				
Agua libre: Reserva [§] 3								
Percentil							-426	-225
Ingesta adecuada de:								
Agua total				>1.400	>1.900	1(≈2.750)	2.920 [§]	2.287 [§]
Bebidas			1.700-3.000*			(≈1.500)	≈1.970	≈1.461
								>2.880

* Valores estimados.

** Medio.

[§] Reserva de agua libre [ml./día] = Volumen de orina [ml./día] = volumen obligatorio [ml./día]; Volumen obligatorio [ml./día] = solutos en orina [mosm./día]/ Media - 2 SD valor de osmolalidad urinaria máxima [mosm./1.000 ml.]; 1 kg. agua = 1.000 ml.; Media - 2 SD valor de osmolalidad urinaria máxima: a) sujetos ≤20 años; 830 [mosm./kg.], b) sujetos >20 años: 830 -3,4 (Edad - 20) [mosm./kg.]

[§] Ingesta total de agua adecuada [ml./día] = Media de ingesta total de agua [ml./día] - Percentil 3 de reserva de agua libre [ml./día] (euhidratación garantizada en 97% de los sujetos de una etapa y grupo de género).

volumen de orina mínimo

. La suma del agua de los alimentos y el agua metabólica es superior a 1 l. en adultos, por lo que el consumo de agua de los adultos europeos se consideró adecuado.

Tras la Segunda Guerra Mundial, se propusieron otros tres modelos. Dado que la energía y el volumen de agua están muy relacionados, en 1968 y por razones prácticas, el “US National Research Council” propuso una ingesta de 1 ml. de agua por kcal basándose en motivos prácticos. [7]. Un segundo modelo definió la ingesta adecuada de acuerdo con criterios fisiológicos y epidemiológicos. La euhidratación se garantiza si un 97% de los sujetos de un grupo concreto muestran una ingesta total de agua que resulta en una osmolaridad urinaria por debajo del percentil 3 de osmolaridad urinaria máxima [8, 9]. Por último, la ingesta de agua en pacientes con gota debería producir una diuresis de más de 2 ml./min. o 2.880 ml./día para garantizar una eliminación de ácido úrico máxima a través de la orina [10]. De acuerdo con estos modelos, el consumo de agua en muchos países es inadecuado.

Niños

Los pediatras están de acuerdo en que la hidratación en los niños sólo puede ser óptima durante la lactancia. No obstante, su estado de hidratación es muy peculiar. La ingesta total de agua por unidad del peso corporal es cuatro veces superior en los niños, si la comparamos con adultos alemanes (Tabla 2) [9, 11-13]. La leche materna tiene mayor contenido en agua por unidad de energía que la dieta de los adultos. Sin embargo, el volumen de orina por unidad de energía es casi idéntico. Los niños retienen agua para su crecimiento y presentan una pérdida de agua extrarrenal superior debido a una mayor superficie corporal en relación con la masa corporal. No obstante, la carga osmótica por unidad de energía es cuatro veces inferior, lo que corresponde a una muy baja osmolalidad urinaria de 30 mosm./kg y deja sólo una pequeña capacidad de dilución renal para eliminar la carga adicional de agua. En el pasado, uno de los principales retos era el diseño de un preparado infantil con una carga osmótica baja. Un 10% de pérdida de agua corporal es igual de peligroso para la supervivencia en niños que en adultos. Sin embargo, el tiempo necesario para que se produzca esta situación es mucho más corto en los niños debido a su menor reserva de agua corporal total, causada por la renovación de agua. En los niños, el único modo de salvar la vida en situaciones críticas, por ejemplo si se padece gastroenteritis aguda, es mediante terapia preventiva y curativa específica.

Excluyendo a los lactantes, no existen datos que definan la ingesta óptima de agua en niños. En un primer momento, los valores de Ingesta Adecuada (IA) pueden evaluarse en grupos de edades y sexo concretos para garantizar que el 97% de los sujetos muestran una ingesta total de agua que resulte en una osmolalidad urinaria durante 24 horas inferior al percentil tres de la osmolaridad urinaria máxima [8]. Se necesitan más datos sobre los efectos en la salud (por ejemplo, rendimiento físico y estado de las enfermedades) de los diferentes estados de hidratación y diversos niveles de ingesta de agua en grupos de edad y sexo particulares para poder definir los índices óptimos de ingesta de agua en niños y adolescentes [14].

Hidratación del feto y niños prematuros

El volumen de células es un factor fundamental del metabolismo celular y el crecimiento [15]. La hiperhidratación aguda favorece el anabolismo. En las mujeres embarazadas, el volumen extracelular aumenta [16], el valor determinado de secreción de vasopresina se altera en 10 mosm./kg. para disminuir los niveles de osmolalidad del plasma [17] y el índice de aclaramiento metabólico de vasopresina es cuatro veces superior [18]. La osmolalidad plasmática del feto es aún inferior y el líquido amniótico es todavía más hipotónico. Por tanto, el feto se desarrolla en un entorno de hidratación excepcional. La deshidratación de la madre o el oligohidramnios causado por otros factores, puede favorecer el retraso del crecimiento intrauterino. En una investigación en la que se expuso a corderos *in utero* a hipertonia

Tabla 2. Metabolismo del agua en lactantes de 3 meses, en comparación con el de un adulto de 44 años [9, 11-13]

Edad	Niños	Adulto	Factor (Niño/Adulto)
Peso corporal	3 meses	44 años	
Nutrición	6 kg. Leche materna	72 kg. Dieta variada	
Ingesta total de agua			
ml./kg./	127	31	4,1
ml./100 kcal.	141	91	1,5
Volumen orina			
ml./100 kcal.	63	61	1,0
Carga osmótica			
mosm./100 kcal.	8,3	34	1/4,1
Osmolalidad urinaria			
mosm./100 kcal.	130	615	1/4,7
Uosm. máximo (Media-2SD)			
mosm./kg.	553	748	1/1,4
Reserva agua libre			
ml./100 kcal.	48	16	3,0
Reserva agua libre 24h./% agua corporal total	6,3	0,9	7,0
Pérdida agua obligatoria 24 h./% agua corporal total	12	4,3	2,8

materna, estos presentaron hipertonía plasmática e hipertensión arterial tras el nacimiento, lo que indica una programación *in utero* de valores determinados alterados para la osmolalidad sistémica y la regulación de la presión sanguínea [19]. ¿Afecta de manera crítica el estado de hidratación de la madre durante el embarazo en el crecimiento del feto y el desarrollo postnatal de la presión sanguínea?

Los bebés prematuros muestran diversas peculiaridades en el metabolismo del agua. El paso del medio intrauterino a extrauterino va acompañado de cambios fundamentales en la composición corporal [20]. Además, se reorganizan muchos sistemas metabólicos y hormonales [21]. La pérdida de agua a través de la fina piel es muy elevada, los riñones aún no están totalmente desarrollados y el Índice de Filtración Glomerular (IFG) es bajo. Existe una pérdida de sodio renal basal y una capacidad de dilución y concentración limitada. El tiempo necesario para la excreción del agua y sodio es relativamente largo. Ante alimentación enteral, la tolerancia a altos volúmenes y osmolalidades se ve prolongada y existe posibilidad de edema. Un aumento del peso corporal puede deberse al crecimiento tisular, la acumulación de glucógeno o la expansión del volumen extracelular. Las técnicas disponibles para medir la composición corporal de los bebés prematuros sólo permiten realizar comparaciones entre grupos, pero no observaciones a largo plazo de individuos concretos [20]. Aún quedan muchas preguntas por responder. ¿Qué modelo de crecimiento extrauterino puede sustituir al modelo de crecimiento intrauterino? ¿Qué niveles y cambios en la osmolalidad plasmática y volumen extracelular afectan al crecimiento?

Así, las alteraciones de la homeostasis del agua son uno de los principales problemas al atender a bebés de peso muy bajo al nacer. Los especialistas aún se enfrentan a muchas dificultades a la hora de contrarrestar las cuestiones relacionadas con los líquidos y los electrolitos. La hiperhidratación puede resultar en hemorragia cerebral, conducto arterioso persistente, displasia broncopulmonar, deshidratación en enterocolitis necrotizante o deficiencias surfactantes secundarias. Se ha demostrado que una gestión adecuada de los líquidos tiene efectos positivos importantes en los resultados. Además, deben establecerse parámetros no invasivos para el diagnóstico y sistemas de control continuado y documentación inteligente de fácil manejo.

HIDRATACIÓN EN RECIÉN NACIDOS

Los transportadores y las reservas de agua sufren importantes cambios en el periodo postnatal [22]. La pérdida de peso postnatal y su efecto en las diferentes reservas de agua aún no se entiende en profundidad. Además, las indicaciones y medidas terapéuticas para contrarrestar las pérdidas de peso y los indicadores para controlarlas parecen poco específicos. Cuando los neonatos presentan hiperbilirrubinemia severa, el aporte de líquidos disminuye el índice de transfusión sanguínea y la duración de la fototerapia [23]. Un alto contenido de proteínas y sodio en los preparados para biberón y alimentos de destete puede resultar en una osmolalidad urinaria submáxima. Si la ingesta de agua se reduce y/o se aumenta la eliminación de agua, por ejemplo si se padece gastroenteritis, existe mayor riesgo de sufrir deshidratación hipertónica [24]. Los bebés presentan una renovación de agua superior con una ingesta de agua tres veces mayor por kg. de peso que los adultos. Así, los bebés son la población más vulnerable a la toxicidad por xenobióticos en el agua.

Diarrea en bebés y niños de 1 a 2 años

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el año 2000, se produjeron 10.800.000 muertes de niños de menos de cinco años [25]. La mayoría de estas muertes tuvieron lugar en el este y oeste de África, India, Bangladesh y China. El 90% de ellas sucedieron en 42 países. La diarrea fue la principal causa (22%). La OMS estimó que el 88% de los niños murieron por falta de atención o tratamientos inadecuados. Sólo un 47% de los países contaba con agua potable, saneamiento e higiene. Únicamente un 39% de las víctimas fueron alimentadas de forma exclusiva con leche materna durante seis meses. El 30% recibió antibióticos y sólo un 20% tomó soluciones orales para la rehidratación.

La prevención y terapia de la mortalidad infantil por diarrea se ha implementado durante muchos años. Desde hace tiempo la población sabe que la lactancia reduce la mortalidad. En 1900, los lactantes alemanes presentaban una tasa de mortalidad siete veces inferior a los no lactantes [26]. A principios del siglo XX, la introducción del suministro de agua potable, incrementó la higiene al realizar los preparados para biberón y un cambio con base científica de la alimentación, redujo de manera importante la mortalidad infantil [27]. La administración parenteral de líquidos, glucosa y electrolitos se introdujo en 1935 [28] y las soluciones orales para la rehidratación en los años 60 [29]. Recientemente se ha demostrado que la vacuna contra los rotavirus, la principal causa de diarrea infantil en los países industrializados, es muy eficaz [30]. No obstante, la diarrea infantil continúa siendo una cuestión fundamental para la investigación básica y clínica. Actualmente, contamos con medios muy eficaces para prevenir y tratar la diarrea infantil. La alta tasa de mortalidad por diarrea infantil ya no es el resultado de la

falta de conocimientos o medios terapéuticos. Ahora el gran reto es contar con la solidaridad nacional e internacional para implementar y evaluar los sistemas sanitarios básicos adaptados a las culturas y fomentar la educación de las mujeres jóvenes.

Intoxicación por agua

La intoxicación por agua en bebés y niños no es habitual. En caso de producirse, a menudo se debe a una combinación de alta ingesta de agua, una carga osmótica nutricional baja, un aumento de la osmolalidad urinaria mínima, la falta de conocimiento y empatía y errores iatrogénicos. Beber agua de manera compulsiva es una epidemia moderna [31]. Dado que los preparados provocaban una alta carga renal de solutos, la dilución de los mismos era obligatoria en pacientes con diarrea. Hoy en día, la carga renal de solutos es tan baja que la dilución puede provocar la intoxicación por agua.

El ahogamiento es una de las principales causas de fallecimiento infantil relacionado con daños, especialmente en EE.UU. [32]. La intoxicación por agua se ha presentado en casos de anorexia nerviosa [33] y bebés sumergidos en agua [34]. La intoxicación por agua iatrogénica se ha observado en diversos escenarios, entre ellos: pruebas de concentración renal con el análogo de vasopresina DDAVP [35]; en enemas con agua del grifo [36]; lavados gástricos [37]; uso habitual de soluciones hipotónicas parenterales en pacientes con alto riesgo de secreción inadecuada de ADH [38]; y en tratamientos médicos con fármacos para la estimulación de la ADH o efecto similar al de la misma [39]. Las convulsiones febriles en bebés y niños de 1 a 2 años son comunes, y la hiponatremia, como indicador del estado de hidratación, puede jugar un papel fundamental en la patogénesis [40].

Desarrollo de comportamiento de ingesta de líquidos espontáneo

El estado de hidratación en los lactantes parece similar en todos los países del mundo. No obstante, el estado de hidratación individual, familiar y cultural caracterizado por la reserva de agua libre difiere de manera importante en niños y adultos [11]. Los nefrólogos saben lo difícil que es que los niños, adolescentes y adultos con urolitiasis o pielonefritis aumenten de manera continuada su ingesta de fluidos. Por lo tanto, existen cada vez más pruebas indirectas que indican que el hábito de beber de manera secundaria, espontánea, no homeostática, no reguladora o libre puede desarrollarse y establecerse en la etapa infantil [41]. Si esta hipótesis resulta correcta, la introducción de esta observación en la educación sanitaria y salud pública sería muy importante.

Hidratación y sexo

Los hombres corren mayor riesgo de padecer urolitiasis y enfermedades cardiovasculares y renales que las mujeres. Parece que una mayor concentración de orina está asociada con una progresión acelerada de enfermedades renales crónicas y un retraso en la excreción renal del sodio [42]. En la mayoría de los países, los hombres presentan una mayor osmolaridad urinaria media que las mujeres. No obstante, se han observado excepciones por ejemplo en Polonia, Italia e Israel [11]. En comparación con los niños, las niñas alemanas presentan una menor osmolaridad media durante 24 h., 83 mosm./kg. [43]. Teniendo en cuenta las diferencias en la ingesta de energía y agua de los varones, 100%, las niñas alemanas de menos de siete años muestran una ingesta de agua superior corregida del 3,2% y una reserva de agua libre corregida correspondiente del 3,5% del agua ingerida (Tabla 3). Las niñas de entre 7 y 10,9 años cuentan con una mayor reserva de agua libre corregida de 6,2%, pese a presentar una ingesta corregida de agua inferior de 1,9%, debido a una pérdida corregida de agua extrarrenal del 6,7% y a un volumen obligatorio de orina corregido del 1,4%. Por lo que sabemos, no existen datos comparables que demuestren la diferencia del estado de hidratación dependiendo del sexo en relación con la ingesta de agua y sus tres parámetros de eliminación: pérdida de agua extrarrenal, volumen de orina obligatorio (teniendo en cuenta tanto la carga renal de solutos como la capacidad de concentración renal máxima) y reserva de agua libre. Sería muy interesante saber si estas diferencias del estado de hidratación por sexo también se dan en otras poblaciones. Los estudios anteriores sugieren que los niños pequeños y los hombres mayores tienen un índice de sudoración similar al de las niñas pequeñas y las mujeres mayores [44, 45]. Por lo tanto, ¿es realmente la mayor pérdida a través del sudor de los hombres activos la razón principal de que estos presenten un estado de hidratación inferior en la mayoría de los países?

Ritmo circadiano

Los efectos de la ingesta de agua o líquidos en la salud no se limitan a la cantidad de agua total ingerida al día. El ritmo circadiano puede jugar un papel importante en los niños con enuresis nocturna. La

osmolalidad urinaria de la mayoría de los niños a menudo es bastante superior por la noche. En otros niños es similar, y en algunos es regularmente inferior [46]. ¿Qué hay tras estas diferencias en el ritmo circadiano de la osmolalidad urinaria?

Cafeína, alcohol y bebidas azucaradas

La cafeína es una sustancia psicoactiva. Una mayor ingesta de cafeína en estudiantes de entre 12 y 15 años se ha asociado a una menor duración del sueño nocturno, a un aumento del tiempo despiertos tras el comienzo del sueño y a un aumento del tiempo de sueño durante el día [47]. ¿Cuáles son los argumentos

Tabla 3. Estado de hidratación en niños y niñas alemanes

Edad	Ingesta de agua		Eliminación de agua		
	Sexo	ml./día	%	Pérdida de agua extrarrenal Δ %	Volumen de orina obligatorio Δ %
4,0-6,9 años					Volumen de orina Reserva de agua libre Δ %
Niños (n=179)		1345	100	-0,1	-0,1
Niñas (n=168)		1388	103,2		+3,5
7,0-10,9 años					
Niños (n=163)		1699	100	-6,7	-1,4
Niñas (n=158)		1667	98,1		+6,2
11,0-14,9 años					
Niños (n=104)		1966	100	-3,1	-0,8
Niñas (n=101)		1999	101,7		+5,5

Los datos referentes a las niñas se han adaptado e los niveles de ingesta de energía de los niños [43]

científicos en relación con la hora adecuada para que los estudiantes tomen cafeína y las cantidades correctas? ¿Cómo puede definirse la susceptibilidad individual a la cafeína?

Dos epidemias presentes entre los adolescentes, el alcoholismo y la obesidad, están relacionadas con la ingesta de líquidos. La influencia subversiva del alcohol en la salud y el estado socioeconómico cuenta con documentación suficiente. ¿Cómo se puede ayudar a los adolescentes a desarrollar una actitud responsable frente al consumo de bebidas alcohólicas?

La obesidad es el resultado de interacciones complejas entre numerosos factores. Existe un aumento en las evidencias que indican que el rápido incremento del consumo de bebidas azucaradas por parte de niños y adolescentes en las dos últimas décadas es uno de los principales factores de la epidemia mundial de obesidad [48, 49]. Además, un elevado consumo de bebidas azucaradas puede favorecer la aparición de caries dentales [50], una menor densidad ósea [51], urolitiasis [52] y cetoacidosis severa en casos de diabetes mellitus [53]. Se han tomado medidas para aumentar la concienciación pública del uso adecuado e inadecuado de refrescos y zumos de frutas [54, 55].

En este debate se ha obviado un aspecto conocido durante mucho tiempo. El estado de postabsorción del agua puede variar tras el consumo de la misma cantidad de distintas bebidas [14]. La ingesta de 100 g. de agua resulta en un volumen de agua funcional de 100 ml. Diez gramos de glucosa, almacenados temporalmente como glucógeno en el hígado, proporcionan aproximadamente 30 ml. de agua. Así, el volumen de agua funcional tras la ingesta de 100 gr. de una solución con el 10% de glucosa es de sólo de 60 ml. Cien gramos de agua mineral con 25 mmol./l. de cloruro sódico resultan en un volumen de agua funcional de alrededor de 82 ml. Las bebidas con alto contenido en carbohidratos o cloruro sódico sacian la sed mucho menos que el agua del grifo. Por ello, parece lógico que cuanto menor es el volumen de agua funcional postabsorción, mayor es el volumen de ingesta.

CONSEJO NUTRICIONAL

Los valores dietéticos de referencia de ingesta de agua aluden a la ingesta de agua durante 24 h. A menudo se basan en datos fisiológicos y climáticos. En la orientación nutricional se utilizan principalmente consejos basados en los alimentos y la dieta. Estos consejos con frecuencia incluyen el suministro y la demanda de alimentos locales, así como los hábitos culturales. Los padres jóvenes se enfrentan a numerosos consejos de diferente calidad. Recientemente, se han examinado las declaraciones de política reales de la “American Academy of Pediatrics” [56]. De 192 directrices sanitarias verbales, 29 estaban relacionadas principalmente con el metabolismo del agua y dirigidas a la prevención del ahogamiento y el abuso del alcohol. Estas son las directrices reales oficiales que deben facilitar los pediatras. Otros grupos profesionales o no profesionales ofrecen otros consejos y por último, pero no menos importante, muchos consejos pasados permanecen en la mente de la población.

En Alemania, los consejos sanitarios verbales sobre la ingesta de agua recomendados por diferentes médicos alemanes durante los últimos 150 años aún se encuentran en la opinión pública. Casi todos estos consejos se basaban en observaciones correctas en la época. No obstante, desde una perspectiva moderna, se ha demostrado que la mayoría de las interpretaciones y conclusiones era erróneas. A continuación indicamos algunos ejemplos: las bebidas y las sopas permiten ser corpulento [57]; beber antes de las comidas reduce el apetito [58]; demasiada agua sobrecarga el riñón y la vejiga [59]; la lactancia regular a horas determinadas no sólo es una medida sana sino también un primer paso en la educación [60]; los alimentos frescos contienen agua suficiente, no existe necesidad de ingerir líquidos [61]; los corredores sedientos son más rápidos dado que deben transportar menos peso corporal [62]; y por cada taza de café, debe consumirse un vaso de agua adicional [63]. Por lo tanto, los comités científicos deben tener en cuenta la viabilidad y las evidencias de los estudios científicos en la salud, así como los antecedentes culturales y las opiniones públicas comunes, al generar declaraciones políticas en el futuro.

CONCLUSIÓN

En la mayoría de los países, los hombres muestran una mayor osmolalidad urinaria media que las mujeres, y en comparación con los niños, las niñas alemanas presentan una osmolalidad urinaria media durante 24 h. inferior. Teniendo en cuenta las diferencias en la ingesta de energía y agua de los niños, 100%, las niñas alemanas de menos de siete años, mostraron una ingesta de agua corregida superior, del 3,2%, y una reserva corregida de agua libre correspondiente también superior, del 3,5%. Las niñas de entre siete y 10,9 años presentaban una mayor reserva de agua libre corregida, del 6,2%, a pesar de presentar una ingesta de agua corregida inferior del 1,9%, debido a una menor pérdida de agua extrarrenal corregida del 6,7% y a un volumen urinario obligatorio corregido inferior del 1,4%. Parece no existir datos comparables que muestren las diferencias en el estado de hidratación por sexo en relación con la ingesta de agua y sus tres parámetros de eliminación: pérdida de agua extrarrenal, volumen urinario obligatorio y reserva de agua libre. Se necesita más investigación para determinar si estas diferencias en el estado de hidratación por sexo pueden también observarse en otras poblaciones.

Revisión

Cómo deben revisar los responsables de atención primaria las evidencias científicas sobre hidratación

Kathryn M. Kolasa, PhD, RD, LDN, Carolyn J. Lackey, PhD, y David G. Weismiller, MD, MSc

Brody School of Medicine de la East Carolina University (K.M.K.), Brody School of Medicine de la East Carolina University (D.G.W.), Greenville, North Carolina State University, Cooperative Extension Service (C.J.L.), Raleigh, Carolina del Norte

Palabras clave: medicina basada en pruebas (EBM), dominio de la información, pruebas relevantes orientadas a los pacientes (POEMS)

Los responsables de atención primaria utilizan cada vez más la medicina basada en evidencias al atender a sus pacientes. Evalúan las pruebas disponibles para determinar si pueden adecuarse a sus pacientes y buscan complementar su experiencia clínica mediante la medicina basada en evidencias con el fin de mejorar los resultados en los pacientes.

En las prácticas basadas en evidencias, los datos orientados a los pacientes se valoran más que las evidencias orientadas a las enfermedades. Cada año se publican más de 8 millones de artículos biomédicos, pero sólo alrededor de un 2% de ellos son relevantes para mejorar los resultados de los pacientes.

Este artículo describe algunas de las herramientas utilizadas por los responsables de atención primaria para buscar evidencias, y el proceso de toma de decisiones usado para determinar si se requiere un cambio en sus prácticas. Comprender cómo los responsables de atención primaria evalúan las conclusiones de las investigaciones y otras pruebas puede ayudar a los investigadores especializados en hidratación a enmarcar sus cuestiones de investigación e informes de estudios.

Puntos clave:

- El 2% de los artículos biomédicos publicados son relevantes para mejorar los resultados de los pacientes.
- Los responsables de atención primaria utilizan técnicas estándar para evaluar la utilidad de los informes de las investigaciones. Comprender estas herramientas puede ayudar a los investigadores especializados en hidratación a enmarcar sus cuestiones de investigación e informes de estudios.
- Para clasificar las evidencias se utilizan diversos sistemas.
- Cada vez se utilizan más bases de datos electrónicas en los puntos de atención.

INTRODUCCIÓN

Este documento describe cómo utilizan los responsables de atención primaria (RAP) las fuentes de datos electrónicas para evaluar la información de investigaciones y realizar recomendaciones clínicas orientadas al paciente basadas en evidencias. El término "basado en evidencias" se define de manera distinta en diferentes disciplinas. Por lo tanto, los investigadores que desean influir en las

recomendaciones de los RAP sobre ingesta de líquidos, deben conocer los términos y procesos que los médicos utilizan para evaluar las evidencias disponibles.

El énfasis en las prácticas basadas en evidencias se debe en parte al esfuerzo de los responsables de atención sanitaria por alcanzar el objetivo de ayudar a personas de distinto sexo, edad y origen étnico a aumentar las expectativas

Remitir correspondencia a: Kathryn Kolasa, PhD, 4N70 Brody, East Carolina University, Greenville NC 27834. Correo electrónico: kolasa@ecu.edu

Presentado en la Conferencia del ILSI North America sobre Hidratación y Promoción de la Salud, celebrada el 29-30 de noviembre de 2006 en Washington, DC.

Revelación conflicto de intereses: Esta reseña ha sido financiada por la agencia norteamericana del International Life Sciences Institute. El autor declara que ninguna relación corporativa o gubernamental presente implica conflictos de intereses en relación con esta obra. Los doctores Lackey y Wiesmiller no tienen ningún conflicto de intereses que declarar en relación con esta obra.

Revista del American College of Nutrition, Vol 26, N° 5. 570S-574S (2007)

Publicada por el American College of Nutrition

de vida y mejorar la calidad de la misma [1]. Además, los RAPs pretenden adquirir capacidades para evaluar la amplia gama de electrónicas disponibles en los procesos de evaluación. Esto se denomina a menudo dominio de la información [2].

PREPARACIÓN PARA LA BÚSQUEDA

Como parte del dominio de la información, los médicos que se enfrentan a "necesidades de conocimiento" en sus encuentros tanto con pacientes como de otro tipo, traducen sus cuestiones en una pregunta clínica con respuesta haciendo uso del formato PICO (P = paciente o problema; I = intervención; C = comparación; y O = resultado o *outcome* en inglés) [3]. Una vez que se ha enmarcado la pregunta, el médico busca respuestas preguntando a un compañero, revisando un libro de texto o buscando en la literatura científica disponible con el fin de encontrar la mejor evidencia disponible. Es importante reconocer que la mejor evidencia disponible puede presentar diversas formas: informe de investigación publicado, resumen clínicamente relevante o documento de consenso. Independientemente del tipo de informe, el médico busca de manera óptima lo que se denomina Prueba relevante orientada al paciente (POEM). Las POEM tratan cuestiones a las que se enfrentan los médicos; evalúan resultados que preocupan a RAPs y pacientes (por ejemplo síntomas, morbilidad, calidad de vida y mortalidad) y tienen el potencial de cambiar prácticas. Todo ello a diferencia de los informes de Pruebas Orientadas a las Enfermedades (POE). La mayoría de los informes de investigación científica básicos se basan en las DOE. La Fig. 1 muestra la jerarquía de las pruebas.

Aunque las POEs son importantes, los investigadores especializados en hidratación deben comprender que a los RAP les interesan más las pruebas POEM y pueden no leer los informes de POE. Además, los RAP tienen en cuenta la solidez de las evidencias. Existen más de 100 sistemas de clasificación de evidencias en uso. Un ejemplo es el sistema utilizado por la "American Academy of Family Physicians".

datos clínicos disponibles y utilizar las herramientas

Mediante este sistema se asigna una "A" cuando la recomendación se basa en pruebas orientadas al paciente consistentes y de buena calidad; una "B" cuando la prueba está orientada al paciente pero no es consistente o su calidad es limitada; y una "C" para consensos, pruebas orientadas a enfermedades, prácticas habituales, opiniones de expertos o series de casos para estudios de diagnóstico, tratamiento, prevención o supervisión [4]. Otro ejemplo es el sistema utilizado por el "US Preventive Health Service", que califica las recomendaciones clínicas como: se recomienda encarecidamente, se recomienda, no adecuada o contraindicada, contraindicada e insuficiente. La "American Dietetic Association" dispone de una biblioteca de análisis de pruebas online (www.adaevidencelibrary.com) sobre investigación nutricional. En ella se usan del nivel I-V para indicar la solidez general o falta de la misma de las evidencias.

DECISIÓN SOBRE QUÉ HERRAMIENTA ELECTRÓNICA UTILIZAR

La creciente disponibilidad de ordenadores en los consultorios o las habitaciones de los pacientes, permite a los RAP acceder a información de manera rápida. Tradicionalmente, cuando los RAP tenían alguna duda, podían buscar documentación en Medline fuera del tiempo de consulta, estudiar dicha documentación y decidir si el estudio era válido y aplicable para su paciente. Hoy en día, los RAPs han aprendido cómo buscar la mejor información en las escuelas de medicina, durante el periodo de residencia y a través de la educación continuada (Fig. 2). Los PCP con dominio de la información pueden buscar antes en fuentes electrónicas secundarias con el fin de encontrar pruebas relevantes que pudieran cambiar sus prácticas de atención. Indicaremos algunos de los sitios Web que los médicos utilizan con frecuencia: Cochrane Collaboration (www.cochrane.org), InfoPOEMS (www.infopoems.com), MD Consult (www.mdconsult.com),

Jerarquía de las pruebas

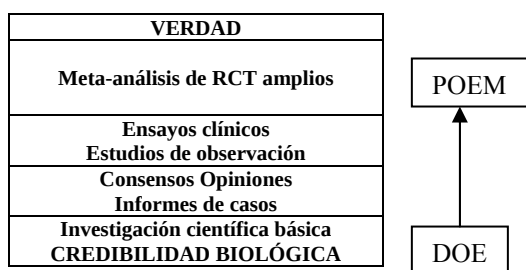
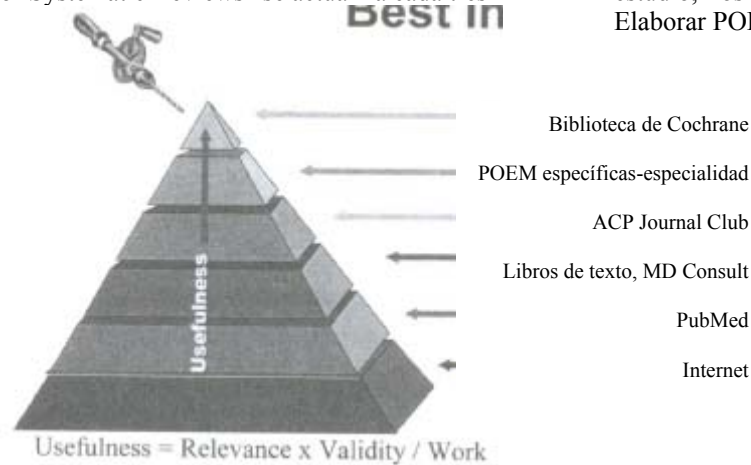


Fig. 1. Jerarquía de pruebas

(www.pubmed.gov), Google (www.google.com) y HighWire Press (www.highwire.stanford.edu).

La biblioteca electrónica "Cochrane Database of Systematic Reviews" se actualiza cada tres



Utilidad = Relevancia x Validez / Trabajo

Fig. 2. Búsqueda de la información más adecuada

Búsqueda de la información más adecuada

meses y está dirigida por "Cochrane Collaboration". Produce revisiones sistemáticas exhaustivas sobre ensayos de intervención y además ofrece bases de datos de ensayos clínicos controlados dirigidos a la prevención, tratamiento, diagnóstico y supervisión. Los autores utilizan tanto conclusiones publicadas como no publicadas y siguen un proceso riguroso y explícito que incluye revisiones realizadas por otros expertos. Los RAP consideran a Cochrane completa, fiable y práctica, el "Estándar de Oro" en cuanto a dominio de la información. Cochrane se encuentra en la cumbre de la pirámide de pruebas porque es capaz de detectar la eficacia o daño que puede obviarse en estudios más pequeños, invita a realizar comentarios y críticas, y destaca consecuencias para la práctica clínica o la investigación. Entre sus puntos débiles se incluyen su potencial de sesgo de selecciones, su intento de combinar datos de estudios distintos y que los estudios "negativos" pueden no estar disponibles. La ausencia de una revisión sistemática adaptada a las necesidades de los RAP no significa que no estén disponibles pruebas que apoyen una práctica, sólo que no se ha realizado una revisión sobre ese tema. Las instrucciones para los autores potenciales de revisiones sistemáticas están disponibles en www.cochrane.org. El "Cochrane Primary Health Care Field" está coordinado por el Dr. Lorne Becker, del "Department of Family Medicine" de la "SUNY Upstate Medical University".

Las POEM específicas por especialidad están cerca de la cumbre de la pirámide de pruebas. Se

trata de resúmenes cortos con reseñas, están escritos en un formato estándar e incluyen la cuestión clínica, los resultados, el diseño del estudio, los recursos, el marco y la sinopsis. Elaborar POEM puede ser una estrategia muy

eficaz para que los investigadores especializados en hidratación contrarresten mitos ampliamente extendidos. Por ejemplo, el grupo Infopoeems envía diariamente mensajes de correo electrónico a los suscriptores de la especialidad médica de las POEM. También se puede acceder fácilmente a un archivo (www.infopoems.com).

Existen diversas herramientas de recopilación de información como MD Consult, PubMed Central y Ovid. Éstas ofrecen recopilaciones de artículos publicados por diversos editores y reformateados para permitir una búsqueda estandarizada y otras funcionalidades. En un día normal, un RAP puede buscar la respuesta a una cuestión clínica primera a través de UpToDate y después a través de MD Consult. Ambas son fácilmente accesibles mediante nuestro registro médico electrónico. La Utilidad de una base de datos concreta se determina multiplicando la relevancia por la validez y dividiendo el resultado por la cantidad de trabajo para acceder a la misma (Fig. 2).

Medline es, por supuesto, una herramienta familiar para los investigadores especializados en hidratación. Más de 4.800 publicaciones biomédicas con más de 12 millones de citas están disponibles online.

Los motores de búsqueda indexan grandes secciones de Internet. Así, el contenido almacenado puede buscarse utilizando sofisticados algoritmos. Google Scholar busca la documentación especializada. Yahoo ofrece acceso directo a información bibliográfica, resúmenes y artículos online.

Los portales crean una red de contenido interconectada en la que a menudo puede buscarse a través de una interfaz simple. HighWire Press, ScienceDirect y Wiley InterScience son algunos ejemplos. El portal High Wire (www.highwire.stanford.edu), creado en la Stanford University, pretende ayudar a los editores de la sociedad a competir en el mundo online. Cuenta con contenido especializado y revisado por expertos e incluye un amplio archivo de artículos completos y sitios de educación médica continuada (CME). Los investigadores especializados en hidratación pueden publicar sus obras en estas revistas.

Los RAP que practican medicina basada en las evidencias buscan cambiar sus comportamientos basándose en POEM. Consideran que esto mejorará los tratamientos y resultados en los pacientes. La Michigan State University patrocina un curso online muy útil sobre EBM (<http://www.poems.msu.edu/InfoMastery/>). Desde 2002, la "American Academy of Family Physicians" ha fomentado que los cursos de CME se basen en pruebas tanto entre organizadores como entre participantes de los mismos. La Tabla 1 muestra los Recursos de EBM seleccionados.

Tabla 1. Recursos de EBM seleccionados

• Bandolier. www.jr2.ox.ac.uk/bandolier • National Guideline Clearinghouse. www.guideline.gov • US Preventive Services Task Force. www.ahcpr.gov/clinic/uspstfix.htm • Biblioteca de pruebas de la American Dietetic Association. www.adaevidencelibrary.org • Cochrane Database of Systematic Reviews. www.cochrane.org • Family Practice Inquiries Network. www.fpin.org • Inforetriever. www.inforetriever.com • Miser WF: Critical appraisal of the literature. J. Am Board of Fam Practice; 12(4):315-333. 1999.

UN EJEMPLO

Para ilustrar como un RAP de nuestro programa buscaría conocimientos basados en evidencias para su práctica, utilizaremos el caso de una mujer de 65 años con un historial de piedras recurrentes en el riñón que pregunta a su médico "¿Qué cantidad de agua debo beber al día para evitar que se formen piedras de nuevo?". Utilizando el formato PICO, la pregunta de la paciente tendría la forma siguiente: P (población) - en mujeres de 65 años con historial de piedras en el riñón; I (intervención) - consumo de agua/líquidos diario superior al consumo medio; y CO (resultados clínicos) - reducir la aparición de piedras en el riñón. El médico preguntaría al dietista de su equipo para que éste le asesorara y el compañero respondería que la Tufts Food Guide Pyramid para adultos mayores recomienda

beber ocho o más vasos de agua/líquidos. Disponiendo de poco tiempo, el médico decidiría realizar una búsqueda rápida de revisiones. Utilizando los términos geriatría, piedras en el riñón, consumo de agua y consumo de líquidos para realizar una búsqueda en los archivos de la Family Physician Inquiries Network (FPIN) e INFOPOEMS no se encuentran recomendaciones. No obstante, se ha realizado una "revisión clínica de cinco minutos". A nivel de una prueba de "opinión experta", una estrategia destacada fue la ingesta de 2 l./día de líquidos, u 8 vasos diarios, entre comidas para reducir las posibilidades de reaparición de piedras en el riñón.

Algunos RAP se detendrían aquí y facilitarían dicho consejo a su paciente. Sin embargo, si el RAP quisiera saber si existen pruebas más sólidas que la "opinión experta", decidiría trabajar un poco más y continuar buscando en recursos electrónicos. En este caso buscaría en: Cochrane, MD Consult, Medline a través de Ovid, Google y HighWire.

Mediante una búsqueda en MD Consult se identificó un documento llamado "Medical treatment of nephrolithiasis" [5]. En esta reseña se trataba el aumento del volumen urinario y no identificaba estudios a largo plazo sobre los efectos de las distintas bebidas. Proporcionaba directrices prácticas esquemáticas para los tratamientos médicos (terapia de agua + dieta). Mediante la búsqueda en Medline se identificaron dos documentos. El primero de ellos era una revisión titulada "Body weight, diet and water intake in preventing stone disease" [6]. Los autores no clasificaban las evidencias pero sugerían que beber más de dos litros de agua al día reduciría los riesgos un 50% en cinco años. Esta revisión contaba con tres citas relevantes realizadas a partir de los años 90. El segundo documento era una revisión sobre las piedras en el riñón realizada por Parmar [7] basándose en una búsqueda en Medline entre los años 1990 y 2003. Se destacaban dos puntos relevantes para el caso: (1) las piedras están asociadas con la hipertensión y la escasa ingesta de magnesio en mujeres que ya han pasado la menopausia, y (2) debería aumentarse la ingesta de líquidos para mantener una eliminación por orina de dos a tres litros/día. Asimismo, se indicaba que los líquidos por sí solos no reducen las piedras en pacientes con hipercalcemia.

Cochrane disponía de una reseña titulada "Water for preventing urinary calculi" actualizada en noviembre de 2005 [8]. El "resumen en lenguaje normal" era que un aumento de la ingesta de agua puede ayudar a reducir el riesgo de reaparición de piedras en el riñón pero se necesitan más estudios. En ésta se destacaba que los futuros ensayos deben contar

con un diseño que evalúe cuánta agua y qué tipo de agua es más adecuada para la prevención primaria y secundaria de los cálculos urinarios.

De forma sorprendente, la búsqueda en Medline a través de Ovid no identificó ningún documento. Google nos condujo hacia el sitio Web del American Kidney Fund [9], en el que se facilitaba el consejo siguiente:

"Intente beber de 8 a 12 vasos de agua al día. Beber mucha agua ayuda a eliminar los elementos que forman las piedras en el riñón. También puede beber ginger ale, refrescos de limón-lima y zumos de frutas, aunque el agua es mejor. Límite la cantidad de café, té y refrescos de cola a uno o dos vasos diarios ya que la cafeína puede hacer que pierda líquidos de forma demasiado rápida."

A través de la búsqueda en HighWire Press se obtuvieron dos documentos. El primero se trataba de un informe de 1996 sobre un estudio prospectivo de la relación entre la ingesta de 21 bebidas distintas y el riesgo sintomático de piedras en el riñón realizado en 45.289 varones de entre 40 y 75 años sin casos de piedras en el riñón en su historial [10]. El segundo documento, un estudio prospectivo realizado en 1998 a 81.093 mujeres de entre 40 y 65 años, parecía más relevante [11]. Los investigadores concluyeron que "un aumento de la ingesta total de líquidos puede reducir el riesgo de aparición de piedras en el riñón y la elección de las bebidas puede tener mucha importancia".

El RAP necesitó aproximadamente 20 minutos para realizar todas estas búsquedas.

DETERMINACIÓN DE LA EVIDENCIA MÁS ADECUADA PARA EL CASO ACTUAL

Al diseñar sus estudios o elaborar sus informes, para los investigadores especializados en hidratación sería de utilidad entender cómo determinan los RAP qué prueba es la más adecuada y cómo evalúan los informes de las investigaciones. En las escuelas de medicina o durante su periodo de residencia, los RAP aprenden a utilizar hojas de trabajo [12] que les guían al valorar de manera crítica un documento o directriz. Con la práctica, las preguntas pasan a un segundo plano. Por ejemplo, si la mejor evidencia encontrada es un artículo sobre tratamientos, el RAP necesita determinar la relevancia para el paciente y en primer lugar se preguntará "¿El resultado del estudio preocupa al paciente?" Si la respuesta es "no", el RAP no leerá el documento y continuará con su trabajo. Si la respuesta es "sí", el RAP determinará la validez del estudio haciéndose una serie de preguntas como por ejemplo las siguientes:

- "¿El estudio fue un ensayo controlado con pacientes seleccionados de manera aleatoria?"
- "¿Los pacientes son tan distintos al mío que los resultados no serían aplicables?"
- "¿Se tuvo en cuenta a todos los pacientes para establecer las conclusiones del ensayo?"
- "¿Se cegó a los pacientes y personal del estudio?"
- "¿Los grupos de intervención y estudio eran similares?"
- "¿Los resultados son significativos desde el punto de vista clínico?"
- "Si se ha tratado de un estudio negativo, ¿la fuerza del estudio fue adecuada?"

Si se trata de una revisión, entre las preguntas podrían incluirse las siguientes:

- "¿Se han incluido la mayoría de las investigaciones relevantes?"
- "¿Los autores han intentado evaluar de manera crítica las investigaciones?"
- "¿La información cuantitativa presentada es adecuada y completa?"
- "¿El debate es equilibrado y parcial?"
- "¿Las referencias son adecuadas y actuales?"
- "¿Las conclusiones son válidas y las opiniones se han citado como tal?"

Si la mejor prueba es una directriz clínica práctica, el RAP podría hacerse las siguientes preguntas:

- "¿Cuál es la calidad de la prueba?"
- "¿La directriz se ha basado en al menos un ensayo controlado aleatorio (RCT) diseñado adecuadamente?"
- "De no ser así, ¿se ha basado en un ensayo controlado no aleatorio bien diseñado o un estudio de control de casos o grupos con un buen diseño, preferiblemente realizado en más de un centro; o se ha basado en resultados drásticos de experimentos no controlados?"
- "De no ser así, ¿se ha basado en opiniones de autoridades respetadas?"

La validez de la directriz se evaluaría determinando si el informe cuenta con una hoja de balance, tablas de evidencias u otras indicaciones que apoyen la solidez de las evidencias. El RAP querría determinar si se utilizó un proceso explícito y acertado para identificar, seleccionar y combinar las pruebas; y si los autores de la directriz consideraron el valor

relativo de los diferentes resultados. Además, el RAP desearía saber si la directriz ha sido revisada y/o comprobada por otros expertos.

Junto a las preguntas indicadas anteriormente, a los RAP les gusta consultar informes que cuentan con resúmenes sólidos y en la medida de lo posible presentan valores de reducción de los riesgos relativos y absolutos, las cifras necesarias para aplicar los tratamientos, las cifras necesarias para causar daños, índices de probabilidad y valores de predicción.

Incluso con todas estas herramientas, los RAP podrían no encontrar respuestas exactas a sus cuestiones clínicas, pero las preguntas sin respuesta pueden ser la base para realizar investigaciones adicionales. Mientras tanto, los RAP toman las pruebas y las combinan con su experiencia clínica para hacer recomendaciones a sus pacientes [13].

Revisión

Evaluación del estado de hidratación: la difícil obtención de un método de referencia

Lawrence E. Armstrong, PhD, FACSM

Human Performance Laboratory, Departments of Kinesiology and Nutritional Sciences, University of Connecticut

Palabras clave: deshidratación, osmolalidad, agua corporal total, líquido extracelular, líquido intracelular

Partiendo de la premisa de que la renovación del Agua Corporal Total (ACT) es un proceso complejo, y de que no existe ninguna medición válida para todas las situaciones, en esta revisión se valoran 13 técnicas de evaluación de la hidratación.

Aunque existen métodos de laboratorio validados para el ACT y el volumen extracelular, no hay indicios que muestren sin ningún atisbo de duda que cualquier medición de la concentración, incluida la osmolalidad plasmática (P_{osm}), representa con exactitud el aumento y pérdida de ACT durante las actividades cotidianas. Asimismo, una muestra de sangre u orina no puede representar de forma válida los compartimentos de fluido y el ACT fluctuantes.

Las investigaciones futuras deberían (a) valorar técnicas de nueva aparición que evalúen la hidratación en tiempo real y sean precisas, exactas, fiables, no invasivas, portátiles, económicas, seguras y sencillas; y (b) aclarar la relación entre la P_{osm} y las oscilaciones en el ACT en diversos contextos.

Puntos clave:

- Todas las técnicas de evaluación de la hidratación proporcionan medidas singulares de una matriz de líquidos compleja y dinámica que contiene compartimentos interconectados.
- No se puede conseguir un único método de referencia, incluida la osmolalidad plasmática, para todos los requisitos de evaluación de la hidratación.
- En el laboratorio, la exactitud y la resolución de las mediciones es esencial.
- Sobre el terreno, la evaluación de la hidratación requiere técnicas que sean fáciles de utilizar, seguras, portátiles y económicas.
- El Agua Corporal Total se aproxima al estado de normohidratación cuando el peso corporal matinal es cercano al valor de referencia normal, la ingestión de líquido es suficiente, la orina es de color amarillo claro y el volumen de orina es normal.
- Los cambios en el peso corporal constituyen el índice más sencillo y exacto del estado de hidratación en tiempo real cuando se realizan mediciones sucesivas muy cercanas en el tiempo.

Solicitudes de separata a: Lawrence E. Armstrong, PhD, FACSM, University of Connecticut, Human Performance Laboratory, Departments of Kinesiology and Nutritional Sciences, Unit 1110, 2095 Hillside Road, Storrs, CT 06269-1110. Correo electrónico: lawrence.armstrong@uconn.edu.

Presentado en la conferencia de 2006 de ILSI North America sobre hidratación y fomento de la salud, 29-30 de noviembre de 2006, Washington DC.

Declaración de conflictos de intereses: el autor declara que ningún interés empresarial actual supone un conflicto de intereses con este artículo de análisis. El autor previamente ha recibido financiación para la investigación de ILSI North America y The Coca Cola Company.

INTRODUCCIÓN

El agua es el medio de la actividad circulatoria, las reacciones bioquímicas, el metabolismo, el transporte de sustratos a través de membranas celulares, la termorregulación y muchos otros procesos fisiológicos. La renovación de líquidos y electrolitos y el equilibrio del agua corporal de todo el cuerpo cambian constantemente a causa de la pérdida de agua a través de los pulmones, piel y riñones y por la obtención de agua de

alimentos y líquidos. Por consiguiente, se necesitan técnicas que permitan evaluar el estado de hidratación de las personas tanto en el laboratorio como sobre el terreno de forma precisa y exacta [1]. En la Tabla 1 se presentan características seleccionadas de 13 técnicas de evaluación de la hidratación que se utilizan habitualmente en contextos fisiológicos, clínicos, industriales, militares y deportivos. Estas técnicas implican mediciones

hematológicas, urinarias, sensitivas o del conjunto del cuerpo.

En revisiones publicadas recientemente se han evaluado estas técnicas desde las perspectivas del metabolismo y la nutrición clínicos [2], la nutrición de adultos [1], la osmolalidad de la orina de niños y adultos [3], deportistas [4-6] y amantes del deporte, trabajadores y soldados [7]. Sin embargo, ninguna de estas revisiones proporciona un argumento irrefutable de la superioridad de un único índice de hidratación

para su uso en todas las situaciones y para todas las poblaciones.

El objetivo de este artículo consiste en evaluar las características (resolución, exactitud y validez de la medición) de 13 técnicas de evaluación de la hidratación porque son básicas para lograr unas mediciones sólidas del estado de hidratación de las personas en el laboratorio y sobre el terreno. Las ventajas y desventajas de estas técnicas se describen para el análisis en el laboratorio y sobre el terreno.

Tabla 1. Características seleccionadas de 13 métodos de evaluación de la hidratación^a

Técnica de evaluación de la hidratación	Líquidos corporales implicados	Coste del análisis	Tiempo necesario	Conocimientos técnicos requeridos	Portabilidad	Probabilidad de efectos adversos
Dilución de isótopos estables	Todos (LEC y LIC)	3	3	3	3	2 o 3 ^b
Análisis de activación de neutrones	Todos	3	3	3	3	2
Espectroscopia de impedancia bioeléctrica (EIB)	Incierto	2	3	2	2	1
Cambio en la masa corporal ^c	Todos	1	1	1	1	1
Osmolalidad plasmática ^d	LEC	3	2	3	3	2
% de cambio del volumen plasmático	Sangre	2	2	3	3	2
Osmolalidad de la orina	Orina miccionada	3	2	3	3	1
Gravedad específica de la orina	Orina miccionada	1	1	2	1	1
Conductividad de la orina	Orina miccionada	2	2	2	3 ^e	1
Color de la orina	Orina miccionada	1	1	1	1	1
Volumen de orina en 24 h	Orina miccionada	1	1	1	1	1
Flujo salival, osmolalidad, proteínas totales	Saliva mixta total	2-3	2	3	2-3	1
Clasificación de la sed	Hipotálamo	1	1	1	1	1
Leyenda de la clasificación:		1=pequeño 2=moderado 3=grande	1=pequeño 2=moderado 3=grande	1=pocos 2=moderados 3=muchos	1=pequeña 2=moderada 3=grande	1=pequeña 2=moderada 3=grande

Abreviaturas: EIB = espectroscopia de impedancia bioeléctrica; LEC = líquido extracelular; LIC = líquido intracelular.

^aModificados y reformulados de la referencia 7.

^bEn función del tipo de isótopo implicado (esto es, radiactivo, estable, no radiactivo).

^cCon una báscula de pie.

^dMétodo de depresión del punto de congelación.

^eHay disponibles medidores de mano portátiles [4].

DEFINICIONES

En esta revisión se entiende por **resolución de la medición** el número de cifras significativas con las que un valor se puede expresar de forma válida (esto es, 1,0 L frente a 0,01 L). La **exactitud** se define como el grado de conformidad de una medición respecto al valor real (verdadero).

El término **normohidratación** es sinónimo de "contenido de agua corporal normal". La normohidratación no es un punto específico, sino que se representa mejor a través de una onda sinusoidal que oscila alrededor de un promedio [5]. La masa corporal se suele utilizar para representar cambios agudos en el contenido de agua del cuerpo [2, 5-7]. Por ejemplo, la masa corporal fluctúa con un coeficiente de variación de grupo de $0,66 \pm 0,24\%$ para días sucesivos [9].

Aunque no existe consenso alguno respecto a la definición del término **deshidratación** [1-7, 10], hace referencia al proceso de pérdida de agua descompensada a través de la orina, sudor, heces y vapor respiratorio; este proceso reduce el agua corporal total por debajo del promedio del valor de referencia. Esta falta de consenso se debe parcialmente al uso por parte de los fisiólogos de técnicas diferentes para evaluar la deshidratación (por ejemplo, osmolalidad plasmática, gravedad específica de la orina o masa corporal). El término **hiperhidratación** hace referencia al estado que existe cuando el líquido que se ha ingerido incrementa temporalmente el agua corporal total por encima del promedio del nivel de referencia antes de su eliminación a través de los riñones. Por tanto, la **hidratación** implica el punto en el que el cuerpo se encuentra en ese momento, entre la normohidratación, la hiperhidratación y la deshidratación.

Las definiciones siguientes también están vinculadas con el estudio de técnicas de evaluación de la hidratación [11-13].

Osmolalidad: concentración de una solución expresada en miliosmoles de partículas de soluto por kilogramo de agua. **Agua corporal total (ACT):** líquido que ocupa los espacios intracelulares y extracelulares; $\sim 0,6 \text{ L} \cdot \text{kg}^{-1}$ (63,3%) de masa corporal. **Volumen extracelular:** todo el líquido fuera de las células; incluye el líquido intersticial y el agua plasmática; $\sim 0,2 \text{ L} \cdot \text{kg}^{-1}$ (24,9%) de masa corporal. **Volumen intracelular:** líquido dentro de las células de tejido; $\sim 0,4 \text{ L} \cdot \text{kg}^{-1}$ (38,4%) de masa corporal.

LA DIFICULTAD DE OBTENER UN MÉTODO DE REFERENCIA

Algunos expertos afirman que un valor de ACT, en combinación con una medición de la osmolalidad plasmática (P_{osm}), constituye el método de referencia para evaluar la hidratación (es decir, proporciona una exactitud, precisión y fiabilidad superiores) [6, 14-16]. Esta aseveración sobre el ACT está ampliamente aceptada, esto es, se considera que las técnicas de análisis de activación de neutrones y dilución de isótopos (Tabla 1) son la norma para la medición del ACT y los espacios de líquido corporal. La alegación sobre de la existencia de un método de referencia aparentemente se refiere a las pruebas de laboratorio; en condiciones controladas (es decir, cuando los factores experimentales, posturales, de ejercicio, alimentación y ambientales están bajo control), el ACT, el volumen de los compartimentos de líquidos corporales y la concentración de líquido extracelular pueden estabilizarse y equilibrarse. Sin embargo, durante la actividad cotidiana, los líquidos corporales rara vez son estables, y se necesitan entre tres y cinco horas para que en las mediciones del ACT mediante diluciones de isótopos (es decir, dilución de óxido de deuterio) los isótopos internos se equilibren y se pueda realizar el análisis. Así pues, las técnicas de dilución de isótopos no son prácticas durante las actividades cotidianas y se requieren múltiples mediciones a lo largo de un día. Además, la P_{osm} puede no representar de forma válida la obtención o pérdida de agua corporal porque las mediciones de la P_{osm} se ven influidas por diversos factores, tal y como se describe a continuación. En consecuencia, la certeza de la afirmación de que el ACT y la P_{osm} constituyen el método de referencia depende de la situación, es decir, de si se está en el laboratorio o bien sobre el terreno. Una reformulación más exacta de esta aseveración sería la siguiente: "el ACT y la P_{osm} , en condiciones controladas de laboratorio, cuando los líquidos corporales son estables y están equilibrados, son las técnicas de evaluación de la hidratación más precisas y exactas de las que disponemos en la actualidad". A pesar de que la resolución y la exactitud de una medición son rasgos distintivos de una práctica de laboratorio sólida, no son importantes para un trabajador, deportista o ciudadano medio que necesita una sencilla estimación de su estado de hidratación. En cambio, los autores de diversos artículos de análisis publicados [2-5, 7] afirman que no se puede conseguir un único método de referencia para la evaluación de la hidratación. Los nueve puntos que se presentan a continuación apoyan

esta postura y dificultan la obtención de un método de referencia.

1. La regulación fisiológica del volumen de agua corporal total (esto es, la renovación del agua) y las concentraciones de líquidos es compleja y dinámica, tal y como se muestra en la Tabla 2. Las respuestas renal, de la sed y de las glándulas sudoríparas están implicadas en diversos grados, en función de las actividades imperantes. Asimismo, la regulación renal del equilibrio hidroelectrolítico (arginina vasopresina) es diferente de la regulación de la tonicidad (aldosterona) [17]. Por tanto, se considera que todas las técnicas de evaluación de la hidratación (Tabla 1) son medidas singulares de una matriz de líquidos dinámica y compleja que contiene compartimentos interconectados.

2. El déficit de agua en 24 horas (es decir, las necesidades de agua) presenta grandes diferencias entre personas sedentarias (de 1,1 a 3,1 L) y deportistas (de 1,5 a 6,7 L), principalmente a causa de la actividad y el tamaño corporal [15, 16]. Este déficit se debe corregir a través de fuentes alimentarias y metabólicas de agua para mantener el equilibrio de ACT.

3. El consumo de sodio y osmolitos afecta a las necesidades diarias de agua a causa de la selección de diferentes alimentos y bebidas. Los datos de Manz y Wentz [3] son un ejemplo de

este hecho. Existen grandes diferencias interculturales respecto a los valores medios de osmolalidad de la orina en 24 horas (O_{osm}) de Alemania (860 mOsm/kg) y Polonia (392 mOsm/kg). Las costumbres regionales específicas relativas a las bebidas (por ejemplo, agua, cerveza y vino) y alimentos, y el hecho de que las necesidades diarias de agua de las personas (mantener la osmolalidad normal) aumentan a medida que se incrementa la ingesta de sodio [3] y proteínas [18, 19] influyen en estas diferencias.

4. El volumen y momento del consumo de agua alteran las mediciones del estado de hidratación. Cuando se consume rápidamente un gran bolo de agua pura o líquido hipotónico (por ejemplo, 1,2 L en cinco minutos), esta agua entra en la sangre y los riñones producen un gran volumen de orina diluida (por ejemplo, una gravedad específica de la orina de 1,005) antes de que se consiga el equilibrio de líquidos intracelulares y extracelulares) [20]. Este mecanismo de protección supone una defensa frente a una sobrecarga de líquido incluso aunque se esté en un estado de deshidratación [21]. En esta situación, los valores de la orina reflejan el volumen de líquido consumido y no el cambio experimentado en el ACT, y se pone en entredicho la validez del uso de los índices de orina para evaluar el estado de hidratación [21, 22].

Tabla 2. Funciones relativas que los procesos fisiológicos desempeñan en el equilibrio hidroelectrolítico del conjunto del cuerpo durante diversos contextos de la vida

Contexto	Funciones relativas de los procesos fisiológicos en el equilibrio hidroelectrolítico			Comentarios
	Regulación renal del equilibrio hidroelectrolítico	Comportamiento respecto a la sed y la ingesta de líquido	Secreción de líquido hipotónico por parte de las glándulas sudoríparas	
Actividades diarias sedentarias (16 h)	Normal	Normal	Despreciable	Regulación del SNC y hormonal normal
Ejercicio breve e intenso (<5 min)	Despreciable	Despreciable	Menor	Volumen de pérdida de líquido pequeño
Ejercicio prolongado y agotador (5-30 min)	Menor	Menor a moderado	Menor a moderada	Volumen de pérdida de líquido menor en comparación con el ACT
Ejercicio de resistencia prolongado (0,5-5 h) a intensidad moderada	Menor a moderada	Menor a grande	Menor a grande	Mayor renovación del agua a causa de la sudoración y el consumo de líquido
Ejercicio continuado o intermitente, o trabajo a baja	Menor a grande	Menor a grande	Grande	Pérdidas de líquido y electrolitos que pueden superar la ingesta alimentaria

intensidad (5-24 h)				diaria
Días consecutivos de actividades, trabajo o ejercicio (1-180 días)	Normal	Normal	Variada, en función del trabajo y el ejercicio	El consumo alimentario adecuado de líquido y electrolitos es esencial

Abreviaturas: SNC = sistema nervioso central; ACT = agua corporal total.

5. Las muestras de orina ponen de manifiesto toda la orina que se ha acumulado en la vejiga desde la última micción. Esto puede coincidir o no con el tiempo transcurrido entre los hitos de obtención de muestras de líquido de los experimentos, en función del momento de la micción y de que se elimine toda la orina de la vejiga. En parte, esto explica por qué algunos investigadores afirman que los índices urinarios van a la zaga de los índices sanguíneos [22].

6. Las diferencias en el diseño de los experimentos complican la interpretación y comparación de los datos publicados. Las técnicas de evaluación de la hidratación pueden o no proporcionar información similar, en función del líquido analizado, el tiempo transcurrido entre mediciones (horas, días o semanas), la duración e intensidad del ejercicio, la alimentación, o la cantidad y método de la deshidratación (esto es, restricción del consumo de líquido, ejercicio en un entorno caluroso). Las técnicas con las que se obtienen muestras de los líquidos corporales de una misma fuente (gravedad específica de la orina y osmolalidad de la orina) pueden proporcionar una mayor concordancia con el estado de hidratación que los análisis de líquidos diferentes (sangre frente a orina) [20, 23].

7. Las técnicas de determinación del ACT que utilizan isótopos estables, como el óxido de deuterio, se basan en el supuesto de que el isótopo se distribuye uniformemente por los líquidos intracelulares y extracelulares. En la Tabla 1 y en la Figura 1 se nos recuerda que

ninguna técnica de evaluación de la hidratación obtiene muestras de líquido intracelular directamente. En consecuencia, la validez de las mediciones del ACT se basa en un supuesto que no se puede verificar.

8. El ejercicio y el trabajo aumentan la tensión arterial, la frecuencia cardíaca y el volumen sistólico, y reducen la circulación sanguínea renal y la filtración glomerular; estas respuestas afectan a los índices de hidratación. Las mediciones de sangre y orina realizadas durante la práctica del ejercicio e inmediatamente después ofrecen resultados distorsionados, es decir, no equilibrados, de los compartimentos de líquido [21].

9. Los cambios en la P_{osm} (debidos a la sobrehidratación o a la deshidratación) alteran la razón entre el volumen intracelular y el extracelular (por ejemplo, hipervolemia hipotónica frente a hipovolemia hipertónica) y, por tanto, afectan a algunas técnicas de evaluación de la hidratación (espectroscopia de impedancia bioeléctrica, dilución de bromuro; véase la Tabla 1).

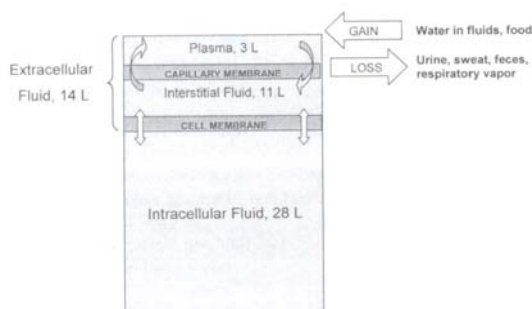


Figura 1. Compartimentos de líquido corporal que incluyen 42 L de agua corporal total en una persona de 70 kg, y fuentes de obtención o pérdida de líquido. Modificada y redibujada de la referencia 24.

Osmolalidad plasmática

Además de los nueve puntos anteriores, las siguientes siete cuestiones ponen en duda el uso de la P_{osm} como método de referencia para la evaluación de la hidratación, esto es, que proporcione una resolución, exactitud, precisión y fiabilidad de la medición superiores.

1. Shore y cols. [17] pusieron de manifiesto en 1988 que la P_{osm} aumentaba durante tres días consecutivos de restricción controlada del consumo de agua ($1,0 \text{ L} \cdot \text{día}^{-1}$) y disminuía durante el período de 2 a 4 días de sobrehidratación ($6,8 \text{ L} \cdot \text{día}^{-1}$); un bromatólogo controló la ingesta calórica, de sodio y de potasio. Sin embargo, en el primer día de sobrehidratación, la P_{osm} no fue diferente del estado de referencia (control) a pesar de una mayor ingesta de agua de 4,1 L. En cambio, se produjo una pérdida de masa corporal en todos los días ($0,4\text{-}0,6 \text{ kg} \cdot \text{día}^{-1}$) de restricción del consumo de agua, pero no experimentó cambios durante los cuatro días de sobrehidratación. En consecuencia, la P_{osm} no permitió detectar el cambio en la ingesta de agua durante el transcurso del primer día, y la P_{osm} no experimentó cambios en consonancia con el peso corporal (esto es, el agua corporal) durante la fase de sobrehidratación.

2. En la Figura 2 se muestran los datos de varones deshidratados por la pérdida del 4,1% la masa corporal (medido a $\pm 100 \text{ g}$ de masa corporal; véase el gráfico superior de la izquierda) [20]. El estado de hidratación se representó de forma diferente mediante tres índices plasmáticos y tres índices urinarios durante un período de observación de 41 horas. Cabe destacar que la P_{osm} no cambió en concordancia con la deshidratación y la rehidratación, así como también tres índices urinarios (por ejemplo, compárense las

tendencias de todas las variables respecto a la masa corporal; véase el gráfico superior de la izquierda de la Figura 2).

3. Durante períodos prolongados en ambientes de la región subártica (14 días) [25] y sobre el terreno (44 días) [26], ni los índices hematológicos (incluida la P_{osm}) ni los urinarios permitieron obtener una representación válida del estado de hidratación.

4. Durante un experimento de laboratorio, Popowski y cols. [22] utilizaron la deshidratación provocada por la práctica de ejercicio durante 168 minutos y demostraron que el consumo de un volumen de líquido (equivalente al 5% de la pérdida de peso corporal) no permitió recuperar un valor de P_{osm} elevado respecto a los valores de referencia en un período de 60 minutos de rehidratación. Esto sugirió que cuando se producían alteraciones en el ACT y los compartimentos de líquido, la P_{osm} no respondía con rapidez a la ingesta de líquido.

5. En la Figura 3 se muestra la relación entre la pérdida de agua corporal (% de reducción del peso corporal) y el cambio en la osmolalidad plasmática. Sawka y cols. [27] recopilaron los datos de dos estudios realizados en el laboratorio [28, 29]. Aunque la regresión lineal de este gráfico identifica una moderada solidez de correlación ($r^2 = 0,61$), la variabilidad de una determinada pérdida de agua corporal es amplia. Por ejemplo, cuando los sujetos pierden entre el 8% y 9% del peso corporal (eje de abscisas), el cambio en la P_{osm} oscila entre -3 y $+16 \text{ mOsm/kg}$.

6. Los datos de nuestro laboratorio [30] pusieron de manifiesto que la relación entre la P_{osm} y la pérdida de agua corporal presentaba diferencias en función del estado de hidratación previo a la práctica de ejercicio, durante ensayos de ejercicio sucesivos en un entorno caluroso.

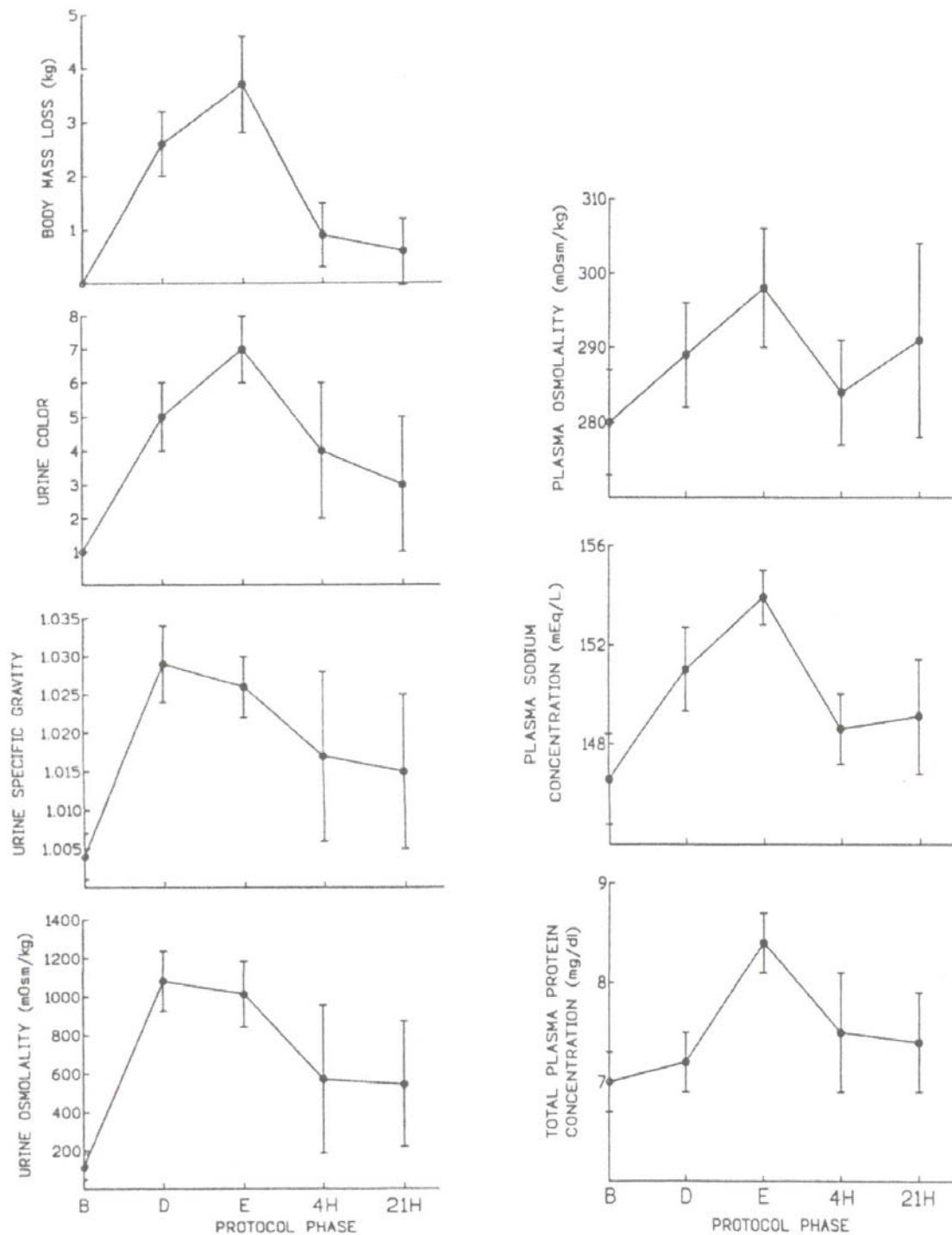


Figura 2. Cambios en la masa corporal, índices plasmáticos y urinarios del estado de hidratación durante un protocolo de deshidratación y rehidratación en 41 horas con ciclistas muy entrenados. Abreviaturas: R, estado de referencia antes de las pruebas; D, deshidratación hasta un -4% de la masa corporal; A, después del entrenamiento de ciclismo hasta el agotamiento; 4H, después de 4 h de rehidratación a voluntad; 21H, después de 21 h de rehidratación a voluntad. Separata de la referencia 20.

7. Los mecanismos neuroendocrinos del cuerpo mantienen la P_{osm} dentro de los límites normales, incluso cuando la ingesta total de agua (a través de agua, bebidas y alimentos) presente grandes variaciones. En la Tabla 3 se recogen los valores medios de osmolalidad

sérica ($\pm DE$) para cada decil de la ingesta total de agua en 24 horas en una muestra numerosa de adultos sanos [15]. En esta tabla se muestra por qué los valores de osmolalidad sérica de la población (o P_{osm}) no se puede utilizar para calcular las necesidades de agua de las personas

(tomando como base la deshidratación) porque los riñones regulan la osmolalidad sérica dentro de unos límites estrechos ($277\text{--}281\text{ mOsm} \cdot \text{kg}^{-1}$) en un amplio intervalo de ingestas de líquido. Aunque los individuos del primer decil pueden presentar una masa corporal menor que los del décimo decil, los datos no se analizaron para abordar esta diferencia o para expresar la ingesta total de agua por kg de masa corporal [15]. En la Tabla 3 se muestra que la P_{osm} no está linealmente relacionada con el volumen de

agua normal de la alimentación (hasta $7,9\text{ L} \cdot \text{d}^{-1}$ en los hombres y $6,1\text{ L} \cdot \text{d}^{-1}$ en las mujeres), algo relevante para la búsqueda de un método de referencia.

Los siete puntos que se acaban de citar indican que la P_{osm} no evalúa la hidratación del conjunto del cuerpo de forma válida en todos los contextos. Esto es especialmente cierto cuando el ACT, la ingesta de líquido y la pérdida de líquido fluctúan.

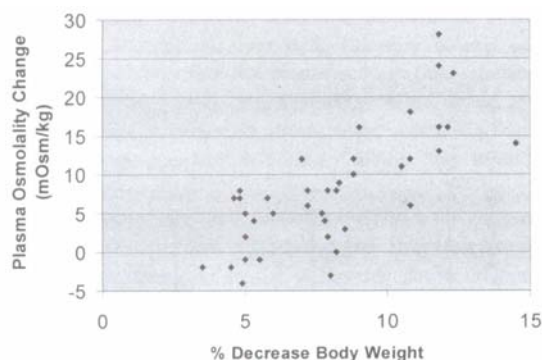


Figura 3. Relación entre la pérdida de agua corporal (% de reducción del peso corporal) y el cambio de la osmolalidad plasmática. Redibujada de la referencia 27. Este gráfico contiene los datos combinados de dos estudios [28, 29].

RESOLUCIÓN Y EXACTITUD DE LA MEDICIÓN EN EL LABORATORIO

Las técnicas de evaluación de la hidratación son más eficaces en el contexto del laboratorio. Durante los experimentos, cuando los factores posturales, ambientales, de alimentación y de actividad están controlados, el ACT, el volumen de los compartimentos de líquidos corporales, y la concentración de líquido extracelular se estabilizan. En ese momento, el ACT y la P_{osm} proporcionan una medición objetiva del estado de hidratación.

En la Tabla 4 se presenta una comparación de la resolución y exactitud de la medición (véanse las definiciones anteriores), en términos de evaluación directa de la concentración o volumen de líquido, de 13 técnicas de evaluación de la hidratación. En la columna 5 se recogen los métodos de validación y/o estándares de criterios de cada técnica.

La dilución de isótopos y el análisis de activación de neutrones (filas 2 a 3 de la Tabla 4) muestran una excelente resolución y exactitud de medición. Asimismo, los cambios en la masa corporal tienen una resolución de la medición de $\pm 0,1\text{ L}$ de ACT, cuando se utiliza una báscula de pie que ofrece lecturas de $\pm 100\text{ g}$.

Los partidarios de la espectroscopia de impedancia bioeléctrica (EIB; fila 4 de la Tabla 4) alegan que esta técnica mide el ACT y el volumen de líquido extracelular y permite calcular el volumen de líquido intracelular [42], pero estas afirmaciones son teóricas [43, 44] y no se basan en principios biofísicos demostrados [45]. La resolución de la EIB para la medición del ACT es aproximadamente de $0,8\text{--}1,0\text{ L}$ (de una cantidad de ACT de 42 L para una persona de 70 kg) y, por tanto, no es una técnica adecuada cuando la deshidratación es inferior a $800\text{--}1.000\text{ ml}$.

Los análisis de la osmolalidad plasmática con un osmómetro de depresión del punto de congelación (fila 6 de la Tabla 4) proporcionan una resolución y exactitud de la medición excelentes. Sin embargo, las mediciones de la P_{osm} cambian ante numerosos estímulos, y los cambios en la P_{osm} pueden no guardar una relación lineal con la deshidratación y rehidratación (véase más arriba). Probablemente esto es así porque la regulación de la osmolalidad del líquido extracelular [24] es diferente de la regulación del equilibrio de agua pura (esto es, mecanismos neuroendocrinos diferentes) y no ofrece una respuesta rápida. Se deben llevar a cabo más estudios para esclarecer el significado de las mediciones de la P_{osm} en diversas situaciones.

No es adecuado considerar la resolución y exactitud de la medición de las siete técnicas que se muestran en las filas de la 7 a la 14 de la Tabla 4 (% de cambio del volumen plasmático, cinco índices urinarios, variables salivales y clasificación de la sed) porque no miden el líquido intracelular o extracelular directamente. Al contrario, estas siete técnicas presentan una correlación discreta o sólida con los cambios en la concentración extracelular y el ACT. Fuera del laboratorio, cuando dos o más se miden simultáneamente, estos siete índices pueden proporcionar información útil sobre la normohidratación y la deshidratación [41]. En una sección posterior se aborda un enfoque respecto a su uso sobre el terreno.

SOLIDEZ DE LAS EVIDENCIAS

En los últimos años, las organizaciones científicas y de medicina deportiva nacionales han incluido en sus opiniones evaluaciones de la “solidez de las evidencias” que respaldan las prácticas, decisiones clínicas y puntos de vista [8]. Una clasificación simplificada basada en indicios, para su uso con la Tabla 4, incorpora las afirmaciones siguientes: A – basado en datos coherentes y de buena calidad, criterios de referencia y/o métodos de validación; B – basado en datos inconsistentes/de calidad limitada, sin criterios de referencia o con criterios de referencia cuestionables, sin métodos de validación o con métodos de validación cuestionables; C – basado en opinión o consenso.

Las clasificaciones de la columna 6 de la Tabla 4 indican que sólo dos de las 13 técnicas de evaluación de la hidratación (dilución de isótopos y análisis de activación de neutrones) cuentan con el sólido respaldo de un conjunto de indicios científicos considerable y consistente. Estas técnicas cuantifican el volumen de líquido, pero ninguna mide la concentración de líquido extracelular o

intracelular (Figura 1). Además, ambas técnicas requieren instrumental de laboratorio sofisticado, conocimientos técnicos especializados, tiempo para la realización de los análisis e implican un gasto considerable.

TÉCNICAS SENCILLAS PARA SU USO SOBRE EL TERRENO

El proceso de selección de una técnica adecuada para su uso en el laboratorio es bastante diferente de la selección de una técnica para las actividades cotidianas. La resolución, exactitud y fiabilidad de la medición son esenciales para lograr unas prácticas de laboratorio sólidas. Sin embargo, sobre el terreno las siete técnicas de evaluación de la hidratación de las columnas de la 7 a la 14 de la Tabla 4 proporcionan información útil sobre la normohidratación y la deshidratación cuando se usan en un contexto adecuado. Por ejemplo, los aficionados al deporte, trabajadores y personal militar pueden experimentar una gran renovación del agua en días consecutivos que, finalmente, suponga un déficit de agua fisiológicamente significativo, es decir, superior a entre el 1% y el 2% del peso corporal. Para realizar un seguimiento del estado de hidratación sobre el terreno, estas personas necesitan técnicas que requieran pocos conocimientos técnicos especializados y pocos instrumentos sofisticados. Estos métodos también deberían ser fáciles de utilizar, seguros, portátiles y económicos. De la comparación de la Tabla 4 (filas de la 7 a la 14) con las columnas de la 3 a la 7 de la Tabla 1 se desprende que los métodos que probablemente son candidatos para su uso sobre el terreno son el cambio en la masa corporal, la gravedad específica de la orina, el volumen de orina en 24 horas, el color de la orina y la sed. Durante las actividades cotidianas, el cambio en la masa corporal es la técnica más rápida, sencilla y exacta. Los detalles relativos a estas cinco técnicas se muestran en el resto de la tabla [7].

Tabla 3. La relación de la osmolalidad sérica media ($\pm$ DE) con la ingesta total de agua en 24 horas^a en una gran muestra de adultos sanos, miembros de otros grupos de edad de hombres y mujeres (esto es, niños, ancianos) mostró una relación similar [15]

Sexo, rango de edad	Deciles de la ingesta total de agua	Número de adultos observados	Ingesta total de agua media ($L \cdot día^{-1}$) ^a	Osmolalidad sérica ($mOsm \cdot kg^{-1}$)
Hombres, 19-50 años	1	380	1,7	279
	2	336	2,3	279
	3	287	2,7	281
	4	278	3,0	280
	5	296	3,3	280
	6	307	3,7	280
	7	312	4,1	281
	8	276	4,7	280
	9	304	5,6	280
	10	315	7,9	281
Mujeres, 19-50 años	1	429	1,3	277
	2	369	1,7	277
	3	350	2,0	277
	4	347	2,3	276
	5	347	2,6	277
	6	340	2,9	277
	7	320	3,3	277
	8	306	3,7	278
	9	281	4,3	277
	10	353	6,1	278

^aIngesta total de agua = agua + contenido de agua de alimentos sólidos.

Fuente: US Department of Health and Human Services, National Center for Health Statistics, Third National and Nutrition Examination Survey (NHANES III).

Resulta de utilidad considerar la normohidratación en un contexto operativo, porque la normohidratación es un estado que es siempre deseable, ya que constantemente se pierde a causa de las pérdidas de líquido por los riñones, pulmones y glándulas sudoríparas, y fluctúa continuamente alrededor de un promedio. Teniendo en cuenta los modelos anteriores [5-7], las recomendaciones siguientes ayudarán a los individuos sanos a lograr la normohidratación.

- Mantener el peso corporal matinal dentro de un 1% del valor de referencia normal respecto al día a día. Para ello, una persona debe conocer su peso corporal normal. En un reciente estudio [9] se ha determinado que se puede establecer un promedio de un valor de referencia válido (con una variabilidad diaria de $0,51 \pm 0,20$ kg; media $\pm$ DE) a través de la medición del peso corporal en tres días consecutivos.
- Consumir una cantidad de líquido suficiente. La “National Academy of Sciences” de Estados Unidos [15] explica que la ingesta alimentaria de agua total en 24 horas de referencia (agua, bebidas con alimentos sólidos) es de 3,7 L para hombres de 70 kg y de 2,7 L para mujeres de

57 kg. Las personas físicamente activas o expuestas a entornos calurosos necesitarán ingestas más elevadas de agua total [15]. Puesto que se tiene sed por primera vez cuando existe un déficit en el peso corporal de entre el 1% y el 2% [39, 40], el consumo de líquido debe ser suficiente para impedir la aparición de la sed.

- Mantener un color de la orina "amarillo claro" o "amarillo pajizo". Estos colores corresponden a un estado de normohidratación [20, 23].
- Los riñones deben producir un volumen de orina normal si se han logrado los tres objetivos anteriores. Un hombre sano elimina entre 1,3 y 1,6 L [46] (media $\pm$ DE), y una mujer sana produce $1,13 \pm 0,42$ L [31] de orina al día. Esto significa que mujeres y hombres deberían eliminar un mínimo de 0,29 y 0,48 L de orina al día, respectivamente, para evitar dos desviaciones estándar por debajo de la media, (esto es, un valor anómalo) [31].

En resumen, el ACT alcanza la normohidratación o se aproxima a este estado cuando la masa corporal matinal está cerca del valor de referencia normal, la ingesta de líquido

es adecuada, la orina es de color amarillo claro y el volumen de orina es normal.

COMBINACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE LABORATORIO Y SOBRE EL TERRENO

En las situaciones del mundo real (determinación de la ingesta total de agua o de las necesidades de agua de los ciudadanos durante las actividades cotidianas), las técnicas de laboratorio y las adecuadas para su uso sobre el terreno se pueden combinar para aclarar nuestro conocimiento de las complejidades existentes en la renovación del agua de las personas. Investigadores alemanes [47] han publicado un modelo de este enfoque que es digno de mención. Estos expertos analizaron la renovación del agua de 479 niños y niñas sanos de entre 4,0 y 10,9 años. Utilizando las

mediciones de la ingesta total de agua en 24 horas (rango comprendido entre 0,90 y 0,96 ml · kcal⁻¹), la mediana de la osmolalidad de la orina (rango comprendido entre 683 y 854 mosm · kg⁻¹), la osmolalidad de la orina máxima hipotética (830 mosm · kg⁻¹ para niños sanos con una alimentación abundante de tipo occidental) y la "reserva de agua" (volumen de orina en 24 horas menos el volumen de orina hipotético necesario para eliminar solutos de orina en 24 horas a 830 mosm · kg⁻¹), Manz y cols. [47] calcularon la ingesta adecuada (IA) diaria de agua. Los valores de la IA para la ingesta total de agua, en cuatro grupos de edad y sexo, oscilaron entre 1,01 y 1,05 ml · kcal⁻¹. Estos métodos son prometedores para estudios futuros relativos a los efectos de la deshidratación crónica en el bienestar y las enfermedades.

Tabla 4. Resolución y exactitud de la medida de laboratorio de 13 técnicas de evaluación de la hidratación

Técnicas de evaluación de la hidratación	Criterios de valoración	Resolución de la medición ^{a, c}	Exactitud ^{b, c}	Métodos de validación, estándares de criterios	Solidez de los indicios ^d
Dilución de isótopos	Volumen del ACT	2% (0,8-1,2 L)	Sobreestima el ACT en un 1-5%	Cálculo basado en la dilución en el conjunto del cuerpo ^c	A
Análisis de activación de neutrones	Volúmenes de líquido ^f y contenido de iones del conjunto del cuerpo	Partes por mil millones	Se considera el estándar de referencia para la identificación de todos los elementos	Cálculo basado en las propiedades conocidas de emisión de rayos gamma de los elementos	A
Espectroscopia de impedancia bioeléctrica (EIB)	ACT, VEC y VIC	Detecta cambios en el ACT de aproximadamente 0,8-1,0 L	De -0,67 a -1,16 L de ACT; +1,07 L de VEC; - 2,08 L de VIC ^g	ACT (dilución de óxido de deuterio) y VEC (dilución de Br); VIC = ACT – VEC	B ^g
Cambio en la masa corporal	Obtención o pérdida de agua corporal	±0,1 kg (±0,1 litros de ACT)	Excelente (con un breve tiempo transcurrido); escasa (de días a meses)	Medición directa; la inferencia se basa en actividades fisiológicas que implican la obtención y pérdida de agua	B
Osmolalidad plasmática	Concentración de LEC	1 mOsm por kg de H ₂ O ^h	1-2% ^{h, i}	Muestra de LEC directa; soluciones estándar con osmolalidades conocidas	B ^h
% de cambio del volumen plasmático	Hematocrito y hemoglobina	NC	NC	-	B
Osmolalidad de la orina	Concentración de la orina	NC	NC	-	B
Gravedad específica de la orina	Densidad relativa de la orina frente a agua	NC	NC	-	B
Conductividad de la orina	Conductividad eléctrica	NC	NC	-	B
Color de la orina	Concentración de urocromo ^j	NC	NC	-	B
Volumen de orina en 24 h	Diuresis diaria	NC	NC	-	B
Flujo salival, osmolalidad, proteínas totales ^k	Flujo, osmolalidad, concentración de proteínas	NC	NC	-	B
Clasificación de la sed	Sensación basada en la concentración de LEC	NC	NC	-	B

Esta tabla se basa en fuentes publicadas [2, 4, 9, 11, 20, 23, 31-40]. Abreviaturas: ACT, agua corporal total (litros); VEC, volumen extracelular; LEC, líquido extracelular; VIC, volumen intracelular; NC, no es adecuado considerar la resolución y exactitud de la medición de estas siete técnicas porque no miden el líquido intracelular o el LEC directamente; estas siete técnicas proporcionan una orientación útil respecto al equilibrio hidroelectrolítico corporal en contextos sobre el terreno [41].

^aLa *resolución de la medición* de una técnica se ejemplifica mediante el número de cifras con las que un valor se puede expresar de forma válida (esto es, 1,0 litros frente a 0,01 litros).

^bLa *exactitud* se define como el grado de conformidad de una medición respecto al valor real (verdadero).

^cRespecto a mediciones directas del volumen de líquido o concentración de LEC.

^dLas categorías de indicios A, B y C se definen en la subsección titulada "Solidez de los indicios".

^eLos isótopos estables y radiactivos de tritio, hidrógeno y deuterio ($^3\text{H}_2\text{O}$, $^2\text{H}_2\text{O}$, H_2^{18}O) se utilizan para medir el ACT; el volumen de líquido extracelular se evalúa mediante la dilución de bromuro [11].

^fEl ACT, volumen de LEC, volumen de LIC y el sodio, cloruro o potasio extracelular intercambiable total.

^gLa EIB se basa en la teoría [42-44] y no se ha probado con principios biofísicos [45].

^hUtilizando un osmómetro de depresión del punto de congelación; la validez de la P_{osm} como índice de hidratación difiere con un diseño experimental.

ⁱVéase la sección anterior titulada "Resolución y exactitud de la medición en el laboratorio".

^jEl urocromo, un producto del procesamiento hepático de los eritrocitos muertos, es el pigmento que provoca el color amarillo de la orina.

^kSe ha propuesto el uso del flujo salival, la osmolalidad y la concentración de proteínas totales como marcadores de la hidratación. Aunque pocos estudios han evaluado los cambios de estas variables, la deshidratación (-3% del peso corporal) reduce el flujo salival [38].

RESUMEN Y RECOMENDACIONES PARA FUTUROS ESTUDIOS

Todas las técnicas de evaluación de la hidratación valoran una matriz de líquidos compleja y compartimentos de líquidos interconectados. Las mediciones específicas no son adecuadas porque la obtención y pérdida de líquido modifican el ACT como una onda sinusoidal que oscila alrededor de un promedio. La resolución y exactitud de la medición de la mayoría de técnicas de evaluación de la hidratación (Tablas 1 y 4) no cuenta con el respaldo de una base de datos amplia y consistente. Además, ninguna publicación anterior proporciona datos irrefutables de que las mediciones de la concentración (incluida la P_{osm}) constituyan una representación válida de la obtención o pérdida de agua corporal en todas las situaciones. En consecuencia, la renovación dinámica del agua en las personas no está adecuadamente representada por (a) una única medición en el tiempo, especialmente cuando el equilibrio hidroelectrolítico se ve alterado, y (b) técnicas que tienen una baja resolución y exactitud en las mediciones.

En el laboratorio, determinadas técnicas de evaluación de la hidratación son eficaces. En condiciones controladas, (esto es, cuando los factores experimentales, posturales, ambientales, de la alimentación y de la actividad están controlados), el ACT, el volumen de los compartimentos de líquido corporal y la concentración de líquido extracelular se estabilizan. Cuando los líquidos corporales están equilibrados, el ACT y la P_{osm} proporcionan medidas objetivas del volumen y concentración en un único momento.

Durante las actividades cotidianas o la práctica de ejercicio, cuando los compartimentos de

líquido fluctúan constantemente (volumen y concentración), una evaluación directa de un único líquido corporal (Tabla 1) no proporcionará información válida sobre el ACT y la concentración de líquidos corporales. Por ejemplo, con anterioridad se han presentado diversos estudios en los que la P_{osm} no permite realizar un seguimiento del aumento o pérdida de ACT. Los cambios en el peso corporal son el índice del estado de hidratación más sencillo y exacto (Tabla 1) en tiempo real, cuando se obtienen medidas sucesivas cercanas en el tiempo. Así pues, sobre el terreno, cuando se necesita una estimación del estado de hidratación o cuando se prevé una gran pérdida de agua corporal (como en el caso de la práctica de ejercicio), se debería comparar información de dos o más técnicas de evaluación de la hidratación y valorar el estado de hidratación corporal más de una vez al día.

Los estudios e iniciativas de desarrollo futuros se deberían centrar en técnicas de evaluación de la hidratación de nueva aparición [4, 6, 7, 38] que (a) permitan medir la concentración y volumen de líquido en tiempo real; (b) tengan una precisión, exactitud y fiabilidad excelentes; (c) no sean invasivas; (d) se interpreten junto con otros índices de hidratación; y (e) sean portátiles, económicos, seguros y sencillos de utilizar. En cuanto a la P_{osm} en concreto, los estudios futuros deberían (f) evaluar la validez de la relación entre la P_{osm} y la obtención/pérdida de agua corporal en múltiples contextos; y (g) comparar la capacidad de la P_{osm} (y otros índices hematológicos) para realizar un seguimiento de los cambios en el agua corporal frente a otras técnicas de evaluación de la hidratación (por ejemplo, urinarios) (Figura 2).

Revisión

Necesidades de hidratación a lo largo de la vida

Sheila M. Campbell, PhD, RD

Healthcare Creative, Worthington, Ohio

Palabras clave: ingesta total de agua, ingesta adecuada, hidratación, equilibrio hidroelectrolítico, recomendaciones sobre el consumo de agua

En 2004, el "Institute of Medicine" (IOM) de Estados Unidos publicó un informe en el que se presentaba información sobre la ingesta de referencia de agua, sodio, potasio y otros electrolitos en estadounidenses y canadienses [1]. En el informe se establecía por primera vez la Ingesta Adecuada (IA) de *agua total* (procedente de agua, bebidas y alimentos) para personas sanas. Una IA es el promedio de consumo diario recomendado basado en estimaciones o aproximaciones observadas o determinadas a través de experimentos del consumo de nutrientes por parte de un grupo o grupos de personas claramente sanas, que se asume que son suficientes. La IA de agua se basa en datos de estudios estadounidenses. Las recomendaciones sobre la ingesta de agua son para personas *sanas* y, por tanto, no son de aplicación a grupos de personas en riesgo.

Puntos clave:

- Definir los términos "Ingesta Adecuada" y "límite superior tolerable".
- Describir poblaciones para las que esta referencia alimentaria es adecuada.
- Enumerar dos nuevos resultados sobre el efecto de la cafeína y el alcohol en el estado de hidratación.

Dirección para correspondencia: Sheila M. Campbell, PhD, RD, 275 Longfellow Avenue, Worthington, OH 43085. Correo electrónico: flamingo84@sbcglobal.net.

Presentado en la conferencia de ILSI North America sobre hidratación y fomento de la salud, 29-30 de noviembre de 2006, Washington DC.

Declaración de conflictos de intereses: la autora declara no tener ningún conflicto de intereses relacionado con este artículo.

"El agua es la única bebida del hombre sabio."

Henry David Thoreau (1817-1862)

INTRODUCCIÓN

El 11 de febrero de 2004, tuvo lugar un acontecimiento sobresaliente cuando se formuló la primera recomendación oficial sobre la ingesta de agua. El "Institute of Medicine" (IOM) de Estados Unidos publicó un informe en el que se presentaba información de referencia sobre la ingesta de agua, sodio, potasio y otros electrolitos para estadounidenses y canadienses [1]. En el informe se establecían por primera vez las directrices siguientes para personas sanas:

- Ingestas adecuadas (IA) de agua total, potasio, sodio, cloruros y sulfatos
- Límite superior de ingesta tolerable (*Tolerable Upper Intake Limit*, UL) de sodio y cloruros

En este artículo se recoge información sólo sobre el agua.

El hecho de que el IOM formulara una recomendación sobre la ingesta de agua es importante si se tiene en cuenta que en la última edición de las cantidades diarias recomendadas (CDR) se afirmó que era imposible fijar una recomendación para el agua [2]. La única directriz para los adultos sanos era la siguiente: "con fines prácticos, se puede recomendar 1 ml/kcal de gasto energético como cantidad necesaria de agua para adultos en condiciones medias de gasto energético y exposición ambiental".

DEFINICIONES

Puesto que las últimas CDRs se publicaron en 1989, se han definido nuevas referencias para los valores de ingesta. El nuevo vocabulario se utiliza en las recomendaciones de 2004 del IOM [1]. Es necesario conocer las nuevas definiciones porque corresponden al lenguaje que ahora se utiliza para expresar las recomendaciones sobre el consumo de agua y otros nutrientes. Las nuevas categorías de ingestas diarias de referencia, conocidas

colectivamente como ingestas alimentarias de referencia (*Dietary Reference Intakes*, DRI), son las siguientes:

Promedio estimado de necesidades (Estimated Average Requirement, EAR): el promedio de la ingesta diaria de nutrientes calculado para satisfacer las necesidades de la mitad de las personas sanas de una etapa de la vida y sexo

determinados. Un EAR se calcula a partir de datos que indican una respuesta a una dosis en pautas o criterios de valoración funcionales críticos. Además, se puede establecer un EAR cuando se dispone de datos suficientes que muestren un efecto en la reducción del riesgo de presentar una enfermedad.

Tabla 1. Media de percentiles de la ingesta total de agua diaria (mL). Todas las personas, NHANES 1988-1994

1°	968
5°	1.343
10°	1.589
25°	2.087
50°	2.791
75°	3.662
90°	4.659
95°	5.423
99°	7.247

Cantidad diaria recomendada (CDR): el promedio de la ingesta alimentaria diaria de nutrientes suficiente para satisfacer las necesidades de nutrientes del 98% de las personas sanas de una etapa de la vida y sexo determinados. La CDR de un nutriente se obtiene de su EAR. Si no se puede establecer un EAR de un nutriente, tampoco se puede definir la correspondiente CDR.

Ingesta adecuada (IA): el promedio de la ingesta diaria recomendada basado en estimaciones o aproximaciones observadas o determinadas a través de experimentos de la ingesta de nutrientes por parte de un grupo o grupos de personas aparentemente sanas que se supone son adecuadas. Una IA se establece cuando no se puede determinar una CDR.

Límite superior de ingesta tolerable (Tolerable Upper Intake Level, UL): el mayor promedio de la ingesta diaria de nutrientes que es probable que no suponga ningún riesgo de provocar efectos adversos para la salud en casi todas las personas de la población general.

RECOMENDACIONES SOBRE LA INGESTA DE AGUA

Los datos que respaldan las recomendaciones sobre la ingesta de agua del IOM para niños y adultos proceden del tercer estudio nacional estadounidense sobre salud y nutrición (Third National Health and Nutrition Examination Survey, NHANES III) 1988-1994. Dado que los resultados del estudio mostraron que las personas sanas pueden compensar con mayor rapidez la sobrehidratación o hipohidratación, no fue posible identificar un único nivel de ingesta de agua que garantizara la hidratación, salud y reducción del riesgo de presentar

enfermedades. En consecuencia, no se pudo fijar un EAR ni una CDR para el agua y tampoco se pudo determinar un UL. Sin embargo, sí se pudo definir una IA mediante la osmolalidad sérica y los datos sobre la ingesta de agua del estudio NHANES III.

Osmolalidad sérica

La osmolalidad sérica es la concentración de partículas osmóticamente activas en el suero. La osmolalidad sérica aumenta cuando se pierde agua (deshidratación) y disminuye cuando se retiene agua (sobrehidratación). La osmolalidad sérica, junto con otros parámetros, se utiliza frecuentemente en contextos clínicos para evaluar el estado de hidratación. Aunque no es un indicador perfecto [3] y se utiliza en contadas ocasiones como único criterio para el tratamiento de pacientes, la osmolalidad sérica, junto con los datos de ingesta del NHANES III, fue importante para fijar la IA del agua. La osmolalidad sérica fue casi idéntica para las personas estudiadas en el menor decil de la ingesta de agua en comparación con el mayor decil. Asimismo, los datos de media y mediana del NHANES III indican que la osmolalidad sérica se mantuvo a un nivel constante en un amplio rango de ingestas de agua.

Ingesta de agua

Dado que las personas pueden mantener el estado de hidratación en un amplio rango de ingesta de agua, las IA de agua total para niños y adultos se basan en medianas de ingesta total de agua (véase la Tabla 1). Los lactantes alimentados únicamente con leche materna no necesitan agua adicional; por tanto, la A de agua

total para lactantes se basó en datos relativos al consumo de leche materna. La IA para lactantes de mayor edad se basó en el consumo de leche materna más la ingesta de agua procedente de alimentos adicionales y otras bebidas. En la Tabla 2 se presentan las IA de agua total para los grupos de todas las etapas de la vida.

FUENTES DE AGUA

La ingesta total de agua diaria recomendada para las mujeres es de 2,7 L y 3,7 L para los hombres. En Estados Unidos, el promedio del consumo anual de agua embotellada es de 98,8 L por persona [4], o de unos 1,4 litros de agua diarios [5]. Evidentemente, este volumen no es adecuado. Sin embargo, beber agua (embotellada o del grifo) no es la única fuente de agua de la alimentación. El agua de los alimentos proporciona aproximadamente el 19%

de la ingesta total de agua diaria. Puesto que el agua que se ingiere procede del agua, otros líquidos y los alimentos, las IAs de agua corresponden a la ingesta total de agua diaria e incluyen todas las fuentes de agua de la alimentación. En la Tabla 3 se proporciona el contenido de agua de los diversos alimentos [6].

Cafeína

Contrariamente a lo que se suele creer, estudios han demostrado que el café, el té y otras bebidas que contienen cafeína no aumentan la diuresis ni afectan negativamente a los indicadores del estado de hidratación en aquellas personas habituadas al consumo de cafeína [7]. En el informe del IOM se apunta que "[...] las bebidas con cafeína parece que contribuyen a la ingesta diaria total de agua de forma similar a como lo hacen las bebidas sin cafeína" [1].

Tabla 2. IA de agua total [1]

Grupo de etapa de la vida	AI de agua total, L/día
Lactantes, 0-6 meses	0,7
Lactantes, 7-12 meses	0,8
Niños y niñas, 1-3 años	1,3
Niños y niñas, 4-8 años	1,7
Chicos, 9-13 años	2,4
Chicas, 9-13 años	2,1
Chicos, 14-18 años	3,3
Chicas, 14-18 años	2,3
Hombres, 19-70+ años	3,7
Mujeres, 19-70+ años	2,7

Tabla 3. Contenido de agua de alimentos seleccionados (adaptada de [6])

91%-100% de agua	80%-90% de agua	70%-79% de agua	<69% de agua
Brécol	Manzana	Guisos	Alimentos horneados
Café	Cerveza	Huevos	Ternera
Lechuga	Melón	Yogur helado	Pan
Sopa	Bebidas carbonatadas	Guisantes	Patatas fritas
Bebidas para deportistas	Zumo de fruta	Polos helados	Galletas saladas
Fresas	Gelatina	Algunos tipos de pescado	Licor
Tomate	Uvas	Alimentación por sonda de 1,5 kcal/ml	Nueces
Agua	Leche materna y de vaca		Pasta
Sandía	Leche de continuación		Patatas
	Bebidas de fruta no carbonatadas		Carne de ave
	Naranja		Arroz
	Melocotón		Alimentación por sonda de 2 kcal/ml
	Pera		
	Alimentos infantiles y triturados		
	Vino		
	Alimentación por sonda de 1 kcal/ml		

Alcohol

Lo que quizá es más sorprendente que la información sobre el efecto de las bebidas con cafeína son las noticias sobre el efecto diurético del alcohol. Aunque hay un aumento de la diuresis durante las tres primeras horas después del consumo de una bebida alcohólica, seis horas después de la ingesta se inicia un efecto antidiurético que puede durar hasta 12 horas después del consumo de la bebida. Este efecto posiblemente se debe a la supresión de la vasopresina [8]. Tomando como base una revisión bibliográfica, en el informe del IOM se afirma que "[...] parece que el efecto de la ingesta de etanol en el aumento de la eliminación de agua parece ser pasajero y no supondría una pérdida apreciable de líquido en un período de 24 horas" [1].

ADVERTENCIAS

La mayoría de personas sanas satisfacen sus necesidades diarias de agua cuando se dejan

guiar por la sed. Sin embargo, cabe destacar que ésto no es así en el caso de los deportistas, personal militar en entornos calurosos, enfermos, ancianos o niños. La sensación de sed (o la capacidad de comunicarla) de estas personas no es un reflejo adecuado de sus necesidades de agua. La IA del agua no es una guía adecuada para estos grupos de población.

CONCLUSIÓN

Se deben realizar muchos más estudios sobre las necesidades de hidratación en diversas situaciones y sobre la función del agua en la promoción de la salud y prevención de enfermedades. Algunas personas cuestionan si los datos utilizados para crear las IAs del agua son adecuados. Se reconoce que se necesitan técnicas de fácil uso que permitan evaluar con exactitud la hidratación. No obstante, es destacable el hecho de que se haya establecido una A para el agua porque constituye una guía para una cuestión que no disponía de ningún tipo de directriz. Para consultar el informe total en Internet, visite: <http://www.nap.edu/catalog/10925.html>.

Estudio original

Limitaciones de los datos sobre la ingesta de líquido

Victor L. Fulgoni, III, PhD

Nutrition Impact, LLC, Battle Creek, Michigan

Palabras clave: NHANES, ingesta de agua, ingesta adecuada, limitaciones

Contexto: la Ingesta Diaria de Referencia (IDR) de agua, potasio, sodio, cloruros y sulfatos proporcionaron tablas de datos sobre la ingesta total de agua, la ingesta de agua procedente de bebidas y la ingesta de agua procedente de alimentos; sin embargo, proporcionaron muy poca información sobre los detalles específicos de estos análisis. La ingesta total de agua descrita presentaba diferencias en función del sexo y, hasta cierto punto, de la edad, y sugería que las otras fuentes de variación se debían a diferencias en el tamaño corporal, la actividad física y la exposición ambiental.

Objetivo y métodos: con la finalidad de comprender mejor la variación en la ingesta de agua descrita, se analiza la ingesta de agua procedente de alimentos y bebidas y el consumo de agua a partir de los estudios “National Health and Nutrition Examination Surveys” (NHANES), 1999-2002.

Resultados: los niños de raza negra no hispanos (de 4 a 18 años) consumían menos agua procedente de alimentos y bebidas (~0,15 L/día) que los niños hispanos y los niños de raza blanca no hispanos. Los niños de raza negra no hispanos consumían menos agua (~0,15 L/día) que los niños de otras razas. Los adultos de raza blanca no hispanos ingerían más agua procedente de alimentos y bebidas (0,4 L/día) y los adultos de raza negra no hispanos menos (~0,2 L/día) que los adultos hispanos y de otros grupos étnicos. Los adultos de raza negra no hispanos ingerían menos agua (~0,2 L/día) que los adultos de raza blanca no hispanos y de otros grupos étnicos, pero su ingesta de agua era similar al de los adultos hispanos.

Conclusión: estos datos indican que los estudios futuros sobre las fuentes de variación de ingesta de agua deberían considerar las diferencias étnicas.

INTRODUCCIÓN

Las ingestas dietéticas de referencia (IDR) de agua, potasio, sodio, cloruros y sulfatos [1] establecieron una ingesta adecuada (IA) de agua basada en la media de ingesta de agua y de consumo de agua procedente de alimentos y bebidas. Estas ingestas se calcularon a partir de datos comunicados por los sujetos relativos al consumo de alimentos y bebidas en un período de 24 horas así como a partir de algunas preguntas sobre la frecuencia del consumo de alimentos y bebidas (por ejemplo, ¿qué cantidad de agua bebe normalmente en un período de 24 horas? Incluya sólo el agua mineral o el agua del grifo.) utilizadas en los estudios “National Health and Nutrition Examination Surveys (NHANES) 1988-1994”, después de aplicar un ajuste (para la mayoría de grupos de edad) para tener en cuenta la variación intraindividual. La IA de agua se estableció en 1,3-3,3 L/día para los niños y en 2,7-3,7 L/día para los adultos. La IA de agua de los hombres fue aproximadamente 1 L/día superior a la de las mujeres [1].

Aunque el informe sobre IDR proporciona tablas con una gran cantidad de datos sobre la

ingesta total de agua y la ingesta de agua procedente de bebidas y alimentos, ofrece muy poca información sobre los detalles específicos de estos análisis. Un aspecto digno de mención de los cálculos de la ingesta total de agua es el amplio rango de ingestas descrito. Por ejemplo, en los hombres y mujeres con edades comprendidas entre 31 y 50 años, la diferencia entre el 5º percentil y el 95º percentil fue de 4,2 y 3,7 L/día, de tal manera que el rango de ingestas estaba por encima de la media y la mediana de ingesta (3,9 y 3,6 L/día en los hombres y 3,1 y 2,8 L/día en las mujeres, respectivamente).

En un intento por cuantificar la variación en los cálculos de la ingesta de agua y comparar esta variación con la de otros nutrientes, se utilizó un cociente entre el 95º percentil y el 5º percentil. Como porcentaje de la ingesta media, el rango de la ingesta total de agua fue considerablemente inferior al rango de ingesta de determinados macronutrientes, como proteínas e hidratos de carbono, pero similar al rango de ingesta de ciertos micronutrientes, como el calcio (Tabla 1). Incluso con la enorme variación en la ingesta de agua descrita, la osmolalidad sérica (mmol/kg) prácticamente no

experimentó cambios en los deciles de ingesta total de agua [1].

Tabla 1. Comparación de la variación en la ingesta total de agua y determinados nutrientes

	Media	5° percentil	95° percentil	95°-5° percentil/media
Hombres, 31-50 años				
Agua (L/día)	3,8	2,1	6,3	1,11
Hidratos de carbono (g/día)	331	193	491	0,90
Proteínas (g/kg/día)	1,35	0,89	1,91	0,76
Calcio (mg/día)	1.021	448	1.802	1,33
Mujeres, 31-50 años				
Agua (L/día)	3,1	1,6	5,3	1,19
Hidratos de carbono (g/día)	239	135	364	0,96
Proteínas (g/kg/día)	1,12	0,68	1,66	0,88
Calcio (mg/día)	755	414	1.206	1,04

Fuentes: [1, 5]

Para ayudar a comprender mejor las fuentes de variación en la ingesta total de agua, los análisis se realizaron con los datos del estudio NHANES 1999-2000 para la ingesta de agua procedente de alimentos y bebidas así como de agua corriente.

MATERIALES Y MÉTODOS

El NHANES es una iniciativa de obtención de datos en curso que realiza el "National Center for Health Statistics de los Centers for Disease Control and Prevention" con el fin de recopilar información sobre la salud y la alimentación de una muestra representativa a escala nacional estadounidense de una población estadounidense no internada en ningún establecimiento sanitario. Para el NHANES se ha diseñado una muestra de probabilidad en múltiples fases estratificada. En el NHANES 1999-2002 los estadounidenses de origen mejicano, las personas de raza negra no hispanas, los niños y los adolescentes estaban sobrerrepresentados. Se puede obtener información adicional sobre el diseño del estudio NHANES 1999-2002, su metodología y el uso público de los datos en www.cdc.gov/nchs/nhanes.htm [2].

La ingesta de agua procedente de alimentos y bebidas se determinó mediante variables disponibles de los archivos de ingestas alimentarias totales. El consumo de agua se determinó mediante las respuestas al cuestionario sobre frecuencia de consumo de alimentos (por ejemplo, "Total de agua consumida ayer, incluida el agua del grifo, agua de fuentes, agua de dispensadores de agua, agua embotellada y agua mineral"). Se realizaron análisis para todos los niños con edades comprendidas entre 4 y 18 años y para los adultos con una edad mínima de 19 años. Se presentaron medias del mínimo cuadrado y errores estándar para el agua procedente de bebidas y alimentos y para el agua de modelos que incluyen el sexo, raza/etnicidad, edad y estado respecto al índice de masa corporal (IMC) (normal, sobrepeso u obesidad). También se calcularon diversos percentiles de ingesta (esto es, 5°, 50° [mediana] y 95°). Todos los análisis se ponderaron con las ponderaciones de muestras del estudio NHANES y se ajustaron para el diseño de muestra complejo de NHANES con el paquete estadístico SUDAAN (SAS versión 9 de RTI International, Research Triangle Park, NC). Las hipótesis estadísticas se comprobaron con un nivel de significación de 0,05.

Tabla 2. Ingesta de agua (L/día) procedente de alimentos y bebidas, NHANES 1999-2002*

	Media $\pm$ DE	5º percentil	50º percentil	95º percentil
Niños, 4-18 años				
Todos	1,40 $\pm$ 0,02	0,51 $\pm$ 0,03	1,24 $\pm$ 0,02	2,79 $\pm$ 0,18
Sexo masculino	1,55 ^a $\pm$ 0,03	0,58 $\pm$ NE	1,37 $\pm$ 0,03	3,13 $\pm$ 0,23
Sexo femenino	1,24 ^b $\pm$ 0,02	0,45 $\pm$ NE	1,14 $\pm$ 0,02	2,34 $\pm$ 0,13
De raza blanca no hispanos	1,42 ^a $\pm$ 0,03	0,51 $\pm$ 0,04	1,25 $\pm$ 0,03	2,91 $\pm$ 0,15
De raza negra no hispanos	1,25 ^b $\pm$ 0,02	0,44 $\pm$ 0,02	1,13 $\pm$ 0,02	2,39 $\pm$ 0,16
Hispanos	1,41 ^a $\pm$ 0,03	0,58 $\pm$ 0,03	1,25 $\pm$ 0,04	2,60 $\pm$ 0,19
Otros	1,38 ^{ab} $\pm$ 0,07	0,52 $\pm$ 0,07	1,19 $\pm$ 0,06	2,76 $\pm$ 0,24
Adultos, 19+ años				
Todos	2,01 $\pm$ 0,02	0,72 $\pm$ 0,04	1,85 $\pm$ 0,02	4,16 $\pm$ 0,25
Sexo masculino	2,40 ^a $\pm$ 0,03	0,86 $\pm$ 0,05	2,15 $\pm$ 0,02	4,75 $\pm$ 0,31
Sexo femenino	1,76 ^b $\pm$ 0,02	0,64 $\pm$ 0,04	1,59 $\pm$ 0,03	3,30 $\pm$ 0,15
De raza blanca no hispanos	2,20 ^a $\pm$ 0,03	0,79 $\pm$ 0,05	1,97 $\pm$ 0,03	4,29 $\pm$ 0,28
De raza negra no hispanos	1,68 ^b $\pm$ 0,03	0,51 $\pm$ 0,03	1,49 $\pm$ 0,02	3,50 $\pm$ 0,33
Hispanos	1,82 ^c $\pm$ 0,03	0,64 $\pm$ 0,05	1,64 $\pm$ 0,04	3,85 $\pm$ 0,28
Otros	1,86 ^c $\pm$ 0,03	0,67 $\pm$ 0,12	1,75 $\pm$ 0,05	3,48 $\pm$ 0,39

*Los datos los aportan los propios participantes en una única ocasión respecto a un período de 24 horas; 6.705 niños: 3.359 de sexo masculino y 3.347 de sexo femenino; 8.836 adultos: 4.477 de sexo masculino y 4.359 de sexo femenino.

NE = No estimable. ^{a, b, c}Las medias con diversos superíndices son diferentes, $p < 0,05$ del modelo de regresión, incluido el sexo, las edades, la raza/etnicidad y el estado en cuanto al IMC.

RESULTADOS

Los datos de la ingesta de agua procedente de alimentos y bebidas para niños y adultos se presentan en la Tabla 2. Los niños consumían 1,4 L/día, y los de sexo masculino consumían una cantidad significativamente mayor que las de sexo femenino (1,5 frente a 1,2 L/día). El consumo de agua procedente de alimentos y bebidas por parte de los adultos fue de 2,0 L/día; los hombres consumían una cantidad de agua procedente de alimentos y bebidas significativamente mayor que las mujeres (2,4 frente a 1,8 L/día). Se observó un gran intervalo en la cantidad de agua procedente de alimentos y bebidas tanto en niños como adultos; la diferencia entre el 5º y el 95º percentil estuvo por encima de los 2 L/día en los niños y por encima de los 3 L/día en los adultos. Los niños de raza negra no hispanos consumían una cantidad significativamente menor de agua procedente de alimentos y bebidas (~0,15 L/día) que los niños de raza blanca no hispanos y los niños hispanos. Los adultos de raza blanca no hispanos consumían más agua procedente de alimentos y bebidas que los adultos de raza negra no hispanos (~0,60 L/día) y los adultos hispanos y de otros grupos étnicos (~0,35 L/día). La edad afectó significativamente al consumo de agua procedente de alimentos y bebidas tanto en niños como en adultos; los niños de mayor edad consumían más agua procedente de alimentos y bebidas, pero los

adultos de mayor edad consumían menos agua procedente de alimentos y bebidas. El estado respecto al IMC no repercutió en el consumo de agua procedente de alimentos y bebidas (no se muestran los datos).

Los datos de la ingesta de agua de niños y adultos se presentan en la Tabla 3. Los niños consumían 0,8 L/día de agua, mientras que el consumo en adultos era de 1,8 L/día. Tanto niños como hombres adultos consumían una cantidad significativamente mayor de agua corriente que sus homólogas de sexo femenino. Los niños de raza negra no hispanos consumían una cantidad significativamente menor de agua (de 0,15 a 0,20 L/día) que los niños de otros grupos étnicos. Los adultos de raza blanca no hispanos y los adultos de otros grupos étnicos consumían más agua que los adultos de raza negra no hispanos (de 0,15 a 0,30 L/día). La edad afectó significativamente al consumo de agua corriente tanto en niños como en adultos; los niños mayores consumían más agua y los adultos mayores consumían menos agua. Los adultos con un peso normal consumían menos agua que los adultos obesos (no se muestran los datos).

DISCUSIÓN

Las estimaciones de la ingesta de agua actuales presentan ciertas limitaciones. Los cálculos de la ingesta total de agua de la IDR combinaron datos relativos al consumo de agua del grifo y al consumo de agua procedente de alimentos y bebidas en un período de 24 horas proporcionados por los sujetos del estudio que se recopilaban mediante un cuestionario sobre frecuencia del consumo de alimentos. Los errores de ambos métodos de estimación de la ingesta de agua serán por lo menos, aditivos, aunque no se dispone de información para evaluar los errores en estas mediciones respecto a la ingesta de agua. Los cálculos de la "ingesta habitual" de los datos del estudio NHANES 1988-1994 se realizaron para establecer las IDR para el agua. Aunque por lo general dos días de ingesta se pueden utilizar para calcular las estimaciones de ingesta habitual de la mayoría de nutrientes para la población, no se identificaron datos que confirmaran que dos días de medidas de ingesta serían adecuados para evaluar la ingesta de agua habitual.

Tabla 3. Ingesta de agua (L/día) procedente de agua exclusivamente, NHANES 1999-2002*

	Media $\pm$ DE	50º percentil	95º percentil
Niños, 4-18 años			
Todos	0,78 $\pm$ 0,04	0,47 $\pm$ 0,01	2,47 $\pm$ 0,20
Sexo masculino	0,82 ^a $\pm$ 0,03	0,47 $\pm$ 0,03	2,81 $\pm$ 0,27
Sexo femenino	0,73 ^b $\pm$ 0,03	0,45 $\pm$ 0,01	2,21 $\pm$ 0,22
De raza blanca no hispanos	0,79 ^a $\pm$ 0,04	0,47 $\pm$ 0,02	2,47 $\pm$ 0,23
De raza negra no hispanos	0,65 ^b $\pm$ 0,02	0,43 $\pm$ 0,01	2,06 $\pm$ 0,20
Hispanos	0,80 ^a $\pm$ 0,06	0,44 $\pm$ 0,04	2,57 $\pm$ 0,33
Otros	0,87 ^a $\pm$ 0,08	0,52 $\pm$ NE	2,83 $\pm$ 0,63
Adultos, 19+ años			
Todos	1,28 $\pm$ 0,03	0,94 $\pm$ 0,01	3,76 $\pm$ 0,02
Sexo masculino	1,34 ^a $\pm$ 0,03	0,96 $\pm$ 0,02	3,77 $\pm$ 0,13
Sexo femenino	1,22 ^b $\pm$ 0,03	0,94 $\pm$ 0,01	3,50 $\pm$ 0,24
De raza blanca no hispanos	1,30 ^a $\pm$ 0,03	0,95 $\pm$ 0,03	3,73 $\pm$ 0,03
De raza negra no hispanos	1,13 ^b $\pm$ 0,06	0,86 $\pm$ 0,03	3,56 $\pm$ 0,14
Hispanos	1,24 ^{ab} $\pm$ 0,07	0,94 $\pm$ 0,04	3,77 $\pm$ 0,21
Otros	1,43 ^a $\pm$ 0,11	0,96 $\pm$ 0,04	4,23 $\pm$ 0,73

*En respuesta a la pregunta sobre frecuencia del consumo de alimentos del estudio NHANES: "Total de agua corriente consumida ayer, incluida el agua del grifo, el agua de fuentes, el agua de dispensadores de agua, el agua embotellada y el agua mineral". Los datos corresponden a 6.647 niños: 3.329 de sexo masculino y 3.318 de sexo femenino; 8.798 adultos: 4.459 de sexo masculino y 4.339 de sexo femenino.

NE = No estimable.

^a, ^b, ^c Las medias con diversos superíndices son diferentes, $p < 0,05$ del modelo de regresión, incluido el sexo, las edades, la raza/etnicidad y el estado en cuanto al IMC.

No se han publicado los datos del estudio NHANES 1999-2002 sobre una segunda declaración de datos relativa a un período de 24 horas y, por tanto, los datos presentados en este informe se basan en una única medida de la ingesta. Como tal, la variabilidad de las ingestas

Se han descrito datos que validan el método de múltiples pasos en cinco fases de declaración de datos sobre hábitos alimentarios por parte de los propios sujetos del departamento de agricultura de EE.UU, que actualmente se utiliza en el estudio NHANES. En los hombres, no se observaron diferencias significativas entre los datos alimentarios proporcionados por los sujetos y la ingesta real; sin embargo, en el método de declaración de datos los aportes energético, de proteínas, hidratos de carbono y grasas estuvieron sobreestimados en un porcentaje que osciló entre el 7,4 y 8,5% [3]. En las mujeres, la declaración de datos alimentarios fue significativamente superior para el aporte energético y de proteínas (8,3 y 0,7%, respectivamente), pero los datos proporcionados respecto a hidratos de carbono y grasas fueron similares a los de la ingesta real [4]. Sin embargo, no se presentaron datos sobre la validación de la declaración de datos del período de 24 horas ni para la ingesta de agua procedente de alimentos y bebidas ni para las preguntas sobre frecuencia del consumo alimentario respecto a la ingesta de agua.

de agua pondrá de manifiesto ambas diferencias intraindividuales e interindividuales puesto que, en un día determinado, una persona concreta puede consumir una cantidad mucho mayor o mucho menor de alimentos, bebidas y agua de lo habitual. Aunque los niveles medios de ingesta de una única declaración y de múltiples

días de declaración serán bastante similares, la distribución de la ingesta de agua siempre será mucho más amplia cuando se utilice una única declaración.

Aunque las estimaciones de la ingesta de agua presentan limitaciones, los datos del estudio NHANES se recopilan con los mejores métodos actualmente disponibles. Los estudios que se realicen en el futuro deberían incluir una mejor

comprensión de la variación en la ingesta de agua, posiblemente mediante la confirmación de que los métodos de estimación de la ingesta actuales miden con exactitud la ingesta real. Entretanto, los datos actuales sobre las estimaciones de la ingesta de agua se deberían utilizar teniendo en cuenta las limitaciones de los mismos.

Revisión

Función de los alimentos en la promoción de la hidratación después del ejercicio en humanos

Rick L. Sharp, PhD

Department of Health & Human Performance, Iowa State University, Ames, Iowa

Palabras clave: hidratación, equilibrio hidroelectrolítico, ejercicio, electrolitos, osmolalidad, hidratos de carbono, retención de líquido

Diversos informes indican que los humanos obtienen entre el 20% y el 25% de su ingesta diaria de agua a partir de los alimentos. Por tanto, las frutas, hortalizas y otros alimentos con un elevado contenido hídrico realizan una importante contribución a la ingesta total de líquido.

Asimismo, la ingesta conjunta de otros nutrientes e ingredientes puede repercutir en los hábitos de consumo de líquido y en la absorción, distribución y retención de agua, todos ellos aspectos que contribuyen al estado de hidratación de la persona. Por consiguiente, el valor hídrico de un alimento tiene se deriva de la interacción entre su contenido de agua y la presencia de estos co-nutrientes e ingredientes.

En esta revisión se analiza la investigación desarrollada sobre esta cuestión, y se pone de manifiesto una mayor ingesta voluntaria de líquido por parte de chicos jóvenes durante la práctica de ejercicio cuando la bebida tiene sabor y contiene cloruro sódico e hidratos de carbono.

Estudios adicionales sobre la rehidratación después de la práctica de ejercicio y la exposición al calor mostraron una mayor recuperación del volumen plasmático y del estado de los fluidos corporales cuando se ingería alimento antes de beber agua en las dos horas posteriores a la práctica de ejercicio.

En conjunto, estos resultados apuntan a una interacción entre la ingesta de líquido y la co-ingesta de nutrientes en la regulación de la hidratación humana durante y después de la práctica de ejercicio.

Puntos clave:

- La ingesta voluntaria de líquido durante la práctica de ejercicio a menudo no es adecuada para evitar la deshidratación y requiere la corrección de los déficit de fluidos después del ejercicio.
- El sabor, el aporte energético y el perfil de ingredientes de las bebidas hidratantes influye en la ingesta voluntaria de líquido y puede ayudar a garantizar una ingesta suficiente de líquido.
- Además de aportar agua, los alimentos proporcionan energía, nutrientes e ingredientes que pueden ayudar a regular el proceso de hidratación.
- Los resultados de diversos estudios sugieren que tanto el contenido en hidratos de carbono como la presencia de ingredientes osmóticamente activos (electrolitos) estimulan la ingesta voluntaria de líquido y potencian la retención de fluidos.

Dirección para correspondencia: Rick L. Sharp, PhD, 250 Forker Building, Department of Health & Human Performance, Iowa State University, Ames, IA 50011. Correo electrónico: rlsharp@iastate.edu.

Presentado en la conferencia de 2006 de ILSI North America sobre hidratación y fomento de la salud, 29-30 de noviembre de 2006, Washington DC.

Agradecimientos: la investigación que se presenta en la referencia [19] se realizó con el apoyo financiero y de productos que Campbell Soup Company, Camden, NJ, prestó al autor.

Declaración de conflictos de intereses: el autor declara no tener ningún conflicto de intereses relacionado con este artículo.

INTRODUCCIÓN

Las pérdidas de agua a través de la sudoración pueden llegar a ser de hasta 3 L/h durante una actividad física intensa en entornos calurosos y, a menos que se consuma una cantidad suficiente de líquido, puede suponer una hipohidratación persistente. En consecuencia, se han formulado

directrices para la ingesta de líquido antes, durante y después de la práctica de ejercicio. Por lo general, estas directrices especifican el uso de agua o de algún tipo de bebida deportiva que contenga hidratos de carbono y electrolitos. Cuando el objetivo consiste en recuperar el líquido perdido después de la práctica de ejercicio (rehidratación), el volumen recomendado de líquido que se debe consumir

generalmente oscila entre el 100% y el 150% del volumen perdido durante la sesión de ejercicio anterior. Los volúmenes recomendados superiores a la pérdida de líquido (>100%) tienen la finalidad de compensar la pérdida de agua que necesariamente se produce como consecuencia de la filtración renal durante las horas posteriores al ejercicio.

El agua, las bebidas y los alimentos son fuentes de agua alimentaria para la rehidratación. Sin embargo, la presencia de otros nutrientes y las propiedades de estas fuentes pueden influir en la velocidad de la rehidratación y el destino final del agua ingerida. Por ejemplo, la presencia de cloruro sódico en el proceso de rehidratación puede favorecer la reposición de líquido extracelular (LEC) preferentemente. En este artículo se analizan los efectos interactivos del agua y los nutrientes ingeridos conjuntamente que afectan a la disponibilidad del agua ingerida durante y después de la actividad física.

FUENTES ALIMENTARIAS DE AGUA

El equilibrio del agua corporal se mantiene al igualar la pérdida de agua diaria con la ingesta alimentaria de agua. La producción metabólica de agua (250-300 mL/día) también contribuye a este equilibrio en menor grado. El “Food and Nutrition Board” ha fijado una ingesta adecuada (IA) de agua total de 3,7 L/día para los hombres adultos y de 2,7 L/día para las mujeres adultas [1]. Tomando como base los

resultados del “Continuing Survey of Food Intakes by Individuals CSFII”, Heller describe que los adultos estadounidenses obtienen aproximadamente el 25% de su ingesta total de agua diaria de alimentos que contienen agua [2]. Los resultados del estudio NHANES III (Tabla 1) sugieren que, por lo general, los adultos estadounidenses reciben aproximadamente el 19% de la ingesta total de agua diaria a partir de la ingesta de alimentos y entre el 35% y el 40% a partir de agua (tanto embotellada como del grifo) [3]. Con independencia de la pequeña cantidad de sales y otros ingredientes presentes en el agua, esto significa que entre el 60% y el 65% del promedio de ingesta diaria de agua de una persona se ingiere junto con otros ingredientes, como hidratos de carbono, sales y cafeína, que pueden influir en la absorción, distribución y retención del agua ingerida.

Hay bases de datos disponibles que muestran el contenido de agua de alimentos [4], como se puede apreciar en los ejemplos que se recogen en la Tabla 2. En dicha tabla se muestran ejemplos de alimentos que contienen una elevada proporción de agua, como frutas y hortalizas frescas como lechuga, naranjas y tomates; y alimentos que no contienen una gran proporción de agua como las nueces, la carne, el pan y el queso. En función de la elección de los consumidores y del acceso a determinados alimentos, puede haber una notable variabilidad en la cantidad de agua total ingerida derivada de la ingesta de alimentos.

Tabla 1. Ingesta total de agua diaria procedente de diversas fuentes en adultos estadounidenses de sexo masculino y femenino. Datos extraídos de la base de datos del estudio NHANES III y publicados en [3].

Fuente de agua	Intervalo de edad (años)	Hombres	Mujeres
Agua total ^a	19-30	3.908	2.838
	31-50	3.848	3.101
Agua ^b	19-30	1.389	1.156
	31-50	1.292	1.229
Agua + bebidas ^c	19-30	3.176	2.321
	31-50	3.089	2.523
Agua de los alimentos	19-30	732	515
	31-50	761	574

^aLa ingesta de agua total es la suma de agua y del contenido de agua de todos los alimentos y bebidas.

^bEl agua incluye el agua del grifo y el agua embotellada.

^cAgua + bebidas es la suma del agua y de todas las demás bebidas, incluido el café, té, bebidas alcohólicas, refrescos y otras bebidas de este tipo.

Tabla 2. Contenido de agua (% de peso del alimento) de alimentos consumidos habitualmente. Datos extraídos de [4].

Contenido de agua alto		Contenido de agua bajo	
Alimento	Contenido de agua	Alimento	Contenido de agua
Lechuga, iceberg	96%	Bistec, cocinado	50%
Calabaza, cocinada	94%	Queso, cheddar	37%
Encurtidos	92%	Pan, blanco	36%
Melón	90%	Galletas	4%
Naranja	87%	Nueces	4%

Manzana	86%	Copos de maíz	3%
Pera	84%	Cacahuets, tostados	2%

INTERACCIONES ENTRE NUTRIENTES

La presencia de otros nutrientes e ingredientes en alimentos o en una solución de rehidratación, afecta a la absorción del agua, su distribución en los compartimentos corporales y la retención del agua ingerida. Por ejemplo, es notorio que el sodio favorece la reposición del LEC [5-7]. Los hidratos de carbono aceleran la absorción de agua en el intestino delgado al estimular el movimiento de agua en el que intervienen portadores [8]. La cafeína ejerce un efecto diurético que puede influir en la retención neta de agua ingerida [6]. Por tanto, la comparación del contenido de agua de los alimentos sin tener en cuenta la presencia de otras sustancias que pueden repercutir en la disponibilidad del agua ingerida no brinda una imagen completa del valor que tiene para la hidratación un alimento o bebida determinado. En un sentido práctico, puede ser mejor escoger alimentos que tengan un elevado contenido de agua y, al mismo tiempo, proporcionen otros ingredientes que puedan facilitar el proceso de hidratación.

Estudios de investigación que analizan las necesidades de agua asociadas con la práctica de ejercicio en entornos calurosos han permitido recopilar indicios que sugieren que se debe ingerir líquido antes, durante y después del ejercicio [9]. La finalidad de la ingesta de líquido previa a la práctica de ejercicio consiste en llenar al máximo las reservas de agua corporal para hacer frente a futuras pérdidas de líquido a través de la sudoración, mientras que el objetivo de la ingesta durante el ejercicio es reponer las pérdidas de líquido por el sudor a medida que se producen para evitar la aparición de la hipohidratación al final de la práctica del ejercicio. De hecho, se sabe que esta práctica conserva la sudoración termorreguladora, mitiga el incremento de la temperatura central y prolonga el rendimiento [10-12]. Se recomienda ingerir una cantidad suficiente de líquido adecuado después del ejercicio para reponer el déficit de agua corporal que se pueda haber producido durante el ejercicio antes realizado. En algunos tipos de actividad física, es importante recuperar el equilibrio hídrico lo más rápidamente posible para corregir la hipohidratación antes de que tenga lugar la siguiente sesión de actividad física. Por ejemplo, los jugadores de fútbol americano de EE.UU. a menudo entrenan dos veces al día durante los meses más calurosos del año (agosto y septiembre), con lo que la reposición de las reservas de agua corporal entre las dos sesiones diarias de entrenamiento es una prioridad.

Estas consideraciones han provocado la realización de muchos estudios para determinar la dosis y composición de la bebida ideal para la reposición de líquido. Las bebidas comerciales para deportistas están formuladas con una combinación de hidratos de carbono y electrolitos para proporcionar energía, facilitar la absorción de agua, reponer los electrolitos perdidos a través de la sudoración y potenciar el sabor de las bebidas para aumentar el consumo voluntario.

FUNCIÓN DEL SABOR DE LAS BEBIDAS Y EL CLORURO SÓDICO PARA FOMENTAR SU CONSUMO

A pesar de la disponibilidad de líquidos adecuados, las personas generalmente no beben lo suficiente como para compensar las pérdidas por el sudor en su totalidad [7, 13]. Wilk y Bar-Or [14] analizaron la función de los hidratos de carbono, el sabor de las bebidas y el cloruro sódico para estimular un mayor consumo de líquido entre chicos adolescentes que practican ejercicio de resistencia en un entorno caluroso. Doce chicos con edades comprendidas entre 9 y 12 años practicaron ejercicio intermitente durante tres horas en un entorno a 35 °C. Durante el ejercicio, los sujetos pudieron acceder libremente a agua, agua con sabor a uva o una bebida con sabor a uva que contenía un 6% de hidratos de carbono y 18 mmol/L de NaCl. Al final del ejercicio, el líquido del que los sujetos habían consumido un mayor volumen fue la bebida con hidratos de carbono y electrolitos (HE), seguida del agua con sabor y, por último, el agua sin sabor ($p < 0,05$). Asimismo, el equilibrio hídrico corporal al final del ejercicio fue significativamente diferente entre los tres tratamientos, de tal modo que se obtuvo un balance hídrico ligeramente negativo en el ensayo con agua sin sabor (-0,7%) y ligeramente positivo después del ensayo con la bebida con HE (+0,5%). La producción de orina no presentó diferencias entre los diversos ensayos, lo que implica que la presencia de hidratos de carbono y cloruro sódico de la bebida con HE incrementó la retención de agua. Sin embargo, puesto que en este estudio no se obtuvieron muestras de sangre, no se pueden confirmar los posibles efectos en la osmolalidad plasmática y las hormonas que regulan el líquido (Figura 1).

En un estudio posterior, Rivera-Brown [15] volvieron a analizar la cuestión del efecto de la composición de las bebidas en el consumo voluntario de líquido en adolescentes varones

durante la práctica de ejercicio en entornos calurosos. Los sujetos del estudio de Wilk y Bar-Or no estaban aclimatados al calor y, por tanto, sus tasas de sudoración fueron relativamente bajas durante los ensayos experimentales que dejaron abierta la posibilidad de que las bebidas para deportistas

con sabor podrían no potenciar un incremento del consumo de líquido y un mejor mantenimiento del agua corporal en poblaciones que practican ejercicio y están aclimatadas al calor y, en consecuencia, presentaban mayores tasas de sudoración durante la práctica de ejercicio.

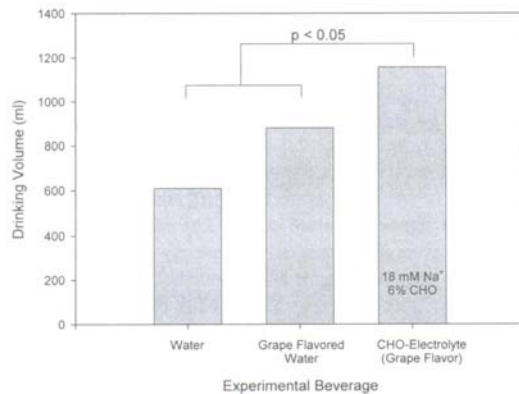


Figura 1. Efecto del sabor, hidratos de carbono y electrolitos de las bebidas en la ingesta voluntaria de líquido durante el ejercicio en condiciones de calor. Adaptada de Wilk y Bar-Or [14].
Volumen de ingesta de líquido (ml)

Doce chicos con edades comprendidas entre 11 y 14 años participaron en el estudio que implicó la práctica de ejercicio intermitente durante tres horas al aire libre en un entorno tropical. En una ocasión los chicos pudieron ingerir a voluntad agua corriente y, en el otro ensayo, se les proporcionó una bebida con hidratos de carbono y electrolitos con sabor a uva (6% de hidratos de carbono, 18 mmol/L de NaCl). De forma similar a los resultados del estudio anterior de Wilk y Bar-Or, el consumo voluntario de líquido aumentó significativamente en un 32% en el ensayo de la bebida con HE, de aproximadamente 1.450 ml en el ensayo con agua a aproximadamente 1.900 ml en el ensayo con la bebida con HE. Durante el ensayo con agua, los chicos alcanzaron un porcentaje de hipohidratación del 1% al final del período del experimento. La bebida con HE dio como resultado un balance hídrico corporal que no fue diferente de cero al final del ejercicio, lo que sugiere que la ingesta de líquido correspondió a la tasa de sudoración y evitó que se produjera un déficit de agua corporal.

REPOSICIÓN DEL LÍQUIDO PERDIDO DESPUÉS DEL EJERCICIO: FUNCIÓN DE LOS ALIMENTOS

Es bien sabido que el sodio es el principal ion extracelular, y ya en 1973 se mostró que acelera la recuperación del volumen plasmático después de la práctica de ejercicio en entornos calurosos

[5]. En estudios posteriores también se puso de manifiesto que la adición de sodio a las bebidas de rehidratación incrementaba la retención de los líquidos ingeridos [16]. Por consiguiente, una mayor retención puede acelerar la recuperación de los déficits de líquido después de practicar ejercicio en entornos calurosos.

Aunque no se ha estudiado ampliamente, existen algunos indicios que sugieren que la ingesta de alimentos durante la rehidratación puede acelerar la recuperación de las reservas de agua corporal. Sproles et al. [17] mostraron una mejor rehidratación cuando se consumía una comida de 425 g al inicio de un período de rehidratación de cinco horas en el que se ingería una bebida con hidratos de carbono y electrolitos. En un estudio posterior de Maughan et al. [18] se analizó la función de una comida consumida con agua y se comparó la eficacia para la rehidratación de esta aproximación con la ingesta de una bebida con hidratos de carbono y electrolitos durante la rehidratación. En este estudio, ocho participantes se deshidrataron hasta un -2% con la práctica de ejercicio. En los 60 minutos posteriores al ejercicio, los sujetos ingirieron una bebida con glucosa y electrolitos (6% de hidratos de carbono, 21 mmol/L de sodio) o bien agua junto con una comida. La comida consistió en arroz, judías y ternera, que proporcionó 63 mmol de Na⁺ y 21 mmol de K⁺. Se calculó el contenido de agua de la comida y se restó del agua que se debía ingerir, por lo que la ingesta total de agua sería equivalente al

150% del agua perdida durante la práctica del ejercicio anterior. Se proporcionó agua a los sujetos en cantidades iguales cada 15 minutos durante 60 minutos después del ejercicio. La

rehidratación se evaluó con la medición del volumen de orina y de la recuperación del peso corporal periódicamente durante las siguientes cinco horas (Figuras 2 y 3).

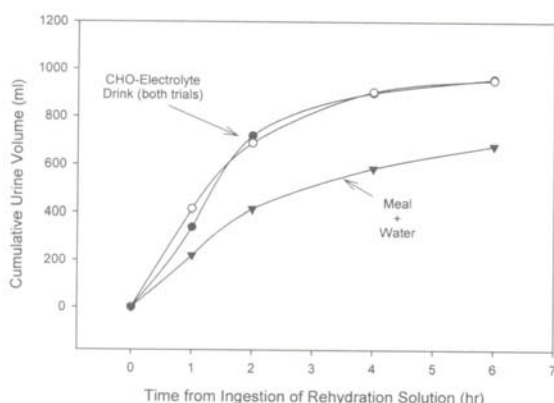


Figura 2. Volumen de orina acumulado después de la ingesta de una bebida con hidratos de carbono-electrolitos o de una comida con agua. Adaptada de Maughan et al [18].

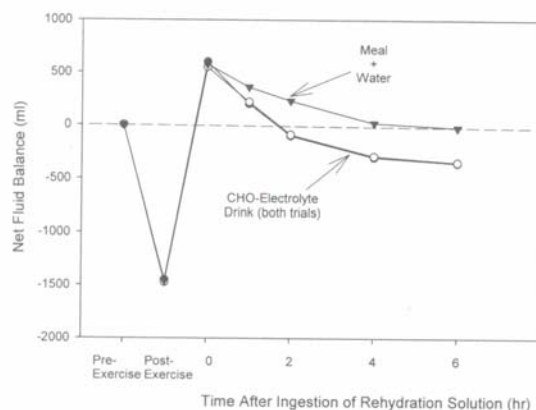


Figura 3. Equilibrio hídrico neto después de la ingesta de una bebida con hidratos de carbono-electrolitos o de una comida con agua. Adaptada de Maughan et al. [18].

Durante las seis horas de rehidratación, los sujetos experimentaron una menor producción de orina medida en las horas primera y segunda cuando la comida se acompañaba de agua. A partir de entonces, el volumen de orina fue similar en todos los ensayos, pero el volumen acumulado de orina durante las seis horas de observación fue significativamente menor con la comida que con la bebida con HE. La fracción de agua ingerida que se retenía fue significativamente mayor en el ensayo en el que se administraba la comida con agua (67%) que en cualquiera de los ensayos en los que se daba una bebida con HE (51% y 52%). A causa del gran volumen de líquido ingerido durante la primera hora posterior a la deshidratación provocada por el ejercicio, el balance hídrico de todo el cuerpo fue positivo en los tres ensayos al inicio del período de observación de seis horas (aproximadamente +500 ml en los tres ensayos). Al final de la sexta hora, el balance hidroelectrolítico neto fue negativo después de

ambos ensayos con bebidas con HE (-337 ml y -373 ml), pero se alcanzó el estado de normohidratación después del ensayo con comida y agua (-29 ml).

Los autores llegaron a la conclusión que no es necesario añadir electrolitos a la bebida de rehidratación si los electrolitos se proporcionan en un alimento sólido consumido durante el período de rehidratación. Puede que en este estudio no se haya analizado la posible contribución de nutrientes que aportan energía (hidratos de carbono, grasas y proteínas) de los alimentos sólidos, pero teniendo en cuenta la falta de diferencias en la osmolalidad plasmática, resulta dudoso que estos nutrientes desempeñen una función importante en el fomento de una mayor retención de agua en el ensayo en el que se administró una comida y agua. Es probable que este efecto se debiera a la mayor dosis total de sodio de la comida (63 mmol) que la de la bebida con HE (43 mmol).

En un estudio similar llevado a cabo en este laboratorio [19], 30 hombres ($n = 15$) y mujeres ($n = 15$) se rehidrataron después de una pérdida del 3% de peso corporal provocada por la práctica de ejercicio y la exposición a calor para determinar el efecto de la ingesta de sopa (sopa de pollo con fideos Chicken Noodle Soup®, Campbell Soup Company) en el proceso de rehidratación, en particular en la recuperación del volumen plasmático. Cada sujeto participó en cuatro ensayos en los que se administraron líquidos en dosis divididas cada 20 minutos durante un período de rehidratación de dos horas para compensar la pérdida de líquido anterior (cambio en la masa corporal). En un ensayo, sólo se ingirió agua, mientras que en los otros dos se consumieron 175 ml de caldo de pollo o de sopa de pollo con fideos al inicio y a los 20 minutos del período de rehidratación. Después de ese momento se ingirió agua en dosis divididas de modo que el volumen total consumido equivalió al volumen perdido. En un cuarto ensayo, se administró una bebida con HE (175 ml al inicio y a los 20 minutos de la rehidratación) seguido por agua. Se obtuvieron muestras de sangre y se determinó la masa

corporal cada 20 minutos, y se midió el volumen de orina al inicio y al final del período de rehidratación (Figura 4).

El protocolo de deshidratación produjo un promedio de pérdida de peso corporal del 2,5% y una reducción de aproximadamente entre el 7% y 8% del volumen plasmático. Al final del período de rehidratación de dos horas, el volumen plasmático aún estaba reducido ($p < 0,05$) cuando se utilizó agua como único líquido (-5,5%) y cuando se proporcionó una bebida con HE (-4,1%). Cuando se dio a los participantes caldo de pollo o sopa de pollo con fideos al inicio del período de rehidratación, el volumen plasmático final no presentó diferencias significativas respecto al valor de normohidratación (-1,0% en ambos). El hecho de que el consumo de caldo de pollo o de sopa de pollo con fideos acelerara la restauración del volumen plasmático no es sorprendente habida cuenta de que la dosis de sodio fue de 41 mmol en el ensayo con caldo de pollo y de 59 mmol en el ensayo con sopa de pollo con fideos, en comparación con la dosis de 0 mmol del ensayo con agua del grifo y la de sólo 6 mmol del ensayo con la bebida con HE.

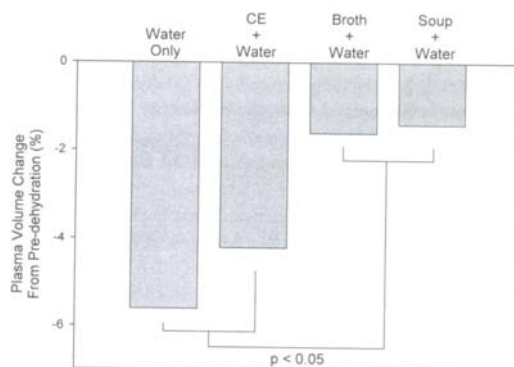


Figura 4. Cambios en el volumen plasmático durante la rehidratación después de la ingesta de sólo agua, una bebida con hidratos de carbono-electrolitos (HE) más agua, caldo de pollo (caldo) más agua, o sopa de pollo con fideos (sopa) más agua. Adaptada de Ray y cols. [19].

Cabe destacar que la ausencia de cualquier ventaja de la bebida con HE en comparación con el agua corriente contrasta con los resultados de estudios anteriores en los que se ponía de manifiesto una rehidratación más rápida y completa con la bebida con HE que con agua [5, 6]. Sin embargo, en estos estudios anteriores se suministró una cantidad total de bebida con HE mucho mayor y, por tanto, se proporcionó una dosis total de sodio superior a la utilizada en el estudio de Ray et al. Por ejemplo, Costill y Sparks [5] suministraron 2,87 L con un contenido de 22 mmol/L de Na^+ en dosis divididas durante un período de recuperación de tres horas para proporcionar

una dosis total de sodio de 63 mmol. Asimismo, Gonzalez-Alonzo y cols. [6] dieron a los sujetos 1,95 L ó 1,82 L de una bebida con 20 mmol/L de HE para proporcionar una dosis total de sodio de 39 y 36 mmol, respectivamente. En consecuencia, la dosis total de sodio utilizada en estudios anteriores fue similar a la proporcionada en los ensayos con caldo y sopa del estudio de Ray et al. Asimismo, es probable que si como única bebida de rehidratación se hubiera proporcionado la bebida con HE durante el período de rehidratación de dos horas del estudio de Ray et al., la restauración del volumen plasmático se habría estado acelerada respecto a la lograda con la ingesta de agua,

como sucedió en los estudios de Costill y Sparks y Gonzalez-Alonzo et al.

CONSLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

El conjunto de estudios analizados en este artículo sugieren que la combinación de sabor, hidratos de carbono y electrolitos fomenta el consumo voluntario de líquido durante la práctica de ejercicio en entornos calurosos, lo que ayuda a prevenir la aparición de hipohidratación, conservar la termorregulación y, probablemente, incrementar el rendimiento. En la rehidratación posterior a un déficit de líquido, los electrolitos (en especial el sodio) aceleran la recuperación tanto del volumen plasmático como del agua corporal total al potenciar la retención de líquido por parte de los riñones y favorecer el espacio extracelular para la distribución de agua. El sodio se puede suministrar como soluto en la bebida de

rehidratación o bien se puede ingerir como componente de una comida junto con agua en el período de rehidratación.

El potasio también es un catión que habitualmente se incluye en las bebidas de rehidratación y, puesto que principalmente se distribuye en el espacio intracelular, puede favorecer la reposición del líquido intracelular durante la rehidratación. Se deben llevar a cabo más estudios para determinar si la rehidratación preferencial del LEC es más importante en la restauración de la termorregulación y en el rendimiento que la rehidratación del líquido intracelular. Por último, a causa de la presencia de otros ingredientes y nutrientes en los alimentos, el valor de un alimento determinado en la promoción de la hidratación probablemente es el resultado de la interacción entre su contenido de agua y las cantidades de otros componentes que afectan a la absorción, distribución y retención del agua.

Revisión

Hidratación en el lugar de trabajo

Robert W. Kenefick, PhD, y Michael N. Sawka, PhD

US Army Research Institute of Environmental Medicine, Natick, Massachusetts

Palabras clave: hidratación, salud, seguridad laboral, reposición de líquido

Cuando se realiza un trabajo físico, la sudoración a menudo es superior a la ingesta de agua, con lo que se produce un déficit de agua corporal o deshidratación.

Específicamente para el lugar de trabajo, la deshidratación puede afectar negativamente a la productividad, seguridad y moral del trabajador. Organismos legislativos de Estados Unidos como la "Occupational Safety and Health Administration" (OSHA) y la "American Conference of Governmental Industrial Hygienists" (ACGIH) recomiendan reponer líquidos frecuentemente cuando se está expuesto al estrés térmico por calor, como un vaso (250 ml) cada 20 minutos cuando se trabaja en un entorno cálido.

Sin embargo, la mayoría de directrices legislativas proporcionan indicaciones vagas y ninguna tiene en cuenta los efectos de la intensidad del trabajo, entornos específicos o el uso de ropas protectoras. Se deben desarrollar unas directrices laborales mejoradas relativas a la reposición de líquido y electrolitos durante actividades laborales en entornos calurosos que incluyan recomendaciones sobre el consumo de líquido antes, durante y después del trabajo.

Puntos clave:

- El agua corporal total equivale aproximadamente al 60% de la masa corporal y normalmente oscila en un $\pm 3\%$.
- El mantenimiento del agua corporal total normal (normohidratación) es importante, ya que los déficits $>2\%$ de la masa corporal pueden afectar negativamente al rendimiento aeróbico, la tolerancia ortostática y la función cognitiva.
- Los estudios sobre accidentes laborales presentan las tasas de accidentes más bajas en los meses fríos, y las más elevadas en los meses calurosos cuando las pérdidas por la sudoración serían mayores.
- El nivel de actividad física, la ropa/equipos y las condiciones meteorológicas son importantes para determinar las necesidades de líquido. Los lugares de trabajo que se encuentran en entornos cálidos, que implican un elevado nivel de actividad física o que presentan ambas características requerirán una mayor reposición de líquido.
- El uso de las medidas del peso corporal y el color de la orina, con la sensación subjetiva de sed, pueden ayudar a proporcionar una evaluación del estado de hidratación.
- Las directrices relativas a la reposición de líquido deben tener en cuenta la intensidad del trabajo, el entorno y los ciclos entre períodos de trabajo y reposo.

Solicitudes de separata a: R. W. Kenefick, United States Army Research Institute of Environmental Medicine, 42 Kansas Street, Natick, MA 01760. Correo electrónico: Robert.Kenefick@us.army.mil.

Presentado en la conferencia de ILSI North America sobre hidratación y fomento de la salud, 29-30 de noviembre de 2006, Washington DC.

Declaración de conflictos de intereses: los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses relacionado con este artículo.

INTRODUCCIÓN

Aunque la hidratación "normal" se consigue por medio de un amplio rango de ingestas de agua en personas sedentarias y activas en toda su esperanza de vida, mantener la homeostasis del agua corporal puede ser difícil cuando entra en juego un trabajo físico extenuante y el estrés térmico por calor. Los deportistas y trabajadores industriales son algunas de las personas que con mayor frecuencia están sujetas a problemas de

hidratación; sin embargo, los trabajadores industriales son una población que comparte estas mismas preocupaciones pero a la que a menudo se ignora. Estas personas pueden realizar un trabajo físico intenso en entornos cálidos o calurosos, lo que puede provocar su deshidratación cada día. La hidratación en el lugar de trabajo es una preocupación específica, porque la deshidratación puede repercutir en la productividad, seguridad, costes y moral. El objetivo de esta revisión consiste en tratar los factores que desempeñan una función en el

mantenimiento del agua corporal, analizar dichos factores en relación con el lugar de trabajo y ofrecer orientación respecto a la hidratación en el lugar de trabajo.

AGUA CORPORAL

El agua es el componente químico principal del cuerpo humano y representa entre el 50% y el 70% del peso corporal [1] de un joven medio varón adulto. Aunque las plantillas están formadas por personas de edades, composiciones corporales y estados físicos diferentes, es importante tener en cuenta que la variabilidad en el agua corporal total se debe principalmente a la composición corporal, ya que una masa corporal magra contiene un ~73% de agua y una masa corporal grasa contiene un ~10% de agua [2]. Por tanto, las personas obesas con el mismo peso corporal que sus homólogos delgados presentarán volúmenes de agua corporal total marcadamente inferiores. Por ejemplo, un adulto delgado que pese 70 kg y tenga un 10% grasa corporal tendría ~48 litros de agua corporal total en comparación con un adulto obeso de 70 kg y un 35% de grasa, que tendría ~36 litros de agua corporal total, de modo que un déficit de líquido absoluto tendrá consecuencias más graves en el último caso.

Aproximadamente entre el 5% y el 10% del agua corporal total se renueva a diario [3] a través de la inevitable pérdida de líquido (no producida por la práctica de ejercicio). El aire inspirado y la ventilación pulmonar influyen en la pérdida de agua a través de la respiración; pero este tipo de pérdida de agua se compensa con el agua metabólica que se forma mediante la oxidación de sustratos. La diuresis es de aproximadamente entre uno y dos litros al día, pero puede ser mayor o menor en función del consumo diario de líquido y la actividad desempeñada. La capacidad para variar la diuresis constituye el principal medio de regulación del equilibrio hídrico corporal neto en un amplio rango de volúmenes de ingesta de líquido y pérdidas a través de otras vías [4]. Las pérdidas a través de la sudoración y, en última instancia las necesidades de líquido, pueden presentar grandes diferencias y dependen de la cantidad e intensidad de la actividad física y las condiciones ambientales [5].

El equilibrio hídrico corporal neto (pérdida = obtención) se regula de una forma remarcablemente buena día a día como resultado de la sed y el hambre, en combinación con el acceso *ad libitum* a bebidas y alimentos para compensar las pérdidas de agua [4]. Aunque se pueden producir graves desequilibrios entre la pérdida y obtención de líquido como consecuencia de enfermedades, la

exposición ambiental, la práctica de ejercicio o el trabajo físico, el hecho de que las ingestas suelen ser adecuadas para compensar las pérdidas netas del día a día es un fenómeno reproducible [6]. Sin embargo, se sabe que después de una pérdida significativa de agua corporal como la asociada al trabajo físico o al estrés térmico por calor, en la que se producen déficits de agua notables, se pueden llegar a necesitar muchas horas de rehidratación y consumo de electrolitos para restablecer el equilibrio hídrico corporal [7]. Por ejemplo, si la deshidratación supera aproximadamente el 4% del peso corporal total, se puede tardar más de 24 horas en lograr una rehidratación completa a través de la reposición de agua y electrolitos [8-10]. Aunque una actividad diaria agotadora en un entorno caluroso puede suponer un déficit leve en el equilibrio hídrico, incluso con un acceso ilimitado a líquidos y alimentos [7-11], el cumplimiento de las directrices reconocidas sobre la ingesta de agua [11-13] en condiciones similares minimiza los déficits de agua, tal y como se determina mediante la estabilidad de la masa corporal diaria [14].

NECESIDADES DE AGUA Y ACTIVIDAD FÍSICA

La National Academy of Sciences ha fijado una ingesta adecuada (IA) para el agua total diaria de 3,7 L y 2,7 L para los hombres y las mujeres adultos, respectivamente [4]. Sin embargo, la ingesta de agua diaria presenta grandes diferencias según las personas y entre los diversos grupos. Por ejemplo, las necesidades diarias de agua de los hombres sedentarios son de ~1,2 L o de ~2,5 L [15, 16] y aumentan hasta ~3,2 L si llevan a cabo una ligera actividad física [17, 18]. En comparación con los adultos sedentarios, las necesidades diarias de agua descritas de los adultos activos que viven en un entorno cálido son de ~6 L [19], y las de poblaciones muy activas son marcadamente superiores (>6 L) [20]. Se dispone de una cantidad limitada de datos sobre las necesidades de líquido de las mujeres, pero generalmente presentan unas tasas de renovación diaria del agua menores que sus homólogos masculinos.

La magnitud de las pérdidas por sudoración producidas durante el trabajo en un entorno cálido depende principalmente de la intensidad y duración del trabajo [21]. La producción metabólica de calor se equilibra con las pérdidas térmicas secas y por evaporación (sudoración), pero unas tasas metabólicas muy elevadas combinadas con unas condiciones meteorológicas cálidas exigen unas mayores necesidades térmicas para la refrigeración por evaporación [22], lo que supone unas mayores

pérdidas a través del sudor y, posteriormente, unas necesidades de agua superiores. Sin embargo, es importante tener en cuenta que las tasas de sudoración pueden presentar diferencias entre diversas actividades laborales y entre individuos [21].

En la Figura 1 [4] se muestran aproximaciones de modelado generalizadas de los rangos diarios de sudoración en función del índice metabólico diario (nivel de actividad) y temperatura del aire. Es importante recordar que el índice metabólico y la temperatura del aire influyen notablemente en las necesidades de agua. Además de la temperatura del aire, otros factores ambientales como la humedad relativa, el movimiento del aire, la carga solar y el uso de ropa protectora influyen en la sobrecarga térmica y, por tanto, en las necesidades de agua.

CONSECUENCIAS DE LA DESHIDRATACIÓN

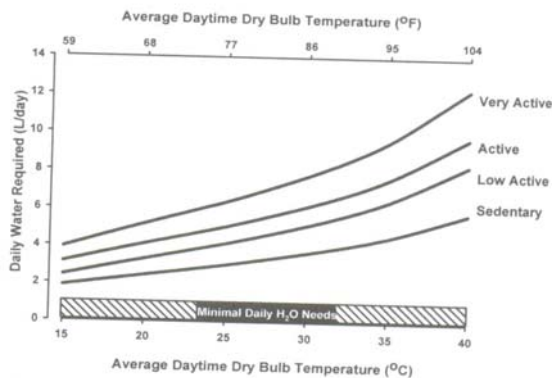


Figura 1. Necesidades de agua estimadas a partir de previsiones de pérdida por sudor debida a cambios en la actividad física y la temperatura del aire. De IOM (con autorización) [4].

Durante el trabajo submáximo en condiciones de calor o de ausencia de calor, la deshidratación se traduce en un aumento de la sobrecarga cardiovascular. Se ha mostrado que la frecuencia cardíaca aumenta en cuatro latidos por minuto por cada 1% de pérdida de peso corporal [34]. Los individuos que pueden llegar a trabajar en un estado de deshidratación y/o deshidratarse en mayor medida durante su trabajo podrían esperar un incremento de entre 16 y 20 latidos por minuto con una pérdida de peso corporal de entre el 4% y el 5%. Este aumento de la frecuencia cardíaca suele ir acompañado de una mayor percepción subjetiva de esfuerzo por parte de la persona a la hora de realizar una tarea que implica ejercicio, lo que puede jugar un papel en alteraciones en el rendimiento laboral cuando se está deshidratado.

También se ha demostrado que la deshidratación repercute negativamente en el

La deshidratación incrementa la temperatura central durante el trabajo físico en entornos templados [23-25] o calurosos [26-28]. El cambio en la temperatura central que se suele describir con la deshidratación corresponde a un aumento de 0,1-0,2 °C por cada 1% de deshidratación [29]. En el mayor almacenamiento de calor que se produce con la deshidratación interviene una menor pérdida de calor a través de la sudoración (pérdida de calor por evaporación) y la circulación sanguínea cutánea (pérdida seca de calor) [30-32]. En entornos cálidos o calurosos, la evaporación por sudoración es el principal mecanismo de disipación de calor cuando la humedad relativa es baja. Cuando una persona está deshidratada, la tasa de sudoración es menor con cualquier temperatura central y, por tanto, se reduce la pérdida de calor mediante evaporación [33].

rendimiento del trabajo aeróbico. La magnitud de la disminución del rendimiento está relacionada con la temperatura ambiental, la tarea que implica ejercicio y las características fisiológicas de la persona, como la forma física, el estado de aclimatación y la tolerancia a la deshidratación. La “National Academy of Sciences” revisó diversos estudios sobre la influencia de la deshidratación en el rendimiento durante el ejercicio de resistencia y la capacidad para realizar un trabajo físico [4]. En esta revisión se llegó a la conclusión de que cuando la deshidratación supera el 2% del peso corporal, se produce una degradación del rendimiento de resistencia y de la capacidad para trabajar, y la reducción del rendimiento se acentúa cuando se trabaja en condiciones de calor.

En ocasiones se ha demostrado que la deshidratación afecta negativamente a las tareas laborales que son predominantemente

anaeróbicas. Sin embargo, esto no está claro, ya que los déficits de agua corporal parece que no alteran la fuerza muscular [4]. En el informe del “Institute of Medicine” sobre ingestas dietéticas de referencia (IDR) se revisaron cinco estudios relativos a la influencia de la deshidratación en el rendimiento durante el ejercicio anaeróbico. En la mitad de los estudios analizados se describía una reducción en el rendimiento anaeróbico; no obstante, en la mayoría de estudios no se describió ningún efecto de la deshidratación en la fuerza muscular.

Por lo general, el trabajo laboral implica diversos componentes de trabajo, por lo que no siempre se puede clasificar como totalmente aeróbico, anaeróbico o de fuerza muscular. El trabajo aeróbico es aquel que implica el desempeño de tareas laborales que se desarrollan a lo largo de varias horas, y que corresponde a actividades como las que se realizan en fundiciones, la construcción, agricultura, jardinería y silvicultura. El rendimiento laboral de estas tareas se puede ver gravemente afectado por la deshidratación, en especial en el caso de las personas que llevan a cabo trabajos de gran intensidad en entornos cálidos o calurosos y presentan elevadas tasas de flujo de agua. Sin embargo, estas tareas pueden implicar periódicamente un componente predominantemente anaeróbico o de fuerza. Asimismo, algunas tareas que puede ser sedentarias pero que ocasionalmente incluyen un componente anaeróbico o de fuerza, como la elevación de cargas pesadas, el uso de un mazo o el movimiento de pacas de heno, pueden verse menos afectadas por los déficits de agua corporal.

DESHIDRATACIÓN EN EL LUGAR DE TRABAJO

Durante el trabajo físico en entornos calurosos, la sudoración a menudo puede ser mayor que la ingesta de agua, lo que puede llevar a déficits de agua corporal o a un estado de deshidratación. Bishop et al. [35] observaron que, en condiciones laborales industriales simuladas, la ropa de protección ceñida aumentaba la tasa de sudoración hasta 2,25 L/h. Asimismo, el hecho de llevar equipos de protección como máscaras de cara completa o media cara pueden dificultar el consumo de líquido y, por tanto, pueden contribuir a una mayor deshidratación en el lugar de trabajo. Los bomberos, por ejemplo, llevan ropa de protección pesada y están expuestos a calor intenso. Rossi [36] describió que los bomberos que llevaban equipos y ropa de protección durante la realización de tareas laborales simuladas en un entorno caluroso pueden presentar tasas de sudoración de hasta

2,1 L/h. Brake et al. [37] observaron las pérdidas de líquido y el estado de hidratación de mineros que trabajan durante turnos largos (12 horas) en condiciones de estrés térmico. Apuntaron que el 60% de los mineros afirmaban trabajar deshidratados y que su estado de hidratación no mejoraba a lo largo del turno de 10 a 12 horas. Por tanto, no es sorprendente que el mantenimiento del equilibrio hídrico pueda ser un problema difícil de resolver durante la jornada laboral. Está bien documentado que los trabajadores a menudo no sólo se deshidratan en el trabajo, sino que también pueden empezar la jornada laboral con un déficit de líquido.

Aunque en muchos estudios se ha observado el efecto de la deshidratación en la capacidad de realizar tareas físicas, pocos estudios han observado el efecto de la deshidratación en la productividad del trabajo manual. Wasterlund y Chaseling [38] estudiaron a los trabajadores silvícolas en un entorno de 14,7 °C en dos contextos diferentes, uno en el que los sujetos consumían una cantidad suficiente de líquido para mantener un estado de hidratación normal y otro en el que los sujetos consumían una cantidad limitada de líquido que supuso una pérdida de peso corporal de 0,7 kg (>1% del peso corporal). La medida de la productividad fue la cantidad de tiempo necesaria para apilar y descargar 2,4 metros cúbicos de madera para pasta de papel. Cuando los sujetos estaban deshidratados, la productividad del apilado y descarga de la madera se redujo en un 12%.

También se ha observado que la deshidratación afecta negativamente a la toma de decisiones y al rendimiento cognitivo, lo que puede contribuir a una reducción de la productividad y se podría asociar a un mayor riesgo de sufrir accidentes laborales. Gopinathan et al. [39] deshidrataron a sujetos de forma pasiva en un 1, 2, 3 y 4% de la masa corporal y observaron que el seguimiento motor visual, la memoria a corto plazo, la capacidad de atención y la eficiencia aritmética se vieron mermados con un porcentaje de deshidratación del 2% o superior. Cian et al. [40] observaron el efecto de una deshidratación <3% resultado de la práctica de ejercicio o la exposición al calor en la función cognitiva. Estos autores describieron que, en comparación con los sujetos bien hidratados, aquellos deshidratados mostraron la memoria a corto plazo comprometida y señalaron una mayor fatiga durante hasta dos horas después de la deshidratación. Szinnai et al. [41] analizaron el efecto de una deshidratación del 2,6% en la función motora-cognitiva de 16 personas. Apuntaron que las personas deshidratadas afirmaban estar más cansadas, tener un estado de alerta mermado y percibir niveles superiores

de esfuerzo y concentración en comparación

con su estado de hidratación normal.

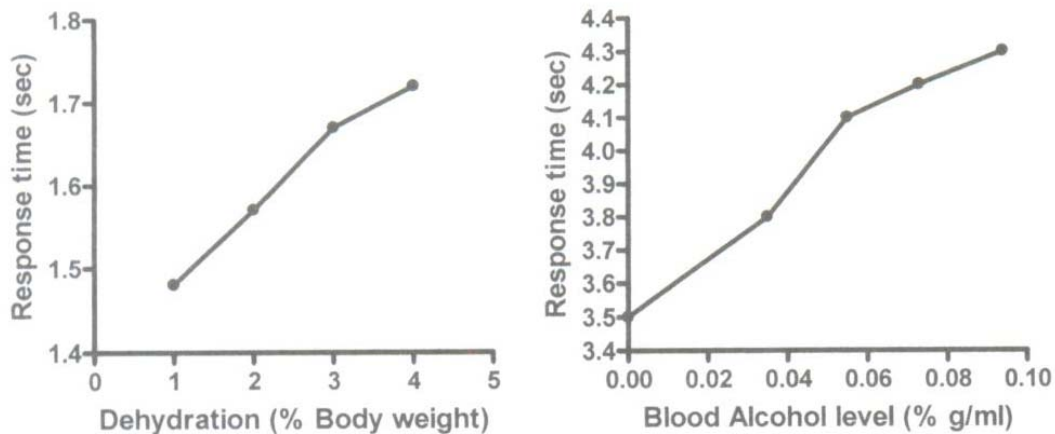


Figura 2. Efecto de la deshidratación en el tiempo de respuesta [39] y efecto del contenido de alcohol en sangre en el tiempo de respuesta [42].

En la Figura 2 se muestra el cambio del 23% en el tiempo de reacción que Gopinathan et al. [39] observaron cuando los sujetos presentaban un estado de deshidratación del 4%. En comparación, en un estudio de Moskowitz et al. [42] se describieron los efectos del contenido de alcohol en la sangre y las aptitudes para la conducción y se indicó que los niveles de alcohol en sangre en el límite legal estadounidense de 0,08 supusieron una reducción del tiempo de respuesta de los conductores del 17%. Aunque estos dos estudios [39, 42] no son equivalentes, ya que se utilizaron pruebas diferentes para medir el tiempo de reacción, sí se puede establecer un punto de comparación. Un contenido de alcohol en sangre en el límite estadounidense o por encima de este valor supondrá un deterioro significativo de la capacidad para conducir un vehículo; es posible que los cambios en el tiempo de reacción descritos con la deshidratación también puedan provocar un deterioro similar.

La deshidratación puede jugar un papel en los accidentes laborales al provocar una intolerancia

ortostática. Adolph [2] describió que los sujetos deshidratados se desmayaban más rápidamente cuando cambiaba su posición corporal (prueba de tolerancia ortostática). Asimismo, Carter et al. [43] explicaron que los sujetos deshidratados en un 3% de la masa corporal como consecuencia de la exposición al calor mostraban una reducción significativa en la velocidad de la circulación sanguínea cerebral cuando pasaban de estar sentados a estar de pie. Aunque no se han descrito conexiones, es posible que las reducciones en la función cognitiva y el tiempo de reacción en las que interviene la deshidratación puedan estar indirectamente conectadas. En un estudio clásico de Vernon [44], las tasas de accidentes más bajas se daban con temperaturas de $\sim 20^{\circ}\text{C}$ y aumentaban en un 30% en entornos de $\sim 24^{\circ}\text{C}$, tal y como se muestra en la Figura 3. Como se ha apuntado con anterioridad, es en los entornos cálidos o calurosos en los que la renovación de líquido sería mayor y es más probable que los trabajadores se deshidraten.



Figura 3. Accidentes industriales por mes, redibujado de [42].

EVALUACIÓN DE LA HIDRATACIÓN Y RECOMENDACIONES

Paliar la deshidratación debería implicar una combinación de estrategias que incluyan una evaluación de la ingesta de líquido, formación relativa a esta cuestión y la inclusión de prácticas que fomenten la ingesta de líquido. Como se ha tratado con anterioridad, Brake et al. [37] apuntaron que, en su evaluación del estado de hidratación de mineros, más de la mitad acudían a su turno de trabajo en un estado de hidratación que no se consideraría adecuado para trabajar en condiciones calurosas. Se ha demostrado que la evaluación del estado de hidratación supone todo un reto, dada la dificultad para conseguir una definición aceptada de un estado de agua corporal normal. A pesar de esta dificultad, se pretende que la medición del agua corporal total o de la osmolalidad plasmática sea el estándar para la evaluación de la hidratación [45]. Sin embargo, los métodos empleados para medir estas variables, como la dilución isotópica, la impedancia bioeléctrica y los análisis de sangre o plasma, pueden ser invasivos, caros y difíciles de utilizar en un contexto laboral. Se han utilizado métodos más económicos y menos invasivos de evaluación de la hidratación, como la gravedad específica de la orina (GEO) y el color de la orina, pero dichos métodos presentan limitaciones. Se ha puesto de manifiesto que la gravedad específica de la orina es un tanto eficaz para determinar el estado de hidratación. Se ha apuntado que una $GEO \leq 1,020$ indica un estado de hidratación normal [11] y se ha utilizado para determinar el estado de deshidratación en el lugar de trabajo [37]. No obstante, los valores de orina pueden inducir a error en cuanto al estado de hidratación. Si personas deshidratadas beben un gran volumen de líquido hipotónico, producirán copiosas cantidades de orina antes de lograr unos niveles normales de agua corporal. Además, la orina presentará un color claro y los valores de GEO serán comparables a los de personas bien hidratadas. En un contexto correcto, si las medidas del peso corporal y el color de la orina se utilizan en combinación con la sensación subjetiva de sed, se puede realizar una evaluación más significativa del estado de hidratación [45]. Si se determina que el peso corporal matinal ha fluctuado en $>1\%$ respecto al valor de la mañana anterior, si la orina de la mañana presenta un color más oscuro y si se tiene sed, es probable que la persona esté deshidratada.

La educación es un componente vital para ayudar a los trabajadores a mantener el estado de hidratación durante y después de su turno de trabajo. Informar a las personas, en especial a aquellas que trabajan en entornos calurosos, sobre la evaluación de la hidratación, los signos y peligros de la deshidratación y las estrategias para mantener la hidratación durante el trabajo puede reducir la deshidratación en el lugar de trabajo. Brake et al. [37] describieron que individuos que trabajaban en entornos que provocan estrés térmico podían mantener mejor el estado de hidratación cuando recibían formación sobre la deshidratación, evaluaban su estado de hidratación y seguían un programa de reposición de líquido durante el trabajo.

Un programa de educación e hidratación en el lugar de trabajo debe hacer hincapié en la importancia de consumir comidas. De Castro [46] estudió la ingesta de líquido y alimentos de 36 adultos a lo largo de siete días consecutivos y llegó a la conclusión de que la cantidad de líquido ingerido estaba principalmente relacionada con la cantidad de alimento consumido y de que la ingesta de líquido independiente de la comida era relativamente poco frecuente. Asimismo, Maughan et al. [47], entre otros, informaron que las comidas desempeñan una importante función para ayudar a estimular la respuesta de la sed que desencadena la ingesta de líquido adicional y la restauración del equilibrio hidroelectrolítico. El uso de pausas para la comida establecidas en el contexto laboral, en especial durante los turnos de trabajo más prolongados (de 10 a 12 horas) puede ayudar a recuperar líquido y puede ser importante para la reposición de sodio y otros electrolitos.

Una recomendación que puede potenciar la hidratación en el lugar de trabajo implica mejorar el acceso a los baños. Entrevistas y afirmaciones anecdóticas han revelado que los individuos, y en particular las mujeres, están decididas a no beber líquido si no pueden acceder a los baños. Cuando factores logísticos pueden complicar el acceso a estas instalaciones, el hecho de proporcionar este acceso puede ser un modo sencillo de incrementar la hidratación en el lugar de trabajo y reducir la práctica de la deshidratación voluntaria.

Actualmente, no hay normas industriales específicas a nivel nacional en Estados Unidos respecto a la reposición de líquido que tengan en cuenta el entorno, el uso de ropa protectora y la intensidad del trabajo. En Estados Unidos, las asociaciones de seguridad e higiene en el trabajo utilizan directrices establecidas por la

“American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)”, la “Occupational Safety & Health Administration (OSHA)” y el “National Institute of Occupational Safety & Health (NIOSH)”. Tanto la ACGIH como la OSHA recomiendan la reposición de líquido proporcionando agua fresca o cualquier líquido fresco (excepto bebidas alcohólicas) a los trabajadores y que se fomente su consumo de líquido en pequeñas cantidades frecuentemente, como una taza (250 ml) cada 20 minutos. El NIOSH recomienda que los trabajadores expuestos a un entorno laboral caluroso puedan acceder fácilmente a agua. Es importante que estas organizaciones hayan formulado recomendaciones relativas a la ingesta de líquido y a la hidratación. Sin embargo, estas recomendaciones pueden aconsejar la ingesta de una cantidad demasiado grande o pequeña de

líquido en función del entorno, la persona y la intensidad del trabajo.

El ejército estadounidense ha desarrollado directrices sobre la reposición de líquido y el ritmo de trabajo que tienen en cuenta la intensidad del trabajo, el entorno, los ciclos entre trabajo y descanso y la ingesta de líquido, como se muestra en la Figura 4 [49]. Estas directrices utilizan la temperatura húmeda y de esfera negra (THEN) para fijar los niveles de estrés térmico ambiental. Para calcular la THEN se tienen en cuenta variables ambientales como la radiación solar, la humedad y la temperatura ambiente; se pueden adquirir sistemas automatizados para la medición de la THEN. Las asociaciones de seguridad laboral quizá deseen incluir las mediciones de la THEN respecto a la intensidad del trabajo en cualquier recomendación que formulen sobre la ingesta de líquido en el lugar de trabajo.

Figura 4. Directrices sobre reposición de líquido y ciclos de trabajo/descanso para el entrenamiento en condiciones meteorológicas cálidas que utiliza el ejército de EE.UU. durante el entrenamiento en condiciones meteorológicas calurosas [49].

Categoría de calor	Índice de THEN, °C	Trabajo ligero		Trabajo moderado		Trabajo duro	
		Trabajo/descanso (min)	Ingesta de agua (cuarto de galón/h) (l/h)	Trabajo/descanso (min)	Ingesta de agua (cuarto de galón/h) (l/h)	Trabajo/descanso (min)	Ingesta de agua (cuarto de galón/h) (l/h)
1	78 °-81,9 ° (25,6 °-27,7 °)	NL	0,5 (0,47)	NL	0,75 (0,71)	40/20 min	0,75 (0,71)
2 (verde)	82 °-84,9 ° (27,8 °-29,4 °)	NL	0,5 (0,47)	50/10 min	0,75 (0,71)	30/30 min	1 (0,95)
3 (amarillo)	85 °-87,9 ° (29,5 °-31,1 °)	NL	0,75 (0,71)	40/20 min	0,75 (0,71)	30/30 min	1 (0,95)
4 (rojo)	88 °-89,9 ° (31,2 °-32,2 °)	NL	0,75 (0,71)	30/30 min	0,75 (0,71)	20/40 min	1 (0,95)
5 (negro)	>90 ° (>32,3 °)	50/10 min	1 (0,95)	20/40 min	1 (0,95)	10/50 min	1 (0,95)

*La ingesta de líquido no debe superar los 1,5 cuartos de galón (1,42 litros) por hora o 12 cuartos de galón (11,4 litros) por día.

A veces los responsables no han alentado el consumo de líquido, ya que esto requeriría más pausas de descanso y, por tanto, supondría una reducción de la productividad de los empleados. Es más probable que una hidratación sostenida mantenga la productividad de los trabajadores en un grado suficiente como para compensar cualquier pausa en el trabajo, en particular durante condiciones meteorológicas calurosas. Asimismo, la reducción de los costes sanitarios asociados con la posible disminución de accidentes o enfermedades laborales podría contribuir a reducir todavía más el descenso en

la productividad provocado por las pausas de descanso.

RESUMEN

En esta revisión se ha presentado información sobre la importancia de la hidratación en el lugar de trabajo y los efectos que el estado de hidratación puede tener en la función cognitiva, la productividad, la salud y la seguridad.

También se han revisado las actuales directrices sobre la hidratación en el lugar de trabajo y la

posible necesidad de incorporar factores como el entorno y la intensidad del trabajo en las recomendaciones sobre la ingesta de líquido. A pesar de las dificultades específicas, la mejora de la hidratación en el lugar de trabajo debe incrementar la productividad, reducir los accidentes y potenciar la moral de los empleados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores querían agradecer a Dña. Brett Ely y a D. Daniel Goodman por su ayuda editorial. Los puntos de vista, opiniones o resultados de esta revisión son de los autores y no se deben interpretar como una posición, política o decisión oficial del Departamento del ejército de Estados Unidos a menos que así se especifique oficialmente. Todos los experimentos se llevaron a cabo de conformidad con las directrices estatales y federales.

Revisión

Ejercicio, calor, hidratación y el cerebro

R. J. Maughan, S. M. Shirreffs y P. Watson

School of Sport and Exercise Sciences, Loughborough University, Leicestershire, REINO UNIDO

Palabras clave: ejercicio, calor, hidratación, cansancio

El rendimiento en la realización de tareas tanto físicas como mentales puede verse afectado negativamente por el calor y la deshidratación. Se sabe que el calor y el estado de hidratación tienen efectos en el sistema cardiovascular y termorregulador que pueden explicar la reducción del rendimiento y el incremento en la sensación de esfuerzo que se experimentan en condiciones de calor.

El suministro de líquido con una composición adecuada en las cantidades correctas puede prevenir la deshidratación y puede reducir en gran medida los efectos adversos del estrés térmico por calor.

Se dispone de una cantidad de evidencias cada vez mayor que muestran que los efectos a los que está sujeto el sistema nervioso central pueden intervenir en las consecuencias de una temperatura ambiental elevada y la deshidratación en el rendimiento en la práctica de ejercicio. En este hecho parecen estar implicadas funciones serotoninérgicas y dopaminérgicas. Evidencias recientes sugieren que la integridad de la barrera hematoencefálica puede verse comprometida por una combinación de estrés térmico por calor y deshidratación, y puede actuar en la limitación del rendimiento en situaciones de calor.

Puntos clave:

- El calor reduce el rendimiento durante la realización de ejercicios de resistencia. La deshidratación reduce el rendimiento en la mayoría de tareas físicas y cognitivas. Factores periféricos, como la disminución del glucógeno muscular, puede explicar el cansancio en ejercicios de resistencia en entornos frescos o con cierta temperatura, pero no en condiciones de calor.
- La ingesta de líquido durante la práctica de ejercicio puede reducir la sensación subjetiva de cansancio y aumentar el rendimiento cuando el ejercicio dura más de unos 40 minutos.
- Una temperatura central elevada, y en especial una temperatura cerebral alta, parecen estar asociadas con la aparición del cansancio durante la práctica de ejercicios de resistencia en entornos cálidos.
- Los cambios en la neurotransmisión cerebral, en particular en la dopamina, parecen ser los responsables del cansancio cuando se practica ejercicio en condiciones de calor. Las alteraciones del metabolismo o la circulación sanguínea cerebral también pueden desempeñar una importante función en la aparición del cansancio durante la práctica de ejercicio en un entorno cálido.

Dirección para correspondencia: Professor RJ Maughan, School of Sport and Exercise Sciences, Loughborough University, Leicestershire LE11 3TU, REINO UNIDO. Correo electrónico: r.maughan@lboro.ac.uk

Presentado en la conferencia de ILSI North America sobre hidratación y fomento de la salud, 29-30 de noviembre de 2006, Washington DC.

Declaración de conflictos de intereses: R. J. Maughan es miembro del Gatorade Sports Science Institute Sports Medicine Advisory Board, pero no considera que esto suponga un conflicto de intereses. Los demás autores declaran no tener ningún conflicto de intereses relacionado con este artículo.

INTRODUCCIÓN

Las personas han evolucionado para tolerar una amplia gama de temperaturas ambientales y, al mismo tiempo, mantener la temperatura central

del cuerpo dentro de unos límites bastante estrechos. Al adoptar una combinación de mecanismos fisiológicos y de conducta, los humanos pueden afrontar bien los extremos ambientales y mantener correctamente la temperatura central entre aproximadamente

36 °C y 38 °C en una amplia variedad de entornos y estados de actividad. La fluctuación de la temperatura corporal profunda por encima o por debajo de estos límites exige una mayor participación de los mecanismos homeostáticos del cuerpo y se puede alcanzar un punto en el que se debe dejar que la temperatura vaya a la deriva. La pérdida del control de la temperatura corporal puede provocar deterioros de la actividad fisiológica y, si es suficientemente grave, desmayos y la muerte. Los signos y síntomas pueden ser notablemente similares si la temperatura corporal es alta (hipertermia) o baja (hipotermia). Se dispone de numerosas estrategias para limitar la pérdida de funciones y proteger la salud de las personas expuestas a temperaturas ambientales elevadas o al estrés provocado por la práctica de ejercicio; entre ellas, la más eficaz es el mantenimiento del estado de hidratación [1].

PRÁCTICA DE EJERCICIO EN CONDICIONES DE CALOR: EFECTO EN LA TERMORREGULACIÓN Y EL RENDIMIENTO

Para deportistas y aquellas personas con trabajos físicamente exigentes es algo habitual que el ejercicio sea más duro cuando la temperatura ambiente es elevada y se produce la correspondiente reducción en el rendimiento en la práctica del ejercicio. Esta observación se ha confirmado en muchas ocasiones en estudios bien controlados en condiciones de laboratorio así como en estudios no tan bien controlados realizados sobre el terreno. En el laboratorio, el mayor tiempo de ejercicio hasta la aparición del cansancio a una potencia constante (aproximadamente 70% de $VO_{2máx}$) se consigue a unos 11 °C, y dicho tiempo es menor a temperaturas superiores o inferiores [2]. Parkin et al. también mostraron que el tiempo de ejercicio transcurrido hasta la aparición del cansancio a una temperatura ambiente de 3 °C era mayor que a 20 °C o 40 °C [3]. En un análisis reciente del rendimiento en maratones realizado en entornos diferentes se llegó a la conclusión de que para correr maratones hay una temperatura óptima de aproximadamente 10-12 °C [4].

Dada las elevadas tasas de producción de calor a las que están sujetos los corredores de maratón más rápidos, no es sorprendente que una mayor temperatura ambiente suponga un compromiso en el rendimiento. Cualquier reducción en la tasa de pérdida de calor o la adición de una

carga calorífica externa, que se produce tan pronto como la temperatura ambiental supera la temperatura de la piel, claramente supondrá un incremento más rápido de la temperatura central. Esto significa que debe haber un incremento más rápido de la temperatura central o bien una velocidad de evaporación del sudor más rápida para que se produzca un aumento de la tasa de pérdida de calor. A cambio, una velocidad de evaporación del sudor más rápida requiere una velocidad de secreción de sudor más rápida y/o una temperatura de la piel más elevada para lograr una velocidad de evaporación más alta. El mantenimiento de una temperatura de la piel elevada requiere una circulación sanguínea de la piel alta, lo que supone el desvío de sangre de los músculos que están trabajando o un aumento del gasto cardíaco que se debe alcanzar [5].

Incluso a temperaturas ambientales moderadas, los gradientes de temperatura reducidos entre piel y entorno suponen un deterioro del rendimiento. Por ejemplo, Galloway y Maughan mostraron que el rendimiento disminuye cuando la temperatura ambiente aumenta de 11 °C a 21 °C [2]. Nielsen calculó que la magnitud de este efecto era tal que un corredor de maratón bien entrenado no podría completar la distancia en menos de 3 horas y 20 minutos en las condiciones calurosas y húmedas previstas para los Juegos Olímpicos de Atlanta celebrados en 1996 [6]. Aunque el efecto de una mayor temperatura ambiente en el rendimiento en situaciones de competición es inferior al que se podría esperar teniendo en cuenta las consideraciones teóricas o los estudios de laboratorio, la reducción es, a pesar de todo, real.

Un cambio en la temperatura corporal se puede interpretar como un fallo de la homeostasis o como un reajuste del punto alrededor del cual se produce la regulación. Las pequeñas fluctuaciones son normales: durante el transcurso del día, la temperatura central varía en alrededor de 1 °C [7]. Durante la práctica del ejercicio, es normal un cierto grado de aumento de la temperatura central con el incremento proporcional a la potencia absoluta y relativa (expresada como una fracción de $VO_{2máx}$) [8]. El entorno también influye en el aumento de la temperatura corporal. El incremento de la temperatura central es más rápido en entornos calurosos cuando la potencia se mantiene a una tasa constante, y se observa una mayor temperatura central en el punto de aparición del cansancio (Figura 1).

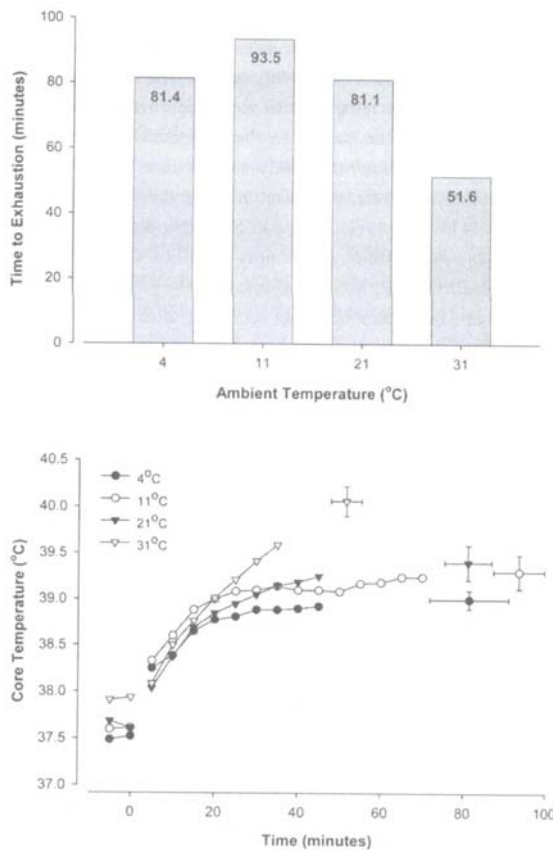


Figura 1. Efectos de la temperatura ambiente en (a) la capacidad de resistencia y (b) la temperatura central (adaptada de [2]). Los datos de (b) se muestran para todos los momentos para los que se dispone de datos para todos los sujetos.

Cuando la temperatura de la piel es superior a la temperatura ambiental, se puede disipar calor al entorno a través de radiación, convección y evaporación. La pérdida de calor por conducción es insignificante cuando el ejercicio se realiza en contacto con el aire, pero es significativa si se está sumergido en agua. Cuando la temperatura ambiental es superior a la temperatura de la piel, la evaporación es el único mecanismo por el que el cuerpo puede disipar calor. Se recurre a la sudoración cuando la temperatura central se incrementa y aumenta proporcionalmente a la temperatura central, pero la temperatura de la piel también influye en la tasa de sudoración. La evaporación del sudor depende del gradiente de presión del vapor de agua en la superficie de la piel: esto, a su vez, depende de la temperatura ambiental y de la piel y de la humedad relativa en la superficie de la piel.

Aunque un incremento de la temperatura corporal normalmente se interpreta como un fallo de la actividad termorreguladora del cuerpo, también puede haber un aumento regulado de la temperatura central durante el ejercicio. La pérdida de calor efectiva a través de la evaporación del sudor exige tasas

adecuadas de sudoración sobre la superficie de la piel para mantener una piel húmeda y una elevada temperatura de la piel para que se pueda producir la evaporación antes de que el sudor se desprenda de la superficie de la piel. Las personas cuentan con una gran cantidad de glándulas sudoríparas distribuidas por toda la superficie corporal y tienen una gran capacidad de secreción de sudor: los atletas entrenados pueden mantener tasas de sudoración de más de 2 L/h durante períodos prolongados [9]. La evaporación de todo este sudor de la superficie corporal disiparía calor a una tasa de 2,4 MJ/h (1.160 kcal/h). Estas cifras se aproximan al promedio de la tasa de producción metabólica de calor para un corredor de 70 kg que termina una maratón en unas 2 horas y 30 minutos. Si todo este sudor se pudiera evaporar de la superficie de la piel y el calor latente de la vaporización procediera del cuerpo y no del entorno, este corredor podría mantener la temperatura corporal bastante bien. Sin embargo, un corredor más rápido necesitaría una mayor tasa de pérdida de calor por evaporación para evitar un aumento de la temperatura central, a menos que contara con una mejor economía de carrera que le permitiera

mantener un ritmo más rápido mantenido con un índice metabólico más lento.

A estas tasas elevadas de secreción de sudor, es posible que una parte significativa simplemente se desprenda de la superficie de la piel una vez que se ha superado la capacidad de evaporación del ambiente. Esto incrementará la pérdida de agua y solutos sin que ello contribuya al mantenimiento de la temperatura corporal. Para evitar esta situación y garantizar la evaporación del sudor, se necesita una temperatura de la piel alta y, por tanto, una elevada circulación sanguínea en la piel; se trata de una gran limitación para el rendimiento en el ejercicio. La convección calorífica de los músculos activos a la superficie de la piel requiere una circulación sanguínea cutánea que sea inversamente proporcional al gradiente de temperatura desde el centro del cuerpo hasta la piel: cuanto más pequeño sea el gradiente de temperatura, mayor será la circulación sanguínea que se deberá desviar a la piel para disipar calor, lo que puede provocar una reducción de la perfusión del músculo esquelético, cerebro y otros tejidos en el caso de la práctica de ejercicio agotador durante un período prolongado en condiciones de calor [10]. Si se deja subir la temperatura corporal, el gradiente entre el centro del cuerpo y la piel aumenta y se reduce la circulación sanguínea cutánea necesaria para mantener el equilibrio térmico. Por tanto, un cierto incremento de la temperatura central puede ser beneficioso e incluso necesario para mantener la actividad

termorreguladora cuando la tasa de producción calorífica es elevada y el entorno no favorece la pérdida de calor. Esto puede explicar la observación realizada en estudios sobre el terreno que los corredores más rápidos normalmente presentan las mayores temperaturas centrales después de las carreras [11].

La manipulación de la temperatura corporal antes de la práctica de ejercicio puede repercutir enormemente en el rendimiento. Lee y Haymes mostraron unos claros efectos en el rendimiento cuando los sujetos practicaban ejercicio hasta acabar agotados a un 82% de $VO_{2\text{máx}}$ y a una temperatura ambiente de 24 °C cuando el ejercicio estaba precedido de 30 minutos de reposo a 5 °C o a 24 °C seguidos de 10-16 minutos a 24 °C [12]. Aunque la temperatura central al final del ejercicio era la misma durante ambos ensayos, el tiempo de ejercicio transcurrido hasta el cansancio fue mayor ($26,2 \pm 9,5$ minutos) después de la exposición al frío que después del reposo en el entorno más cálido ($22,4 \pm 8,5$ min). De forma similar, Gonzalez-Alonso et al. sumergieron a siete sujetos en agua a 17, 36 ó 40 °C durante 30 minutos antes del ejercicio [13]. Posteriormente, los sujetos practicaron ejercicio hasta acabar agotados a un 60% de $VO_{2\text{máx}}$ en un cicloergómetro a una temperatura ambiente de 40 °C. En la Tabla 1 se muestran los tiempos de práctica de ejercicio hasta la aparición del cansancio.

Tabla 1. Efectos de la inmersión anterior en agua a temperaturas diferentes en el tiempo transcurrido hasta la aparición del cansancio en una prueba de cicloergómetro a un 60% de $VO_{2\text{máx}}$ [13]

Condiciones	Tiempo de ejercicio (min)
Fresca	63 ± 3
Neutra	46 ± 3
Cálida	28 ± 2

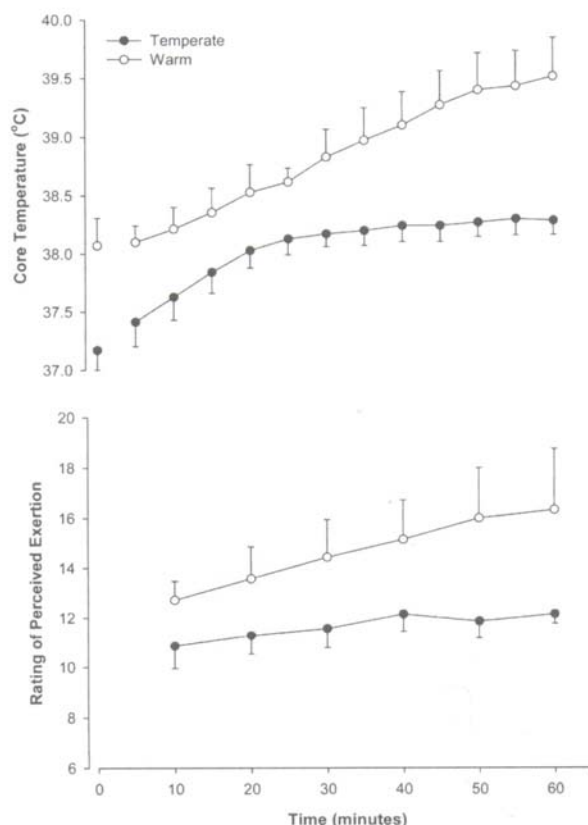


Figura 2. Efecto del calentamiento previo en (a) la temperatura central durante el ejercicio posterior y la recuperación y (b) la clasificación subjetiva de esfuerzo percibido (CEP) durante la práctica de ejercicio. Redibujada de Watson y cols. [36].

Se han obtenido resultados similares en muchos otros estudios. El calentamiento anterior también puede aumentar drásticamente la sensación subjetiva de esfuerzo durante la práctica de ejercicio (Figura 2), indicador potencial de que la temperatura corporal participa en la aparición del cansancio durante la hipertermia. Existen algunas evidencias que apoyan la idea de que el cansancio durante el ejercicio prolongado en un entorno cálido puede coincidir con la consecución de una temperatura central crítica [13, 14]. Estos datos sugieren que puede haber un límite térmico para el rendimiento en el ejercicio que actúa como mecanismo de protección para evitar posibles daños en el cuerpo limitando una mayor producción calorífica. No obstante, es claro que muchas personas alcanzan el punto de fatiga en el ejercicio en entornos calurosos mucho antes de alcanzar valores de 39,5 °C [15], y hay muchos estudios en los que no se observa consistencia en la temperatura central en el punto de fatiga.

Es posible que el concepto de una temperatura central crítica, cuando los individuos se cansan al alcanzar una temperatura central determinada, no sea tan sencillo como se propuso originalmente, de tal manera que es probable

que las reacciones de otros factores desempeñen una función en la aparición de la fatiga en condiciones de estrés calorífico. Evidentemente, es importante recordar que la medida de la temperatura central utilizada en la mayoría de estos estudios fue la temperatura rectal, aunque en algunos estudios también se ha recurrido a la temperatura esofágica. Esto puede ser inadecuado, ya que la relación entre la temperatura rectal y la temperatura cerebral no se ha establecido claramente en humanos, a diferencia de lo que sucede en algunos de los diversos modelos en animales que se han utilizado, en los que la temperatura rectal y la cerebral se puede medir simultáneamente [16]. Es más sencillo creer que sucesos importantes relacionados con el cansancio tienen lugar en el cerebro y no en el recto.

También existen algunos indicios que apuntan a que los efectos beneficiosos de exposiciones sucesivas al ejercicio en un entorno caluroso se deben a una reducción de la temperatura central en reposo previa al ejercicio, de tal manera que la tasa de aumento de la temperatura corporal durante el ejercicio se ve muy poco afectada [14]. Esto es contrario a la creencia habitual de que la aclimatación beneficia al rendimiento en el ejercicio en condiciones de calor al fomentar

la disipación térmica a través de una mayor disipación de calor por evaporación que se deriva de una sudoración más profusa y una distribución más eficaz de la secreción de sudor sobre la superficie corporal [17].

**HIDRATACIÓN, ACTIVIDAD
TERMORREGULADORA Y
RENDIMIENTO EN EL EJERCICIO**

Existe una interacción bien conocida entre el estado de hidratación, la termorregulación y la tolerancia al ejercicio, y en la Tabla 2 se muestran algunas de las consecuencias de la hipohidratación.

En el ejercicio de corta duración el tiempo no basta para que la sudoración provoque reducciones significativas del contenido de agua corporal. Sin embargo, el rendimiento de una persona que empieza este ejercicio en un estado de hipohidratación puede ser menor. Armstrong et al. demostraron claramente este hecho al

Tabla 2. Efectos de la hipohidratación, provocada antes o durante el ejercicio, por la imposibilidad de reponer las pérdidas por sudor

Termorregulación alterada
Volemia reducida
Mayor frecuencia cardíaca
Mayor percepción de esfuerzo
Menor rendimiento en el ejercicio
Cefalea, náuseas, insomnio
Actividad mental alterada

Mayor riesgo de presentar enfermedades por calor
Las evidencias de los efectos del estado de hidratación en el rendimiento durante la práctica de un ejercicio prolongado proceden de muchas líneas de investigación diferentes. Cuando el ejercicio dura más de unos 40-60 minutos, el rendimiento se puede mejorar a través de la ingesta de agua o de hidratos de carbono, y los efectos de las dos son independientes y aditivos [20]. Muchos otros estudios, a menudo no tan bien controlados, han producido resultados similares. El indicio de que la ingesta de agua es eficaz es quizá menos concluyente que el indicio del efecto beneficioso de las bebidas con hidratos de carbono y electrolitos diluidos [21]. Sin embargo, no es fácil estar seguro de que, en este caso, los hidratos de carbono desempeñen una función metabólica, aunque sin duda parte de ellos se oxidan [22]. Una explicación alternativa puede ser que la adición de pequeñas cantidades de hidratos de carbono puede potenciar la absorción de agua en el intestino delgado y, de este modo, fomentar una rehidratación más eficaz. Cuando el período de tiempo es breve, como sucede en el ejercicio que dura menos de dos horas, el líquido ingerido

poner de manifiesto que inducir la hipohidratación mediante la administración de un agente diurético antes de carreras simuladas a distancias de 1.500 m, 5 km y 10 km reducía el rendimiento en un 3,1%, 6,7% y 6,3%, respectivamente [18]. Por tanto, la ventaja teórica de una reducción de la masa corporal que se debe lograr no compensa los efectos negativos de un contenido de agua corporal menor. Sobre el terreno, no se pueden obtener medidas de la actividad cardiovascular, pero parece probable que no se produzca una reducción en el gasto cardíaco máximo que se puede alcanzar, a pesar del menor volumen sanguíneo [19]. En el breve período de tiempo en el que transcurre la carrera de 1.500 m (aproximadamente cuatro minutos), parece muy improbable que la termorregulación juegue un papel significativo, aunque sí es probable que la temperatura muscular aumente rápidamente en los grupos musculares activos.

sólo será eficaz si se vacía rápidamente del estómago y se absorbe con rapidez en el intestino delgado. Por este motivo, las soluciones con hidratos de carbono concentrados pueden no ser eficaces, ya que pueden fomentar la secreción neta pasajera en el intestino delgado, lo que supone una pérdida temporal de agua corporal hacia el interior del intestino delgado [21].

ESTADO DE HIDRATACIÓN Y FUNCIÓN COGNITIVA

En gran parte, la ausencia de pruebas específicas fiables de los diversos aspectos de las características de la función cognitiva ha contribuido a la cantidad limitada de información que hay disponible. Existen pocos estudios sobre los efectos de la hipohidratación en el rendimiento mental y la función cognitiva, pero se han registrado algunos efectos negativos. Gopinathan et al. describieron una reducción en la variedad de tareas que implican la capacidad aritmética, la memoria a corto plazo y el seguimiento visual después de la

deshidratación (2-4% de la masa corporal) provocada por el ejercicio en condiciones de calor y acceso al agua restringido; la reducción en el rendimiento fue aproximadamente proporcional al grado de déficit hídrico, pero no se produjo una pérdida cuantificable de rendimiento con una disminución del 1% de la masa corporal [23]. Esto puede poner de manifiesto la insensibilidad relativa de las pruebas utilizadas. Lieberman aborda detalladamente los efectos del estado de hidratación [24].

Una gran parte de la prensa popular sobre el consumo de líquido y el estado de hidratación sugiere que se requiere un esfuerzo deliberado por parte de los individuos si deben beber una cantidad suficiente de líquido para mantener un estado de equilibrio del agua corporal. Aunque se han estudiado ampliamente muchas respuestas fisiológicas a la hipohidratación, las respuestas subjetivas percibidas a la hipohidratación se han ignorado en gran parte. Esto es particularmente relevante si es posible que sea "sencillo" para las personas restringir involuntariamente su ingesta de líquido a lo largo de diversos días y, así, llegar a un estado de hipohidratación. En un estudio reciente se describieron las respuestas fisiológicas y las sensaciones subjetivas resultantes de 13, 24 y 37 horas de restricción en el consumo de líquido y se compararon con las de un ensayo sobre normohidratación de la misma duración [25]. La masa corporal se redujo en un 2,7% después de 37 horas con la ingesta de líquido restringida. Los sujetos informaron que su sed aumentó durante las primeras 13 horas de restricción de líquido y, luego, no aumentó significativamente. También describieron la aparición de dolores de cabeza con la restricción de líquido y una reducción de su capacidad de concentración y alerta. Asimismo, apuntaron que se sentían más cansados cuando se restringía su ingesta de líquido. Sin embargo, de estos sujetos se desprende claramente que todos ellos tenían un gran deseo de beber algo durante las últimas fases del estudio y que tenían que esforzarse para no beber y seguir comiendo alimentos secos. Por tanto, estos sujetos no se habrían deshidratado en este grado "por accidente".

FUNCIÓN DEL CEREBRO

Las respuestas termorreguladoras al ejercicio y al estrés térmico por calor se producen involuntariamente por acción del cerebro, pero esto no significa que el cerebro no sea consciente de lo que ocurre o que no sea esencial para la conservación de su actividad cuando está expuesto a estas fuentes de estrés. Todos los animales tratan de escapar de los

extremos ambientales a zonas más confortables, excepto cuando hay un motivo de peso, como la búsqueda de alimento, para no correr el riesgo de sufrir estrés térmico por calor. La principal respuesta humana al estrés térmico es el cambio de las condiciones ambientales y, cuando esto no es posible, el ajuste de la cantidad de aislamiento o tipo de ropa. Otra opción consiste en modificar la tasa de producción metabólica de calor, lo que implica el aumento de los niveles de actividad cuando se está sujeto a estrés térmico por frío o la reducción del esfuerzo en condiciones climatológicas cálidas. Las personas tienden a caminar con un paso más ligero en los días fríos y a entretenerse en los días calurosos. Sólo cuando estas estrategias no funcionan para evitar un cambio en el confort térmico se recurre a los mecanismos fisiológicos.

Recientemente, Noakes et al. han hecho hincapié en la posible función del cerebro en el mantenimiento de la homeostasis térmica durante el ejercicio y han destacado la importancia de un "rector central" que evita un fallo en la homeostasis al provocar un cese voluntario del esfuerzo (o una reducción de la intensidad del ejercicio) cuando la homeostasis está en peligro [26, 27]. Noakes atribuye a AV Hill [26] el concepto de "rector" que limita el rendimiento en el ejercicio para evitar un fallo catastrófico de la actividad fisiológica. Sin embargo, la función del sistema nervioso central en la fatiga que acompaña al ejercicio ya fue reconocida mucho antes que se publicara el trabajo de Hill. En 1919, Bainbridge [28] escribió: "desde hace mucho tiempo se admite que la ubicación principal del cansancio después del ejercicio muscular es el sistema nervioso central". Mosso también afirmó hace mucho tiempo que "el cansancio nervioso es el fenómeno preponderante y el cansancio muscular también está al final del agotamiento del sistema nervioso". No obstante, parece que hay dos tipos de cansancio, uno que surge íntegramente en el sistema nervioso central y otro en el que el cansancio de los propios músculos se suma al del sistema nervioso".

La anterior es una descripción notablemente elegante de un fenómeno que la mayoría darían por sentado, pero su error radica en la ausencia de cualquier referencia a los mecanismos fisiológicos implicados. En este sentido, el "rector central" descrito detalladamente en publicaciones recientes sigue siendo una "caja negra" y no se ha aumentado el conocimiento que se tiene de él. La función clave del sistema nervioso central (SNC) en la fijación de los límites del rendimiento en el ejercicio y en la anticipación de las demandas se da por sentada por las personas que practican deporte y se

manifiesta en las estrategias de cambio de ritmo que adoptan corredores, ciclistas y otros deportistas.

En 1925, AV Hill [29] describió detalladamente la relación entre velocidad y distancia en las reuniones atléticas, y antes y después de ese año muchos otros también lo hicieron. Dado que la mayoría de eventos atléticos se mantiene un ritmo bastante uniforme, el ritmo adoptado al inicio se basa en la experiencia de cuál es probable que sea el ritmo máximo tolerable. Luego, está sujeto a ajuste por parte de las señales que surgen en los tejidos periféricos, tal y como describe Bainbridge [28] y por parte de las decisiones tomadas expresamente en función de las condiciones ambientales, consideraciones tácticas y otros factores. Todos los manuales básicos de entrenamiento publicados en el último siglo o con anterioridad han hecho hincapié en la necesidad de que los deportistas inexpertos sean cautelosos en las primeras etapas de una carrera y sigan un ritmo más modesto que el que considerarían adecuado. Todos los atletas también saben que hay "días buenos" y "días malos" en los que el rendimiento está por encima o por debajo de lo esperado, y que estas variaciones parecen no estar relacionadas con factores periféricos.

Marino et al. sugieren que el cerebro puede calcular la tasa de almacenamiento de calor admisible en las condiciones ambientales imperantes y que esta información, junto con el conocimiento de la duración del ejercicio, determinará la inclusión de unidades motoras en momentos diferentes durante la práctica del ejercicio [30]. Este sistema tiene como objetivo limitar la tasa de producción de calor durante el ejercicio y, así, permitir la finalización de una tarea antes de que se produzca un hecho grave (cansancio). A menos que alguien crea que un ser superior controla el destino de la raza humana, las limitaciones impuestas por el SNC al rendimiento que claramente existen deben tener una base física. Los mecanismos físicos implicados en el "rector central" no se comprenden bien, pero es probable que tengan una base neurológica, lo que, en última instancia, significa que debe haber un mecanismo neuroquímico o, más probablemente, diversos mecanismos que actúan coordinadamente. Se han aplicado varias intervenciones farmacológicas para someter a prueba esta hipótesis y los resultados son en general consistentes con una función de los neurotransmisores centrales clave, específicamente la dopamina, serotonina y noradrenalina, en el proceso del cansancio.

Quizá el indicio más convincente de la función del cerebro en el proceso del cansancio es el obtenido de intervenciones farmacológicas. Se

sabe que las anfetaminas, que actúan sobre los receptores centrales de la dopamina (DA), potencian el rendimiento en el ejercicio; no en vano están prohibidas según las reglas de la Agencia Mundial Antidopaje [31]. Diversos estudios han puesto de manifiesto un marcado incremento de la capacidad de practicar ejercicio tras la administración de anfetaminas tanto a roedores [32] como a humanos [33, 34]. Se conoce que las anfetaminas mejoran el rendimiento en el ejercicio a través del mantenimiento de la liberación de DA en fases posteriores del ejercicio, puesto que un aumento en la neurotransmisión catecolaminérgica suele estar vinculado a la vigilia, motivación y recompensa. Los cambios en el metabolismo regional de la dopamina también han estado implicados en el control de la locomoción y la postura en animales que se mueven, lo que también puede ser un aspecto importante de la función de la DA en el cansancio [35].

Ahora se dispone de muchos fármacos psicotrópicos diferentes que actúan mediante cambios en la neurotransmisión central dopaminérgica y noradrenérgica con diversos grados de especificidad de los receptores para la gestión/ tratamiento de trastornos psiquiátricos. Recientemente se ha mostrado que el bupropión, que actúa sobre los receptores centrales de dopamina y noradrenalina, potencia el rendimiento en el ejercicio en condiciones de calor (Figura 3), pero este efecto no se ha observado cuando el ejercicio se ha llevado a cabo en condiciones templadas [36]. A pesar de que se mantuvo una mayor potencia durante la práctica de ejercicio en condiciones de calor después de la administración de este fármaco, la percepción de esfuerzo por parte de los sujetos y la incomodidad térmica fueron las mismas en los ensayos con tratamiento y con placebo. Sin embargo, la temperatura rectal al final del ensayo fue superior durante los ensayos con tratamiento que durante los ensayos con placebo, resultados consistentes con la potencia media superior. Es posible que los fármacos dopaminérgicos amortigüen o anulen las señales inhibitorias que surgen del SNC para cesar el ejercicio debido a la hipertermia y permitir que una persona mantenga una elevada potencia a pesar de la existencia de una temperatura central alta.

Las concepciones tradicionales de la función de los neurotransmisores en la aparición del cansancio durante la práctica prolongada de ejercicio se han centrado en el neurotransmisor serotonina (5-hidroxitriptamina; 5-HT). En su trabajo, Newsholme et al. sugirieron que los cambios en la movilización de sustratos que se producen durante el ejercicio prolongado

supondrían una mayor captación del aminoácido triptófano en el SNC [37]. Puesto que la síntesis de la serotonina depende en gran medida de la disponibilidad de triptófano, los investigadores han planteado que la síntesis serotoninérgica central y, por tanto, la actividad, aumentarían como consecuencia de los cambios metabólicos que tienen lugar durante el ejercicio continuado. La neurotransmisión serotoninérgica se ha vinculado con sensaciones de letargo y cansancio, y Newsholme propuso que esta respuesta podría contribuir al proceso de aparición del cansancio. Los indicios de fármacos que actúan en los receptores de serotonina son quizá menos convincentes que el trabajo sobre la dopamina, de tal manera que algunos estudios muestran una reducción en la capacidad de practicar ejercicio tras la administración de agonistas de la 5-HT [38, 39] (Figura 3), mientras que otros no han mostrado efecto alguno [40-42]. Un aspecto atractivo de esta hipótesis era la posibilidad de alterar la actividad central de la 5-HT mediante complementos nutritivos, como aminoácidos de

cadena ramificada, triptófano e hidratos de carbono. Sin embargo, los intentos de influir en el rendimiento mediante intervenciones nutritivas diseñadas para modificar la disponibilidad de precursores de neurotransmisores generalmente han fracasado [43-46] y sólo se han producido contadas excepciones [47].

Para destacar todavía más la posible implicación de las neuronas dopaminérgicas en el proceso de aparición del cansancio, existen algunas evidencias recientes según las cuales ratas criadas selectivamente por su capacidad de carrera alta o baja muestran diferencias en la expresión de genes relacionados con la actividad dopaminérgica en algunas regiones del cerebro [48]. Las tentativas de encontrar una base genética para el éxito de poblaciones específicas de atletas, como las de los corredores de larga distancia del África oriental, generalmente han fracasado [49], quizá porque los investigadores han estudiado las variables incorrectas.

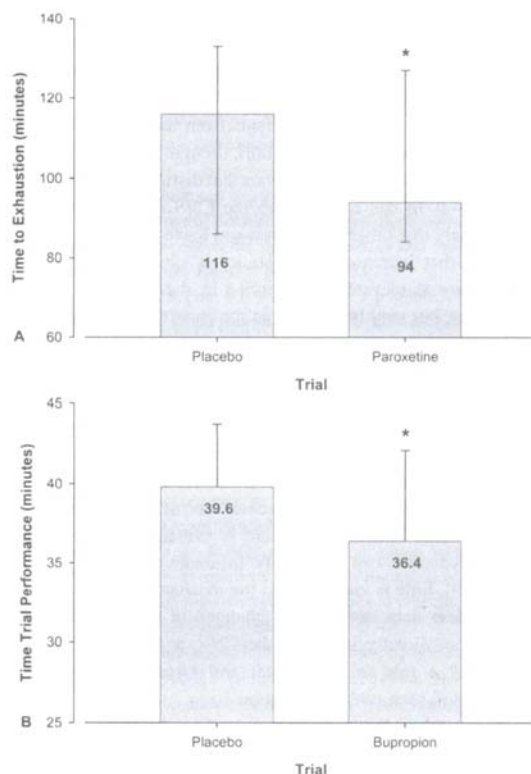


Figura 3. Efectos de la administración de una dosis única de paroxetina (un inhibidor selectivo de la recaptación de serotonina); Figura 3A: y de bupropión (un inhibidor de la recaptación de dopamina/noradrenalina); Figura 3B: en el ejercicio posterior (redibujada de [31] y [36], respectivamente). Nota: en la Figura 3A se muestra una reducción en la capacidad de ejercicio con la administración de paroxetina, mientras que en la Figura 3B se muestra un aumento en el rendimiento en la prueba cronometrada tras la administración de bupropión.

POSIBLES MECANISMOS PARA VINCULAR EL CALOR, LA HIDRATACIÓN Y LA ACTIVIDAD FISIOLÓGICA

No es sencillo encontrar un mecanismo cercano que vincule el equilibrio hidroelectrolítico, la función termorreguladora y la actividad central serotoninérgica o dopaminérgica. Sin embargo, recientemente se ha mostrado que el rendimiento en la práctica prolongada de ejercicio en condiciones de calor se puede asociar a una mayor permeabilidad de la barrera hematoencefálica (BHE) [50]. Esta conclusión se basa en una mayor concentración de una proteína cerebral específica (S-100 β) en la circulación después de la práctica de ejercicio en un entorno caluroso, pero no después de un ejercicio similar realizado en condiciones frescas. La función de la BHE consiste en proteger al cerebro al evitar que entren en él patógenos y pequeñas moléculas que pueden alterar la actividad del SNC. También evita que nutrientes valiosos escapen del cerebro. Por lo general, la BHE es impermeable a la S-100 β , aunque puede escapar del cerebro en diversas situaciones de estrés que perturban la actividad de la barrera [51]. Si la S-100 β puede escapar del SNC durante la práctica de ejercicio, parece probable que otros compuestos puedan entrar o salir del cerebro. El hecho de que se observe una mayor permeabilidad cuando la temperatura central se eleva como consecuencia del ejercicio en condiciones de calor puede que no sea significativo, pero puede ser un factor que intervenga en la aparición temprana de fatiga que se produce en esta situación.

Otras evidencias circunstanciales que corroboran esta sugerencia proceden de la observación de que el aumento de concentración sérica de la S-100 β con la práctica de ejercicio en condiciones de calor queda anulado, como mínimo en parte, con la ingesta de agua [52]. Esto puede estar asociado con un mejor control del equilibrio osmótico a través de la BHE, que limita los cambios estructurales responsables de la mayor permeabilidad que, en caso contrario, se produciría. Aunque hay evidencias de que una deshidratación relativamente leve puede afectar negativamente al rendimiento cognitivo [23], se sabe poco acerca de los mecanismos que afectan al cerebro. Estos datos sugieren que los cambios en el equilibrio hídrico del conjunto del cuerpo pueden influir directamente en el SNC, y esto puede jugar un papel en el deterioro del rendimiento mental y físico que se observa con la deshidratación.

Una temperatura cerebral elevada puede llevar a alteraciones en la actividad motora que afecten a

la capacidad para incorporar una cantidad suficiente de fibras musculares para satisfacer las demandas del ejercicio [53]. En este efecto podrían intervenir, por lo menos en parte, los cambios en la circulación sanguínea que se producen en respuesta a la redistribución del gasto cardíaco debida al estrés provocado por el calor del ejercicio. En condiciones temperadas, la circulación sanguínea cerebral aumenta marcadamente durante la práctica de ejercicio [54], pero se ha descrito una reducción de la circulación sanguínea destinada al cerebro durante el ejercicio en condiciones de hipertermia [55]. Es evidente que la práctica de ejercicio, unida al estrés térmico por calor, tiene como resultado un número significativo de alteraciones metabólicas y circulatorias dentro del cerebro. En la actualidad, es imposible distinguir un factor clave que sea en última instancia responsable de la aparición del cansancio central y la reducción del rendimiento en el ejercicio en condiciones de calor, pero probablemente implica una interacción entre estas respuestas en diversos grados.

RESUMEN

El rendimiento en tareas tanto físicas como mentales se ve significativamente reducido por el calor y la deshidratación. Los sistemas cardiovascular y termorregulador se ven particularmente agredidos bajo estas condiciones y el suministro de líquido puede prevenir la deshidratación y reducir en gran medida los efectos adversos del estrés térmico por calor. Cada vez se dispone de más indicios de que los efectos en el SNC pueden mediar en los efectos que una elevada temperatura ambiente y la deshidratación tienen en el rendimiento en el ejercicio. La hipertermia da lugar a cambios en la actividad eléctrica del cerebro, una marcada reducción en la capacidad para mantener las contracciones voluntarias, y un aumento en la sensación de esfuerzo. Aunque la función precisa del SNC en la aparición del cansancio todavía está por determinar, evidencias preliminares apoyan la función de la neurotransmisión en el proceso del cansancio. Diversas alteraciones circulatorias, como una reducción en la circulación sanguínea cerebral y una mayor permeabilidad de la barrera hematoencefálica, también pueden influir en el rendimiento cuando el ejercicio se realiza en temperaturas ambiente elevadas, en particular en presencia de niveles significativos de deshidratación.

Revisión

Mecanismos e importancia de la regulación del volumen celular

Florian Lang, PhD

Department of Physiology, University of Tübingen, ALEMANIA

Palabras clave: regulación del volumen celular

La supervivencia de las células de humanos y animales requiere que no haya excesivas alteraciones en el volumen celular. La osmolaridad resultado de la acumulación celular de sustancias orgánicas se debe compensar mediante la reducción de las concentraciones de iones citosólicos.

La ATPasa de Na^+/K^+ extruye el Na^+ en intercambio con el K^+ , lo que puede impregnar la membrana celular a través de los canales de K^+ . La salida de K^+ genera una diferencia de potencial negativo en la célula a través de la membrana celular, impulsando la salida de aniones como Cl^- . Las concentraciones bajas de Cl^- citosólico compensan el exceso de osmolaridad celular mediante sustancias orgánicas. La regulación del volumen celular tras la edematización celular implica la liberación de iones a través de la activación de los canales de K^+ y/o los canales aniónicos, el cotransporte de KCl o la activación paralela del intercambio de K^+/H^+ y el intercambio de $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$. La regulación del volumen celular tras el encogimiento celular implica la acumulación de iones a través de la activación del cotransporte de $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - 2\text{Cl}^-$, el intercambio de Na^+/H^+ en paralelo con el intercambio de $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ o los canales de Na^+ .

La ATPasa de Na^+/K^+ extruye el Na^+ captado en un intercambio con el K^+ . Las células consumidas acumulan adicionalmente osmolitos orgánicos como sorbitol y glicerofosforilcolina, y aminoácidos monoméricos por acción del metabolismo alterado y mioinositol (inositol), betaína, taurina y aminoácidos por acción del transporte acoplado a Na^+ . Liberan osmolitos durante la edematización celular. Los obstáculos para la homeostasis del volumen celular son el transporte, las hormonas, los transmisores y los fármacos.

Asimismo, las alteraciones del volumen celular participan en el mecanismo regulador de la proliferación celular y la muerte celular apoptótica. La regulación alterada del volumen celular contribuye significativamente a la fisiopatología de diversos trastornos, como la insuficiencia hepática, la cetoacidosis diabética, el hipercatabolismo, la enfermedad fibrosante, la anemia drepanocítica e infecciones.

Puntos clave:

- Múltiples mecanismos reguladores ajustan el volumen celular según la demanda funcional.
- El volumen celular y las actividades celulares sensibles al volumen celular participan en una amplia variedad de mecanismos fisiológicos y fisiopatológicos.
- La hidratación celular es un factor importante en el rendimiento celular.
- Con frecuencia no se reconoce, o el conocimiento que se tiene de ella es escaso, la función fisiológica y fisiopatológica de la regulación del volumen celular en la función integrada.
- Se deben realizar más estudios para definir la función que desempeña el volumen celular en la salud y las enfermedades.

Solicitudes de separata a: Prof. Dr. Florian Lang, Physiologisches Institut der Universität Tübingen I, Gmelinstr. 5 D-72076 Tübingen, ALEMANIA. Correo electrónico: florian.lang@uni-tuebingen.de.

Presentado en la conferencia de ILSI North America sobre hidratación y fomento de la salud, 29-30 de noviembre de 2006, Washington DC.

Declaración de conflictos de intereses: el autor declara no tener ningún conflicto de intereses relacionado con este artículo.

INTRODUCCIÓN

Tras la ingesta de líquido, el agua se distribuye entre los compartimentos intracelulares y extracelulares. La entrada de agua en el interior

de las células provoca la edematización celular.

A la inversa, la pérdida de agua celular que se produce con la deshidratación supone el encogimiento celular.

No obstante, el mantenimiento de un volumen celular adecuado es una de las condiciones

previas más evidentes para la supervivencia celular [1]. Un exceso de alteraciones del volumen celular interfiere en la integridad de la membrana celular y la arquitectura citoesquelética. Además, el estado de hidratación tiene una enorme repercusión en las proteínas citosólicas. Las proteínas y el agua unida a proteínas ocupan una gran parte del espacio intracelular (aglomeración macromolecular), lo que deja poco espacio para el agua no unida [2]. Así pues, la pérdida o ganancia de incluso un pequeño porcentaje de agua celular ejerce un profundo efecto en la actividad proteínica y el rendimiento celular.

Debido a la presencia de canales de agua, el agua penetra fácilmente en la membrana plasmática de la mayoría de células [3, 4]. Los gradientes de presión osmótica impulsan el movimiento del agua [1]. En las células de los mamíferos, los gradientes hidrostáticos a través de las membranas celulares mantienen un nivel insignificadamente bajo. Para evitar la edematización o el encogimiento, las células deben lograr el equilibrio osmótico a través de la membrana celular. Con una osmolaridad intracelular que supera la osmolaridad extracelular, el agua entra en las células según su gradiente osmótico y se produce la edematización celular. A la inversa, con una osmolaridad extracelular que supera la osmolaridad intracelular, el agua sale y la célula se encoge.

Una amplia variedad de factores modifican la osmolaridad intracelular o extracelular y, por tanto, ponen en peligro el equilibrio osmótico a través de la membrana celular [1]. Puede que se necesite regulación del volumen incluso en un entorno perfectamente isotónico. Las células utilizan múltiples mecanismos para mantener la constancia del volumen celular, incluido el transporte alterado a través de la membrana celular y el metabolismo. Hormonas y mediadores pueden modificar la actividad de estos mecanismos reguladores del volumen celular y, por tanto, influir en las funciones sensibles al volumen celular. En consecuencia, los mecanismos reguladores del volumen celular participan en la señalización de estas hormonas y mediadores [5].

Tras una edematización celular adversa, los mecanismos reguladores del volumen reducen la osmolaridad intracelular y el volumen celular, de modo que se consigue una reducción reguladora del volumen celular (RVC). Tras un encogimiento celular adverso, los mecanismos reguladores del volumen celular incrementan la osmolaridad intracelular y el volumen celular, de modo que se consigue un incremento regulador del volumen celular (IVC) [6].

Los mecanismos reguladores del volumen celular más rápidos y eficientes son los transportadores de iones de la membrana celular [7].

Tras la edematización celular, intervienen en la liberación celular de iones y, cuando se produce el encogimiento celular, permiten la acumulación celular de iones. Sin embargo, el uso de iones en la regulación del volumen celular es limitado, ya que concentraciones elevadas de iones inorgánicos obstaculizan la estabilidad proteínica y los gradientes de iones alterados a través de la membrana celular dificultan la función de los transportadores dirigidos por los gradientes [8]. Así pues, las células utilizan adicionalmente osmolitos orgánicos para la osmorregulación. Asimismo, las células adaptan diversas funciones metabólicas y, así, modifican la eliminación o generación celular de sustancias orgánicas osmóticamente activas [8]. Los osmolitos orgánicos son particularmente importantes en el entorno marcadamente hipertónico de la médula renal [9].

En este breve resumen se describen los mecanismos reguladores del volumen celular y los factores que ponen en peligro la constancia del volumen celular. Además, se proporcionarán ejemplos de la interacción que se establece entre los mecanismos reguladores del volumen celular, la hidratación celular y la función celular en las enfermedades. Se debería señalar que se ha mostrado que prácticamente todos los mecanismos descritos a continuación son operativos en humanos y, por consiguiente, son relevantes para la fisiología humana.

MANTENIMIENTO DEL VOLUMEN CELULAR EN UN MEDIO ISOTÓNICO

Incluso en un entorno isotónico, la concentración intracelular de iones inorgánicos debe ser inferior a la concentración extracelular iónica para compensar la acumulación celular de sustancias orgánicas [1, 10]. Las células extruyen Na^+ en intercambio de K^+ por acción de la bomba de Na^+/K^+ ATPasa. La membrana celular es menos permeable al Na^+ que al K^+ . El gradiente químico del K^+ impulsa la salida de K^+ a través de los canales de K^+ . El movimiento de K^+ genera una diferencia de potencial negativo en la célula a través de la membrana celular que luego impulsa Cl^- hacia el interior del espacio extracelular.

Con un potencial de la membrana celular de -18 mV y una concentración extracelular de Cl^- de 110 mmol/l, la concentración intracelular de Cl^- está en equilibrio electroquímico a 55 mmol/l. Así, con este potencial de

membrana, la distribución desigual de Cl^- permitiría una acumulación excesiva de unos 55 mmol/l de sustancias orgánicas. En la mayoría de células, la diferencia de potencial a través de la membrana celular presenta un valor más negativo que -18 mV y el Cl^- intracelular está a un nivel incluso inferior a 55 mmol/l. La acción de la Na^+/K^+ ATPasa y, por tanto, el establecimiento de los gradientes iónicos, requiere un gasto energético.

La pérdida de energía altera la actividad de la Na^+/K^+ ATPasa, disipa los gradientes de Na^+/K^+ , despolariza la membrana celular y lleva a la acumulación celular de Cl^- y, por tanto, a la edematización celular [1]. Durante la isquemia, la edematización se agrava como consecuencia de un incremento de la concentración extracelular de K^+ , que disipa todavía más el gradiente del K^+ . Además, la formación excesiva de lactato y su menor eliminación supone la aparición de acidosis celular, que potencia la actividad de intercambio de Na^+/H^+ y, por tanto, aumenta la acumulación celular de Na^+ y la edematización celular. En el cerebro, la despolarización desencadena la liberación de glutamato, que activa los canales catiónicos no específicos y, en consecuencia, provoca todavía más edematización celular.

Las necesidades de energía para el mantenimiento de los gradientes iónicos y la constancia del volumen celular dependen de la velocidad de entrada de Na^+ [1]. En teoría, en una célula completamente impermeable al Na^+ , el K^+ y el Cl^- se aproximan a un equilibrio que no requiere ningún gasto energético para mantener la constancia del volumen celular. En algunas células, la pérdida de energía lleva a un encogimiento pasajero de la célula que precede a la edematización celular que finalmente se producirá. En esas células, el incremento de la

concentración intracelular de Na^+ invierte la fuerza impulsora del intercambiador de $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ y, por tanto, supone una entrada de Ca^{2+} , la activación de los canales de Cl^- o de los canales de K^+ sensibles al Ca^{2+} , la salida de KCl y, en consecuencia, el encogimiento celular.

INCREMENTO REGULADOR DEL VOLUMEN CELULAR

La exposición de las células a un medio hipertónico o la pérdida celular de osmolitos supone la salida de agua según el gradiente osmótico y, por consiguiente, el encogimiento celular. El siguiente Incremento del Volumen Celular (IVC) (Figura 1) se lleva a cabo a través de la captación de iones [7]. El encogimiento celular provoca la activación del cotransportador de $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{2Cl}^-$ y/o la activación combinada del intercambiador de Na^+/H^+ en paralelo con el intercambiador de $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ [7]. El H^+ y el HCO_3^- extruidos por el intercambiador de Na^+/H^+ y el intercambiador de $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$, respectivamente, se reponen en la célula a partir de CO_2 a través del H_2CO_3 . En consecuencia, el efecto neto de estos dos portadores es la entrada de NaCl . El Na^+ acumulado por el cotransporte de $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{2Cl}^-$ o por el intercambio de Na^+/H^+ se extruye por la acción de la Na^+/K^+ ATPasa en intercambio de K^+ . Así pues, los transportadores finalmente conducen a la captación de KCl . Se han clonado diversas isoformas del intercambiador de Na^+/H^+ [7] y los cotransportadores de $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{2Cl}^-$ [11], pero no todos desempeñan la regulación del volumen celular. Por ejemplo, los intercambiadores de Na^+/H^+ NHE-1, NHE-2 y NHE-4 se activan con el encogimiento celular, y el NHE-3 se inhibe con dicho encogimiento [7].

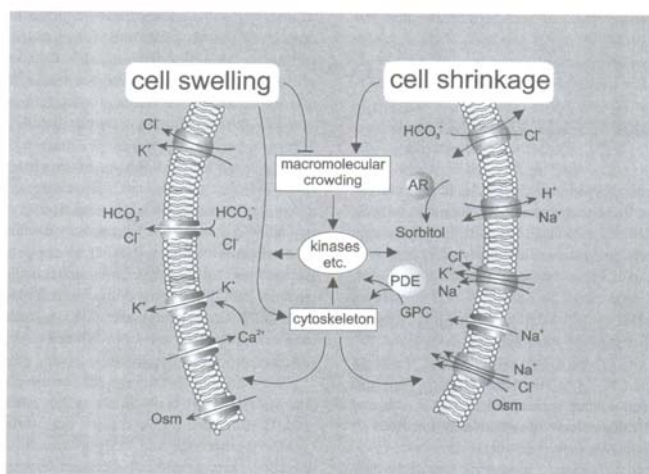


Figura 1. Mecanismos reguladores del volumen celular (de Lang, editor, Cell volume regulation, en Contributions to Nephrology Vol. 123).

El encogimiento de algunas células supone la activación de los canales de Na^+ y la despolarización que, a su vez, disipa el gradiente eléctrico del Cl^- y, por tanto, lleva a la entrada de Cl^- [12]. Algunas células inhiben nuevamente los canales de K^+ , lo que lleva a la despolarización. Algunas células inhiben los canales de Cl^- cuando se produce el encogimiento celular para evitar la pérdida de Cl^- celular [7].

El encogimiento celular no sólo se contrarresta mediante la acumulación celular de iones, sino también a través de la captación o generación celular de osmolitos orgánicos [8, 13]. Los osmolitos más importantes son los polioles (como sorbitol y mioinositol), metilaminas (como betaína y glicerofosforilcolina), aminoácidos y la taurina, un derivado de aminoácido.

El sorbitol se genera a partir de la glucosa [8]. La reacción se cataliza a través de la aldosa reductasa, que se expresa tras el encogimiento celular osmótico. La expresión génica de la proteína supone un período de diversas horas y el tiempo necesario para lograr el aumento adecuado de la concentración de sorbitol oscila entre horas y días. La glicerofosforilcolina (GPC) se produce a partir de la fosfatidilcolina. Esta reacción se cataliza mediante una fosfolipasa A_2 distinta de la enzima selectiva de araquidónico. La GPC se degrada mediante una fosfodiesterasa en glicerol-fosfato y colina. El encogimiento celular inhibe la enzima fosfodiesterasa y supone la acumulación celular de GPC.

Se acumula mioinositol (inositol), betaína y taurina por la acción de sus respectivos transportadores acoplados a Na^+ (SMIT, BGT y NCT) [14]. BGT y NCT transportan Cl^- y Na^+ , así como sus respectivos osmolitos orgánicos. Asimismo, la carga positiva en exceso de estos portadores despolariza la membrana celular y favorece la entrada de Cl^- . En consecuencia, estos transportadores acumulan NaCl en paralelo con osmolitos orgánicos. El encogimiento celular estimula la expresión génica de estos transportadores y, por tanto, la acumulación celular de los respectivos osmolitos. De nuevo, la expresión de los transportadores es lenta y la adaptación completa tarda entre horas y días. Además, la captación de osmolitos depende su disponibilidad en el líquido extracelular. De una forma similar a lo que sucede con los osmolitos orgánicos, el transporte acoplado al Na^+ sensible al volumen celular, como el sistema de transporte de aminoácidos A, acumula algunos aminoácidos [1].

En contraste con los iones inorgánicos, los osmolitos orgánicos no desestabilizan las proteínas. Además, algunos osmolitos contrarrestan los efectos desestabilizadores de los iones inorgánicos, algunos iones orgánicos (espermidina) y la urea. Por ejemplo, los efectos de la urea se ven contrarrestados por la betaína y la glicerofosforilcolina y, en menor grado, por el mioinositol. Los osmolitos brindan protección adicional frente a los efectos desestabilizadores del choque térmico, la desecación y, supuestamente, la radiación [1].

REDUCCIÓN REGULADORA DEL VOLUMEN CELULAR

La exposición de las células a líquido extracelular hipotónico o la obtención celular de osmolitos supone la afluencia de agua a lo largo del gradiente osmótico a través de la membrana celular. La reducción reguladora del volumen celular (Figura 1) requiere la liberación de iones celulares mediante la activación de los canales de K^+ y/o los canales aniónicos en la mayoría de células [15-18]. Ambos tipos de canal iónico deben estar operativos para que se produzca la salida de KCl , ya que ni el K^+ ni los aniones pueden salir sin el respectivo contraión. Los canales iónicos reguladores del volumen celular son los canales de K^+ Kv1.3 , Kv1.5 y KCNE1/KCNQ1 y los canales aniónicos ClC-2 y ClC-3 [7]. La función del I_{Cln} y la glucoproteína P (MDR) en la regulación del volumen celular ha sido objeto de controversia [19, 20]. En cualquier caso, es probable que muchos canales iónicos diferentes participen en la regulación del volumen celular.

La edematización supone la activación de canales catiónicos no específicos en algunas células [7]. El gradiente electroquímico favorece la entrada más que la salida de cationes a través de esos canales. Así pues, la penetración de iones a través de esos canales no puede desempeñar directamente la regulación del volumen celular. En cambio, los canales intervienen en la entrada de Ca^{2+} que, a su vez, activa los canales de K^+ y/o los canales de Cl^- sensibles al Ca^{2+} .

La reducción reguladora del volumen celular se podría lograr adicionalmente mediante la activación de portadores, como el cotransporte de KCl , que permite la salida acoplada de ambos iones [21]. Algunas células eliminan el KCl celular a través de la activación paralela del intercambio de K^+/H^+ y el intercambio de $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$. El H^+ y el HCO_3^- captado por esos transportadores reaccionan a través de H_2CO_3 en CO_2 , que atraviesa fácilmente la membrana

celular y no es osmóticamente relevante. Así pues, el tándem sirve para liberar KCl [7].

La edematización celular estimula la rápida salida de GPC, sorbitol, inositol, betaina y taurina [12, 22]. Los mecanismos que participan en la liberación de osmolitos orgánicos están mal definidos y pueden implicar a diversos transportadores y/o canales en paralelo.

VÍAS METABÓLICAS SENSIBLES AL VOLUMEN CELULAR

Diversas vías metabólicas son sensibles al volumen celular [1]. Los efectos del volumen celular en el metabolismo son el resultado de la activación, inhibición o expresión alterada de enzimas.

El encogimiento celular estimula la degradación de proteínas en aminoácidos y de glucógeno en glucosa-fosfato. El encogimiento celular inhibe adicionalmente la síntesis de proteínas y glucógeno. Los productos de la degradación son osmóticamente más activos que las macromoléculas y su descomposición genera osmolaridad celular. A la inversa, la edematización celular estimula la síntesis de proteínas y glucógeno e inhibe la proteólisis y la glucogenólisis, de modo que la glucosa-fosfato y los aminoácidos intracelulares se convierten en las macromoléculas menos activas osmóticamente [1].

Las alteraciones del volumen celular influyen adicionalmente en diversas vías del metabolismo de aminoácidos y la glucosa [1]. La edematización celular inhibe la glucólisis, estimula el flujo a través de la vía de las pentosas-fosfato, favorece la lipogénesis a partir de la glucosa y reduce la transcripción de la fosfoenolpiruvato carboxicinas, una enzima clave para la gluconeogénesis. Estimula la oxidación de la glicina y alanina, la degradación de la glutamina así como la formación de NH_4^+ y urea a partir de aminoácidos. La edematización celular estimula la oxidación del cetoisocaproato, la acetil CoA carboxilasa y la lipogénesis; inhibe la carnitina palmitoiltransferasa I; reduce las concentraciones de fosfocreatina y ATP citosólico; aumenta la respiración; y estimula la síntesis de RNA y DNA. Todos estos efectos se invierten con el encogimiento celular.

La estimulación del flujo a través de la vía de las pentosas-fosfato aumenta la producción de NADPH y, por tanto, incrementa la formación de glutatión (GSH). En cambio, el encogimiento celular reduce la producción de NADPH y la formación de GSH. Como resultado, la edematización celular aumenta la resistencia celular a la agresión oxidativa y el encogimiento celular la reduce [1]. Al mismo tiempo, el

encogimiento celular disminuye la actividad de la NADPH oxidasa y, por tanto, dificulta la formación de O_2^- celular. En consecuencia, un entorno hipertónico, como el imperante en la médula renal, inhibe la explosión oxidativa de leucocitos y la respuesta antibacteriana [1].

GENES SENSIBLES AL VOLUMEN CELULAR

La expresión de una amplia variedad de genes es sensible al volumen celular [23, 24]. Algunos de estos genes desempeñan la regulación del volumen celular. Por ejemplo, el encogimiento celular estimula la expresión del cotransportador de $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-2Cl}^-$ y de la subunidad $\alpha 1$ de la ATPasa. También estimula la expresión de enzimas o transportadores involucrados en la acumulación o formación celular de osmolitos, incluyendo la aldosa reductasa y los transportadores acoplados al Na^+ para betaina (BGT), taurina (NCT), mioinositol (SMIT) y aminoácidos.

Otros genes sensibles al volumen celular contienen el código de elementos de la señalización de los mecanismos reguladores del volumen celular. Por ejemplo, la edematización celular estimula la expresión de las cinasas reguladas por la señal extracelular ERK1, ERK2 y la Jun cinasa JNK-1 [1], mientras que el encogimiento celular incrementa la expresión de la cicloxigenasa-2 y la cinasa inducible por suero y glucocorticoides SGK1 [25].

El encogimiento celular estimula la expresión de proteínas de choque térmico, que ejercen una acción estabilizadora de las proteínas. Su expresión tras el encogimiento celular supuestamente ejerce un efecto protector frente a los efectos desestabilizadores de unas mayores concentraciones de iones citosólicos [1].

Diversos genes sensibles al volumen celular no desempeñan una función evidente en la regulación del volumen celular [1]. La edematización celular estimula la expresión de la β -actina y la tubulina, los genes tempranos adyacentes c-jun y c-fos, y la enzima ornitina decarboxilasa. El encogimiento celular estimula la expresión de la citocina TNF- α , el canal de Cl^- CIC-K1, la glucoproteína P, los genes tempranos adyacentes Egr-1 y c-fos, el inhibidor de la GTPasa quimerina $\alpha 1$, el antígeno CD β , las enzimas fosfoenolpiruvato carboxicinas (PEPCK), arginina succinato liasa, tirosina aminotransferasa, tirosina hidroxilasa, dopamina β -hidroxilasa, la metaloproteinasas de matriz 9 y el activador del plasminógeno tisular, así como las proteínas de matriz biglucano y laminina B $_2$. El encogimiento celular estimula

adicionalmente la expresión y liberación de la hormona antidiurética ADH [1].

En la estimulación de la transcripción interviene parcialmente la respectiva región promotora de los genes sensibles al volumen celular: los genes que contienen el código de la aldosa reductasa, BGT y SGK1 contienen los elementos sensibles a la osmolaridad (ORE), a la tonicidad (TonE) o al volumen celular (CVE). El elemento TonE se une a una proteína de unión a elemento sensible a la tonicidad TonEBP para la estimulación de la expresión [24].

Señalización de la regulación del volumen celular

No se dispone de mucha información acerca de los sensores del volumen celular o la osmolaridad. Posiblemente, las células reconocen el contenido celular de proteínas o aglomeración macromolecular [2]. De algún modo, la densidad proteínica influye en una serina/treonina cinasa (supuestamente, la cinasa WNK sin lisina) que, a su vez, regula la actividad del cotransporte de KCl^- y $\text{Na}^+-\text{K}^+-2\text{Cl}^-$ regulador del volumen celular mediante la respectiva fosforilación de las proteínas de transporte [26].

La edematización celular puede imponer un estiramiento del citoesqueleto y/o de la membrana celular, que puede actuar de forma similar como sensor del volumen celular [26]. Este sensor desencadena múltiples vías de señalización celular, que pueden presentar considerables diferencias entre células diferentes o una determinada célula en diversos estados funcionales [26-28].

En muchas células, pero no en todas, la edematización aumenta la actividad intracelular del Ca^{2+} , que entra a través de los canales de Ca^{2+} en la membrana plasmática o se libera de reservas intracelulares tras la formación de 1,4,5-inositol-trifosfato. El Ca^{2+} activa los canales de Cl^- y los canales de K^+ reguladores del volumen e influye en otras actividades celulares sensibles al volumen celular [7, 29].

El volumen celular afecta a la arquitectura citoesquelética y a la expresión de proteínas citoesqueléticas [30]. En la regulación del volumen celular pueden intervenir microtúbulos y filamentos de actina cuya alteración puede dificultar la regulación del volumen celular.

Las alteraciones del volumen celular modifican la fosforilación de diversas proteínas [31, 32]. Las quinasas activadas durante la edematización celular son las tirosina quinasas, proteína quinasa C, adenilato ciclasa, MAP quinasas, Jun quinasa y quinasa de adhesión focal (p121^{FAK}). El encogimiento celular osmótico desencadena las cascadas de quinasas WNK y de diversas

MAP (proteína activada por mitógeno) quinasas, lo que supone la activación de SAPK, quinasa p38 y quinasa de cadena ligera de miosina (MLCK). Las quinasas pueden fosforilar directamente los portadores que regulan el volumen celular o el citoesqueleto y pueden llevar a la activación de factores de transcripción que rigen la expresión de genes regulados por el volumen celular.

En algunas células, la edematización activa la fosfolipasa A_2 [33, 34], que provoca la formación de epoxilina A_3 , un producto de la 15-lipoxigenasa, y de leucotrieno LTD_4 , un producto de la 5-lipoxigenasa [33]. A su vez, los icosanoides estimulan los canales de K^+ y/o Cl^- reguladores del volumen celular y/o la liberación de taurina. La edematización celular inhibe la formación de PGE_2 y, por tanto, evita la activación de los canales de Na^+ sensibles a la PGE_2 [33]. La señalización del volumen celular también puede implicar al óxido nítrico [35, 36].

La edematización celular alcaliniza los compartimentos celulares como endosomas, lisosomas y gránulos secretorios, mientras que el encogimiento celular acidifica dichos compartimentos. A su vez, la alcalinización de los compartimentos celulares ácidos inhibe la proteólisis autofágica [37].

ALTERACIONES DE LA OSMOLARIDAD DEL LÍQUIDO EXTRACELULAR QUE COMPROMETEN LA CONSTANCIA DEL VOLUMEN CELULAR

La mayoría de células de los mamíferos normalmente están rodeadas por líquido extracelular isotónico. Sin embargo, en la médula renal de los humanos, la osmolaridad extracelular se puede aproximar a 1.400 mosmoles/l [9]. Además, la osmolaridad extracelular puede cambiar en menos de una hora de este valor elevado a casi la isotonicidad durante la transición de la antidiuresis a la diuresis. Así pues, las células de la médula renal tienen que hacer frente a cambios rápidos de la osmolaridad extracelular. En menos de un minuto, las células sanguíneas que pasan a través de la médula renal están expuestas a la elevada osmolaridad medular y vuelven a la isoosmolaridad de la sangre sistémica.

Por lo general, los alimentos no son isotónicos y las células intestinales pueden estar expuestas a líquido luminal anisomótico. La absorción de nutrientes anisotónico conduce a alteraciones normalmente leves de la osmolaridad de la sangre portal. Así pues, los hepatocitos están expuestos a alteraciones moderadas de la osmolaridad [38]. Por ejemplo, con la ingesta de agua los hepatocitos se edematizan y

amortiguan las alteraciones de la osmolaridad sanguínea.

Otros tejidos están expuestos a una osmolaridad extracelular moderadamente alterada durante condiciones hipernatémicas o hiponatémicas. Normalmente, las sales de Na^+ (mayoritariamente NaCl) contribuyen en más del 90% a la osmolaridad extracelular y, por tanto, la hipernatremia va necesariamente acompañada de un aumento de la osmolaridad extracelular. La hiponatremia puede estar asociada con unos valores de osmolaridad extracelular aumentados, normales o reducidos, en función de la concentración de sustancias orgánicas osmóticamente activas que pueden alcanzar concentraciones excesivas en sangre [1].

La hipernatremia se puede deber a una ingesta oral de NaCl excesiva, a la retención renal de Na^+ y/o a la pérdida renal o extrarrenal de agua [39]. Durante la hipernatremia, la osmolaridad extracelular aumenta. Las células desencadenan mecanismos de aumento regulador del volumen celular como la acumulación de osmolitos. Cuando la osmolaridad extracelular aumenta lentamente, el volumen celular se puede mantener en unos niveles normales a pesar del incremento en la osmolaridad extracelular. Una rápida corrección de unos niveles de osmolaridad crónicamente aumentados puede suponer la edematización celular. El cerebro es particularmente vulnerable, ya que la betaina, inositol y glicerosforilcolina cerebrales pueden mantener unos niveles elevados durante días después de la corrección de la hipertonicidad extracelular; asimismo, una rápida corrección de la hiperosmolaridad puede provocar un edema cerebral [1].

La hiponatremia se puede deber a un excesivo consumo oral de agua o a un deterioro en la eliminación renal de agua [40]. Además, este estado puede ser el resultado de un déficit de Na^+ provocado por una pérdida renal o extrarrenal. La hiponatremia no está necesariamente asociada con la hipoosmolaridad, pero se puede producir en estados de isoosmolaridad o incluso de hiperosmolaridad (como en la intoxicación etílica), hiperglucemia de diabetes mellitus incontrolada o estados hipercatabólicos (quemaduras, pancreatitis y síndrome de aplastamiento). En todos estos trastornos, el encogimiento celular se puede mantener a pesar de la hiponatremia.

Con una disminución de la osmolaridad extracelular, las células desencadenan mecanismos de reducción reguladora del volumen celular, incluida la liberación de osmolitos orgánicos. Una rápida corrección de la hiponatremia hipoosmolar puede suponer un

encogimiento celular adverso, ya que las células no pueden volver a acumular con rapidez los osmolitos. Esto puede ser más perjudicial que una hipoosmolaridad no tratada [1].

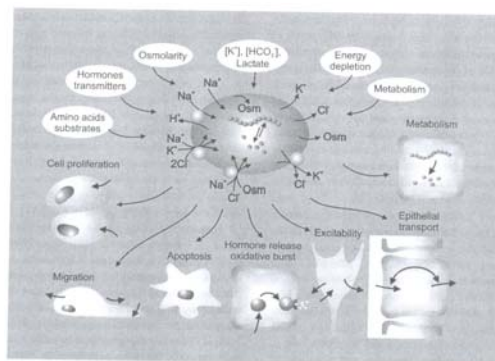


Figura 2. Importancia funcional del volumen celular.

INFLUENCIA DE LA COMPOSICIÓN DEL LÍQUIDO EXTRACELULAR EN LA HOMEOSTASIS DEL VOLUMEN CELULAR

Incluso con una osmolaridad extracelular constante, la constancia del volumen celular puede estar en peligro (Figura 2) a causa de alteraciones en la composición del líquido extracelular [1]. Un aumento de la concentración extracelular de K^+ reduce el gradiente químico de los iones de K^+ , dificulta la salida de K^+ , despolariza la membrana celular y provoca la entrada de Cl^- . La acumulación celular de KCl puede dar como resultado la edematización celular o, a la inversa, una concentración extracelular de K^+ baja puede suponer el encogimiento celular debido a la pérdida celular de KCl .

El incremento de la concentración extracelular de HCO_3^- atenúa la liberación celular de HCO_3^- a través de los canales aniónicos y el cotransporte de Na^+ y HCO_3^- ; la menor salida de carga negativa hiperpolariza la membrana celular y, por tanto, reduce el gradiente electroquímico de la salida de K^+ . Entonces, la acumulación celular de K^+ y HCO_3^- supone la edematización celular.

Un pH extracelular alcalino estimula la eliminación celular de H^+ a través del intercambiador de Na^+/H^+ , que lleva a la acumulación celular de Na^+ y, por tanto, a la edematización celular.

Durante la hipercapnea, el CO_2 entra en las células y se disocia en HCO_3^- y H^+ . El intercambiador de Na^+/H^+ extruye el H^+ , lo que conduce a la acumulación celular de Na^+ y a la edematización celular. En general, la

acidificación intracelular estimula el intercambiador de Na^+/H^+ , mientras que la alcalinización intracelular inhibe dicho intercambiador, lo que supone la edematización celular o el encogimiento celular, respectivamente.

Diversos aniones orgánicos, como el acetato, lactato, propionato o butirato, entran en las células como ácidos no ionizados. La

Por un lado, la concentración extracelular de urea influye adicionalmente en el volumen celular [1]. La urea atraviesa fácilmente las membranas celulares y, normalmente, no crea gradientes osmóticos a través de la membrana celular. Por otro lado, la urea desestabiliza las proteínas y, por tanto, desplaza el nivel establecido regulador del volumen celular hacia un menor volumen celular. A través de la activación de mecanismos reguladores como el cotransporte de KCl , la urea provoca el encogimiento celular. La insuficiencia renal produce un aumento de la concentración extracelular de urea. Esta elevada concentración de urea estimula la formación de metilaminas que contrarrestan el efecto alterador de la urea. La rápida variación de la concentración de urea durante las sesiones de diálisis no permite un ajuste completo de la concentración de osmolitos y, así, supone una alteración pasajera del equilibrio entre la estabilización de los osmolitos y la desestabilización de la urea.

EL TRANSPORTE DIFICULTA LA HOMEOSTASIS DEL VOLUMEN CELULAR

El flujo transcelular de sustancias osmóticamente activas durante el transporte epitelial requiere la coordinación de diversos sistemas de transporte en las membranas celulares apical y basolateral (Figura 2). Por ejemplo, el transporte acoplado a Na^+ de sustratos, como aminoácidos o glucosa, a través de la membrana celular luminal de los túbulos renales proximales o del intestino supone la acumulación celular de Na^+ y sustrato [41, 42]. Además, la entrada de carga positiva despolariza la célula y dificulta la salida de Cl^- y HCO_3^- . La edematización celular resultante se contrarresta con la activación de mecanismos reguladores del volumen celular, incluida la activación de los canales de K^+ que, a su vez, mantienen la fuerza eléctrica impulsora de la entrada de Na^+ al interior de la célula [41, 42]. La captación celular acoplada a Na^+ de nutrientes pone en peligro de forma similar la constancia del volumen celular de las células no epiteliales.

disociación intracelular de los ácidos supone la acidificación intracelular, un mayor intercambio de Na^+/H^+ , la acumulación de Na^+ y aniones orgánicos y, por consiguiente, la edematización celular. La reposición isotónica de Cl^- con aniones que no pueden atravesar la membrana celular puede provocar el encogimiento celular debido a la pérdida celular de Cl^- .

La entrada de Na^+ a través de los canales de Na^+ del túbulo colector renal y del colon también dificulta de forma similar la constancia del volumen celular. De nuevo, la activación de los canales de K^+ sirve para mantener la fuerza impulsora y la constancia del volumen celular [1]. En diversos epitelios que secretan Cl^- , la activación de los canales de Cl^- y/o K^+ reduce la actividad intracelular del Cl^- . El encogimiento celular resultante estimula el cotransporte de $\text{Na}^+-\text{K}^+-2\text{Cl}^-$ y/o el intercambiador de Na^+/H^+ con el intercambiador de $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ [1].

EFFECTOS DE LAS HORMONAS, TRANSMISORES Y FÁRMACOS

Diversas hormonas y otros mediadores modifican el volumen de sus células diana [5]. La insulina edematiza los hepatocitos mediante la activación del intercambio de Na^+/H^+ y el cotransporte de $\text{Na}^+-\text{K}^+-2\text{Cl}^-$; el glucagón provoca el encogimiento de los hepatocitos, supuestamente por la activación de los canales iónicos [5]. El efecto de estas hormonas en el volumen celular contribuye a sus efectos sobre el metabolismo. Por ejemplo, el efecto edematizador de la insulina explica su efecto antiproteolítico. A la inversa, el efecto de encogimiento del glucagón explica su efecto proteolítico.

Los factores de crecimiento aumentan el volumen celular mediante la estimulación del intercambio de Na^+/H^+ y, en parte, el cotransporte de $\text{Na}^+-\text{K}^+-2\text{Cl}^-$. El aumento del volumen celular es una condición previa para la estimulación de la proliferación celular [43]. Diversos neurotransmisores excitadores, como el glutamato, activan los canales de Na^+ o los canales catiónicos no selectivos con la posterior entrada de Na^+ , despolarización, entrada de Cl^- y edematización celular. Algunos neurotransmisores inhibidores, como el GABA, activan los canales de K^+ y/o los canales aniónicos, lo que lleva a la hiperpolarización, salida de Cl^- y, por tanto, al encogimiento celular [1].

Los reguladores del transporte epitelial pueden provocar la edematización o encogimiento de células epiteliales, en función de su efecto en sus respectivos mecanismos de transporte

iónico. La estimulación del intercambio de Na^+/H^+ , el cotransporte de $\text{Na}^+-\text{K}^+-2\text{Cl}^-$ o los canales de Na^+ supone la edematización celular; la estimulación de los canales de Cl^- y/o K^+ lleva al encogimiento celular [1].

El factor de crecimiento transformante beta ($\text{TGF}\beta$) estimula el intercambiador de Na^+/H^+ y el cotransporte de $\text{Na}^+-\text{K}^+-2\text{Cl}^-$, lo que provoca un incremento del volumen celular. Este aumento estimula la síntesis proteínica e inhibe la degradación lisosómica de las proteínas de matriz; esto contribuye a una mayor sedimentación de las proteínas de matriz en trastornos con una mayor formación del $\text{TGF}\beta$, como la enfermedad fibrosante [44].

En el volumen celular influyen una amplia variedad de fármacos y toxinas que obstaculizan los mecanismos reguladores del volumen celular, como los canales de K^+ , el cotransporte de

$\text{Na}^+-\text{K}^+-2\text{Cl}^-$ y/o el intercambiador de Na^+/H^+ . Su efecto en el volumen celular puede contribuir a su efecto en la actividad celular [1].

LIBERACIÓN DE HORMONAS Y NEUROEXCITABILIDAD

El volumen celular no sólo participa en la regulación de la actividad celular por parte de hormonas, sino que también regula la liberación de hormonas [45]. La edematización celular desencadena la liberación de diversas hormonas, mientras que el encogimiento celular la inhibe. El vínculo entre el volumen celular y la liberación de hormonas está mal definido, pero implica en parte alteraciones sensibles al volumen celular de la actividad de Ca^{2+} citosólico [45]. De forma similar, la neuroexcitabilidad depende de forma crítica de la hidratación celular [46]. En consecuencia, una mayor osmolaridad plasmática reduce la susceptibilidad a presentar crisis epilépticas y una menor osmolaridad plasmática incrementa dicha susceptibilidad.

CONSECUENCIAS DEL METABOLISMO EN EL VOLUMEN CELULAR

La degradación de proteínas en aminoácidos, de glucógeno en glucosa-fosfato o de triglicéridos en glicerol y ácidos grasos aumenta el número de partículas osmóticamente activas y, por tanto, incrementa la osmolaridad intracelular. La degradación de los sustratos en CO_2 y H_2O reduce la osmolaridad intracelular [1].

La glucólisis provoca la acumulación celular de lactato y H^+ , la posterior activación del intercambiador de Na^+/H^+ y la edematización celular. Además, las vías metabólicas pueden influir en el volumen celular indirectamente a

través de la alteración del transporte a través de la membrana celular. En las células que expresan los canales de K^+ sensibles al ATP, una reducción del ATP celular podría activar esos canales y, por tanto, llevar al encogimiento celular. La formación celular de peróxidos puede provocar el encogimiento de las células mediante la activación de canales de K^+ sensibles a oxidantes o mediante la inhibición del cotransportador de $\text{Na}^+-\text{K}^+-2\text{Cl}^-$ sensible a oxidantes. Por otro lado, la oxidación inhibe los canales de K^+ Kv1.3 y los canales de K^+ KCNE1/KCNQ1 en diversos tejidos, efectos que más bien aumentan el volumen celular [1].

En casos de insuficiencia hepática, el déficit en la formación de urea supone la acumulación de NH_3 , que entra en el cerebro y captan los neurogliocitos, estimula la formación y acumulación celulares de glutamina y, por tanto, provoca la edematización de los neurogliocitos. Estos neurogliocitos liberan mioinositol para contrarrestar la edematización. La edematización de los neurogliocitos es sin duda una causa principal para el desarrollo de encefalopatía hepática [49-51].

La cetoacidosis diabética conduce a la acumulación celular de ácidos orgánicos y a la acidez celular que estimula la actividad de intercambio de Na^+/H^+ . Asimismo, la hiperglucemia estimula la formación y acumulación celulares de sorbitol a partir de glucosa, a través de aldosa reductasa [52], que tiene como resultado la edematización celular. La hiperglucemia lleva adicionalmente a la formación de productos finales de la glucación avanzada que, de forma similar, provoca la edematización celular. Para compensar esta edematización, las células liberan osmolitos como mioinositol. Esta edematización celular conduce a la antiproteólisis, que se puede sumar a la eliminación excesiva de proteínas de matriz. Por otro lado, la hiperglucemia va acompañada de hiperosmolaridad, que puede suponer encogimiento y la posterior activación de la entrada de Ca^{2+} en algunas células [53]. Como mínimo en parte, la hiperglucemia, a través del encogimiento celular, incrementa la expresión de SGK1 que, a su vez, participa en la estimulación de la formación de proteínas de matriz y, por tanto, en la nefropatía diabética [54].

Diversos estados hipercatabólicos, como en el caso de quemaduras, pancreatitis aguda, lesiones graves o carcinoma hepático, van acompañados de una reducción del volumen de células musculares que guarda relación directa con la eliminación de urea, un indicador de la degradación de proteínas [55]. La reducción del volumen celular puede jugar un papel causal en el desencadenamiento del hipercatabolismo. En

consecuencia, la glutamina, que aumenta el tamaño de las células a través de la captación celular acoplada a Na^+ , puede invertir el hipercatabolismo.

MIGRACIÓN CELULAR

Los mecanismos reguladores del volumen celular participan en la locomoción de las células [56]. Durante la migración celular, el agua entra en el borde delantero y sale por el extremo posterior. El movimiento de agua está impulsado por los gradientes osmóticos que genera el transporte regulador de volumen. El NaCl entra en el borde delantero a través del cotransporte de $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-2Cl}^-$ y el intercambio de Na^+/H^+ en paralelo con el intercambio de $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$; los iones salen por el extremo posterior a través de los canales de K^+ y Cl^- .

PROLIFERACIÓN CELULAR Y MUERTE CELULAR APOPTÓTICA

El volumen celular participa en los mecanismos celulares que dirigen la proliferación celular [57-59]. Los factores mitogénicos estimulan el intercambio de Na^+/H^+ y, en algunas células, el cotransporte de $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-2Cl}^-$ [43]. La activación de estos portadores puede suponer un desplazamiento del nivel establecido de la regulación del volumen celular hacia volúmenes mayores. El intercambio de Na^+/H^+ lleva adicionalmente a la alcalinización celular. Puesto que el encogimiento celular y la acidez citosólica inhiben la proliferación celular, se necesita la estimulación del intercambiador de Na^+/H^+ para la estimulación de la proliferación celular en un entorno extracelular hipertónico o ácido.

El encogimiento celular es una de las marcas distintivas de la muerte celular apoptótica [1, 60, 61]. El encogimiento celular va adicionalmente acompañado de la eriptosis [62], es decir, la muerte eritrocítica por suicidio, que es similar a la senescencia [63, 64] y a la neocitólisis [65], que lleva a la eliminación de los eritrocitos en circulación. El encogimiento celular apoptótico se consigue a través del ajuste de los respectivos mecanismos reguladores del volumen celular, como la activación de los canales de Cl^- o K^+ , la estimulación de la liberación de osmolitos orgánicos y la inhibición del intercambiador de Na^+/H^+ [1, 15, 60, 66-68].

Un marcado encogimiento celular osmótico desencadena la muerte celular apoptótica, que puede implicar a los canales catiónicos permeables a Ca^{2+} sensible a la PGE_2 [69]. Una

reducción moderada del volumen celular (<30%) supone una atenuación de la muerte celular apoptótica desencadenada por receptor (CD95) [1]. Este último efecto aparentemente se debe a la interferencia con la señalización del receptor CD95, como la formación de O_2^- celular.

ANEMIA DREPANOCÍTICA

En la anemia drepanocítica, una mutación de punto de la hemoglobina (HbS) favorece la polimerización de la desoxihemoglobina, que reduce drásticamente la capacidad de deformación de los eritrocitos [70]. Como resultado, aumenta la viscosidad de la sangre, lo que provoca una grave alteración de la microcirculación. El encogimiento celular que se produce tras el exceso de la osmolaridad extracelular, la activación del cotransporte de KCl por parte de la urea o la activación de canales de K^+ sensibles al Ca^{2+} por el incremento de la actividad del Ca^{2+} intracelular favorece la polimerización de la hemoglobina [70, 71]. La elevada osmolaridad y la concentración de urea del tejido de la médula renal contribuyen a la especial vulnerabilidad de este tejido a la isquemia en la anemia drepanocítica.

INFECCIÓN

Los mecanismos inmunitarios de defensa dependen del volumen celular de diversas formas [1]. La proliferación, migración y formación de O_2 de leucocitos, la fagocitosis y la sedimentación de matriz son mecanismos sensibles al volumen celular. Así pues, la defensa inmunitaria alterada de la médula renal hipertónica hace que este tejido sea especialmente vulnerable a las infecciones [1]. Además, los patógenos intracelulares comprometen la constancia del volumen celular. La supervivencia de las células anfitrionas depende del volumen celular determina de una forma crítica la evolución de una enfermedad infecciosa [72]. La muerte celular apoptótica lleva a la fagocitosis y a la degradación no sólo de las células anfitrionas, sino también del patógeno. Por consiguiente, la incapacidad de las células anfitrionas para llevar a cabo la apoptosis se asocia con una evolución de la enfermedad particularmente grave [73]. En el grado en el que los mecanismos reguladores del volumen celular participan en el mecanismo que lleva a la muerte celular, estos influyen en el desenlace clínico de las infecciones.

CONCLUSIONES

Las células están equipadas con diversos mecanismos reguladores del volumen celular (Figura 1), que ajustan el volumen celular a las

demandas funcionales. Estos mecanismos están sujetos al control de vías de señalización todavía más diversas. Muchas, pero ni de lejos todas ellas, se conocen a nivel molecular. Un gran número de mecanismos intracelulares y extracelulares ponen en peligro la constancia del volumen celular. A la inversa, el volumen celular y las actividades celulares sensibles al volumen celular participan en una amplia variedad de mecanismos fisiológicos y fisiopatológicos (Figura 2). Aunque existen pocas dudas de que la hidratación celular es un

importante factor determinante del rendimiento celular, muchos mecanismos moleculares sensibles al volumen celular escapan de nuestro conocimiento y frecuentemente no se reconoce la función fisiológica y fisiopatológica de la regulación del volumen celular en la función integrada o se comprende vagamente. Así pues, se deben llevar a cabo más experimentos de gran envergadura para definir la función del volumen celular en la salud y en las enfermedades.

This Supplement to the Journal of the American College of Nutrition was published in Volume 26, # 5, October 2007, and was not peer reviewed by the Journal. Permission for Web Site publication of this Spanish translation of the Supplement is granted to Anfabra Comunicación SLU by the Journal of the American College of Nutrition.