Monograph

Ejercicio, Absorción Intestinal y Rehidratación

Carl V Gisolfi

Palabras Clave: fluidos, absorción intestinal, equilibrio hidroelectrolítico, iones, glucosa

INTRODUCCION

Durante el ejercicio, especialmente en el calor, son comunes valores de sudoración de 1-2 l/h. Si el ejercicio se prolonga por varias horas la pérdida de fluidos podría alcanzar 3 a 6 l, y esto podría llevar a alteraciones negativas termoregulatorias y de la función cardiovascular. Estos trastornos no pueden ser prevenidos por la ingestión de fluidos antes del ejercicio (hiperhidratación), o por una reducción transitoria en la temperatura del cuerpo o humedeciendo la piel (corriendo a través de una lluvia, roseando agua sobre la cabeza) (10). El único método efectivo para atenuar las alteraciones marcadas en las funciones térmica y circulatoria asociadas con la deshidratación, es ingerir fluidos durante el ejercicio. La formulación de tales fluidos debe tomar en cuenta la manera en que sus ingredientes afectan el sabor o degustación, el vaciamiento gástrico y la absorción intestinal. Esta breve revisión se ocupará de este último proceso e intentará proveer discernimiento para las siguientes preguntas: Cuál es la capacidad máxima del intestino para la absorción de fluidos y dónde ocurre ésta? Qué factores mejoran la absorción de fluidos? Se absorbe más fácilmente el agua corriente que una bebida carbohidratada/electrolítica? De qué manera el ejercicio afecta la absorción de fluidos?

Capacidad y Sitio de la Absorción de Fluidos

Sobre una base diaria, aproximadamente 9 l de fluidos son distribuidos hacia el intestino de un individuo saludable normal: 2 l de fluido ingerido, 1,5 l de saliva y 5,5 l de secreciones gastrointestinales. De esta cantidad, alrededor del 60% (5,5 l) es absorbida en el intestino delgado proximal, es decir en el duodeno y el yeyuno (duodeno-yeyuno), 20% (1,8 l) en el ileo y 15% (1,3 l) en el colon. De todos modos la cantidad máxima de fluidos que se pueden volcar en el intestino, en cualquier momento, es dependiente del vaciamiento gástrico.

Se ha estimado que la tasa máxima de vaciamiento gástrico ha sido estimada en aproximadamente 40 ml/min o 2400 ml/h. La capacidad máxima de absorción del intestino es difícil de cuantificar porque depende del área de superficie, la cual no es fácilmente medible. En una serie de experimentos recientes, introdujimos en el duodeno-yeyuno porcentajes mayores a 40 ml/min, sin efectos adversos (datos no publicados). Por eso, la capacidad del intestino para absorber fluidos se aproxima a la tasa del vaciamiento gástrico. Como mencionamos previamente, el lugar primario de absorción de fluidos, electrolitos y carbohidratos, es el duodeno-yeyuno. La razón de esto es que el duodeno-yeyuno es más permeable al agua e iones, de lo que lo son el ileo y el colon.

Mecanismo de la Absorción de Fluidos

La mucosa intestinal es una membrana semipermeable con canales acuosos relativamente grandes. Por eso, en la presencia de un gradiente osmótico hay siempre un movimiento grande y rápido de agua a través del duodeno-yeyuno, comparado con sólo un modesto flujo de agua a través del colon. Este movimiento rápido también se aplica a pequeños solutos solubles en agua, tales como el cloruro de sodio (NaCl). El movimiento de agua tiende a ocurrir entre las células

intestinales, bajo un gradiente de presión osmótica. Los movimientos de agua ocurren pasivamente y son generalmente dependientes de la absorción de solutos; por ejemplo si la absorción de solutos es cero, la absorción de agua es cero (2). De todos modos, en un estudio sobre humanos, la perfusión de una solución hipotónica a través del yeyuno, incrementó la absorción de agua sin incrementar la absorción de solutos (17). Esto sugiere que el mayor gradiente osmótico promovió un gran movimiento de agua desde el lumen intestinal hacia la sangre. También es cierto, que a pesar que el movimiento de agua es usualmente pasivo, el agua puede ser absorbida contra un gradiente osmótico, por ejemplo, con una osmolaridad plasmática de 285 mOsm y una concentración de fluido luminar de 340 mOsm, el agua continúa siendo absorbida (3).

FACTORES QUE REFUERZAN LA ABSORCION DE FLUIDOS

Glucosa

La presencia de carbohidratos de absorción eficaz, en bebidas deportivas, incrementa marcadamente la absorción tanto de sodio como de agua (24); de todos modos, no es esencial para el transporte de sodio. El sodio también puede entrar en las células intestinales por difusión cuando se asocia al cloruro, o por una absorción activa cuando se relaciona con los aminoácidos (24).

Por otro lado, el sodio intraluminal es esencial para el transporte de glucosa. No se conoce con claridad la cantidad y forma del carbohidrato que maximiza la absorción de sodio y agua. Estudios anteriores indicaron que la absorción de agua fue maximizada cuando la concentración de glucosa luminar pasó de 1 a 3% (55 a 140 mM) (19,30); de todos modos, la mayoría de las bebidas deportivas contienen de 2 a 3 veces esta cantidad, sin causar síntomas gastrointestinales adversos. Incrementando la concentración de glucosa en el lumen a un 10% (550 mOsm) puede causarse una secreción de fluidos y una molestia gastrointestinal (12).

Quizás la sucrosa, polímeros de glucosa, o diferentes combinaciones de carbohidratos podrían ser absorbidas más efectivamente que la simple glucosa. Pruebas clínicas indican que concentraciones equimolares de sucrosa son tan efectivas como la glucosa, en tratamientos de cuadros de deshidratación secundarios a la diarrea causada por cólera, rotavirus y otros patógenos no coléricos (5). Los polímeros de glucosa ofrecen la ventaja potencial de reducir la osmolaridad e incrementar la cantidad de glucosa trasladada hacia el intestino.

Su eficacia está apoyada en estudios sobre animales (29) y humanos; de todos modos, en el tratamiento de diarreas, incrementar su concentración más allá de ciertos límites puede llevar a una hipernatremia (28). En otro estudio sobre humanos saludables normales, no hubo diferencia en la absorción de fluidos de una perfusión intestinal de agua corriente o de una solución hipotónica carbohidratada con electrolitos, formulada con polímeros de glucosa (32).

Sodio

La razón para incluir sodio en una solución de rehidratación oral es reemplazar el sodio perdido en la sudoración, para promover la absorción de agua vía el mecanismo de transporte de la asociación glucosa-sodio, y para mejorar el sabor. La hiponatremia puede ocurrir en pruebas de ultramaratón (9, 14), y en eventos de 3 a 4 horas de duración (22). La necesidad de sodio para transportar glucosa es un concepto biológico bien defendido. Por eso, la presencia de sodio en bebidas deportivas es importante para actividades de resistencia: la pregunta es, “¿Qué cantidad de sodio debería ser agregado?”. La estaquiometría de la unión de Na^+ a la glucosa es 2:1; de todos modos, si la mayoría de agua y electrolitos en una bebida deportiva son absorbidos a través del espacio entre células del intestino proximal, la proporción de sodio/glucosa puede no ser importante, y la cantidad de sodio necesario puede ser pequeña. De todos modos, atletas de resistencia, usualmente reemplazan sólo del 20 al 30% del fluido que ellos pierden por sudoración (25,34). Por eso, la concentración de Na^+ plasmático usualmente sube durante el ejercicio. Aún con la diarrea, ha habido un éxito considerable con el tratamiento de rehidratación oral usando soluciones que contienen, tan poco como 30 mEq de Na^+ (5).

Aminoácidos

La inclusión de aminoácidos en soluciones de rehidratación oral se basa en la observación de que los aminoácidos tienen múltiples senderos de transporte (31), estimulan la absorción de sodio y agua, independientemente de la glucosa (13), y proveen un valor nutricional agregado en caso de diarrea.

Además, el efecto de combinar aminoácidos y monosacáridos es sinérgico sobre la absorción de agua y sal (4). Esto se ha observado en humanos y en animales bajo condiciones normales y en pacientes con cuadros de diarrea (13, 18, 21, 26). Por ejemplo, en la diarrea infantil, una suspensión de polvo de copos de arroz (que contiene aminoácidos) en una solución de

electrolitos, reduce significativamente la producción total de la defecación, la duración de la diarrea, y el consumo de fluidos de rehidratación, al ser comparado con una solución de glucosa que tenga la misma composición de electrolitos (23). En otra prueba clínica, una solución oral de rehidratación conteniendo glucosa y glicina proveyó una absorción de fluidos más efectiva, que una solución conteniendo sólo glucosa o glicina (21). Estos resultados son alentadores, pero la inclusión de aminoácidos en bebidas deportivas debe ser, ante todo, testeada en sujetos humanos normales deshidratados, como resultado de una sudoración excesiva. Si ellos son efectivos en el mejoramiento de la absorción de fluidos bajo estas condiciones, deberían ser considerados para la inclusión en las bebidas deportivas, teniendo el cuidado de que no disminuyan su sabor o palatabilidad.

Osmolaridad

Las soluciones de rehidratación oral formuladas para el tratamiento de la diarrea son usualmente isotónicas o hipertónicas (5), como lo son la mayoría de las bebidas deportivas comerciales. En sujetos humanos, alguna evidencia indica que las bebidas hipotónicas son más eficaces en maximizar la absorción de agua que las soluciones isotónicas (17), pero este no es siempre el caso (7,16). En modelos animales, hay una evidencia considerable de que la absorción de agua es maximizada con el uso de soluciones carbohidratadas con electrolitos, hipotónicas (200 a 250 mOsm/kg), comparadas con soluciones isotónicas similares (5). Por otro lado, la absorción de fluidos, luego de una perfusión de agua corriente dentro del intestino, es significativamente menor que la absorción de fluidos luego de una perfusión con una solución carbohidratada con electrolitos, isotónica (12). El uso de maltodextrinas en lugar de glucosa en una solución de rehidratación disminuyó la osmolaridad y promovió una rápida absorción de agua en un modelo animal normal (29); de todos modos, en un modelo humano, la absorción de fluidos de una bebida deportiva formulada con polímeros de glucosa no fue diferente del valor de absorción del agua corriente (32). El ejercicio produce una condición de deshidratación hipertónica la cual puede favorecer la absorción de fluidos de bebidas deportivas hipotónicas, pero este concepto requiere futuras investigaciones en seres humanos.

Aniones

Si el objetivo en la formulación de bebidas de rehidratación oral es el de maximizar el transporte de agua y sodio, entonces el cloruro debería ser el anión dominante (6). Combinar cloruro y bicarbonato no es tan efectivo como cloruro sólo (6). Los aniones orgánicos, acetato y citrato, también estimulan la absorción de sodio y agua en humanos (27).

EFECTOS DEL EJERCICIO

El efecto del ejercicio sobre la absorción intestinal es controversial. Usando técnicas indirectas, dos investigadores encontraron que el ejercicio redujo significativamente el transporte activo de glucosa y la absorción de agua (20,33). Usando una técnica directa, Barclay y Turnberg (1) encontraron que el ejercicio redujo significativamente la absorción de sodio, de cloruro, de potasio y de agua de una solución isotónica con sólo electrolitos. De todos modos, este efecto del ejercicio resulta biológicamente de poca importancia cuando se considera la absorción de fluidos con la ingesta de una solución carbohidratada + electrolitos, porque la absorción de fluidos de tal solución es 10 veces mayor que aquélla de una solución hipotónica de electrolitos, sin carbohidratos (11). Tanto Fordtran y Saltin (8), como Gisolfi et al. (11), encontraron que el ejercicio en un rango del 30 al 70% del VO_2 máx. no tuvo efecto sobre una absorción de solutos, pasiva o activa, y tampoco sobre la absorción de fluidos. De todos modos, tanto en el descanso como durante el ejercicio, la absorción de fluidos es significativamente mayor a partir de la ingesta de una solución de carbohidratos + electrolitos, que de la ingesta de agua corriente.

Factor	Efecto
Glucosa	Aumenta marcadamente la absorción de Na^+ y agua.
Sodio	Reemplaza las pérdidas de Na^+ por sudor, promueve la absorción de agua e incrementa el sabor de la bebida.
Aminoacidos	Estimulan la absorción de Na^+ y agua, independientemente de la glucosa.
Osmolaridad	Las soluciones más eficaces, en términos de absorción de fluidos, son tanto isotónicas o hipotónicas.
Anion	Para maximizar la absorción de agua y Na^+, el Cl^- es el anión más eficaz.

Tabla 1. *Factores que aumentan la absorción de fluidos.*

SUMARIO

- El sitio primario de la absorción de fluidos es la primera porción del intestino delgado, el duodeno-yeyuno. Este segmento del tubo digestivo absorbe el 60% de la carga de fluidos, que arriban al intestino.
- La capacidad máxima de absorción de fluidos del intestino delgado es de alrededor de 1.9 a 2.3 l/h. Esto es similar a los más altos valores registrados para el vaciamiento gástrico.
- El fluido es usualmente absorbido isotónicamente, pero puede ser absorbido contra un gradiente de presión osmótica tan alto como 40-50 mOsm.
- La presencia de glucosa en bebidas deportivas mejora significativamente la absorción de fluidos, en el lumen del intestino delgado; de todos modos el sodio debe estar presente en el lumen intestinal para que ocurra el transporte de glucosa.
- En teoría, la inclusión de aminoácidos en bebidas deportivas, en adición a los carbohidratos, tiene el efecto potencial de un posterior incremento en la absorción de fluidos. De todos modos, este hecho no ha sido probado, hasta ahora.
- Las bebidas deportivas son tanto hipertónicas, isotónicas o hipotónicas. La formulación más eficaz en términos de absorción de fluidos, es tanto una bebida isotónica como una hipotónica.
- El cloruro es el anión más eficaz para maximizar la absorción de fluidos, a partir de una bebida deportiva.
- El efecto del ejercicio sobre la absorción de fluidos de una bebida deportiva es controversial. Mediciones indirectas sugieren que el ejercicio reduce la absorción de fluidos y glucosa, mientras que estudios directos hincan que no hay efectos del ejercicio en un rango del 30 al 70% del VO_2 máx. sobre la absorción de fluidos o la absorción de solutos, ya sea en forma activa o pasiva.

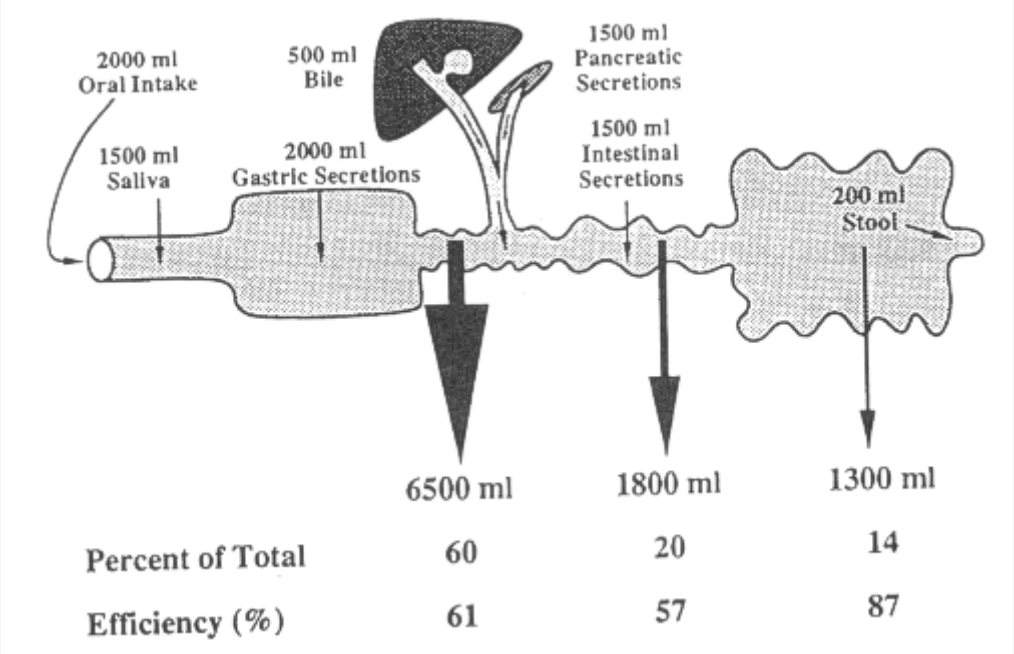

Figura 1. *Los valores aproximados para la carga de agua, entrando en el intestino, cada día, y los volúmenes absorbidos por el intestino delgado y grueso. También se muestra la eficiencia relativa del proceso de absorción en cada segmento del intestino. La eficacia se define como la proporción del agua absorbida en relación al agua que arriba al segmento.*

Puntos Claves

1. El intestino delgado proximal (duodeno y yeyuno) es el lugar primario de la absorción de fluidos. Absorbe de un 50% a un 60% de cualquier carga de fluido ingerida. El colon o intestino grueso absorbe aproximadamente del 80% al 90% del fluido que recibe, pero esto representa solamente una proporción cercana al 15% de la carga total de fluido ingerida.

2. La absorción del fluido intestinal es un proceso pasivo y puede ocurrir contra un gradiente osmótico.

3. La presencia de glucosa en una bebida deportiva estimula la absorción de sodio y agua. El sodio es requerido para el transporte de glucosa, y el cloruro es el anión preferido para maximizar la absorción de fluidos. Agregando aminoácidos a una solución electrolitos más glucosa, o reduciendo su osmolaridad también se puede fortalecer la absorción de fluidos.

4. Si se agregan electrolitos a una bebida deportiva, también se deberían adicionar carbohidratos para fortalecer la absorción de fluido. Tomar agua corriente es mejor que tomar agua más electrolitos, solamente.

5. Una cantidad de fluidos más significativa es absorbida de una bebida carbohidratada con electrolitos que del agua corriente, durante el ejercicio y el descanso.

REFERENCIAS

1. Barclay, G.R. and Turnberg, L.A (1988). Effect of moderate exercise on salt and water transport in the human jejunum. *Gut 29: 816-820*
2. Curran, P.F. and Macintosh, J.R (1962). A model system for biological water transport. *Nature 193: 347-348*
3. Diamond, J.M (1979). Osmotic water flow in leaky epithelia. *J. Membr. Biol. 51: 195-215*
4. Esposito, G., Faelli, A. and Capraro, V (1964). Influence of the transport of aminoacids on glucose and sodium transport across the small intestine of the albino rat incubated in vitro. *Experientia 20: 122-124*
5. Ferreira, R.M.C. and Walker-Smith, J.A (1989). Controversies in oral rehydration therapy: A way forward. *Gastroenterology Journal Club 1: 2-14*
6. Fordtran, J.S (1975). Stimulation of active and passive sodium absorption by sugars in the human jejunum. *J. Clin. Invest. 55: 728-737*

7. Fordtran, J.S., Levitan, R., Bikerman, V., Burrows, B.A. and Ingelfinger, F.J (1961). itan, R., Bikerman, V., Burrows, B.A. and Ingelfinger, F.J. The kinetics of water absorption in the human intestine. *Trans. Assoc. Am. Physicians 74: 195-206*
8. Fordtran, J.S. and Saltin, B (1967). Gastric emptying and intestinal absorption during prolonged sever exercise. *J. Appl. Physiol. 23: 331-335*
9. Frizzell, R.T., Lang, G.H., Lawerence, D.C., et al (1986). Hyponatremia and ultramarathon running. *JAMA 255: 772*
10. Gisolfi, C.V. and Copping, J.R (1974). Thermal effects of prolonged treadmill exercise in the heat. *Med. Sci. Sports 6: 108-113*
11. Gisolfi, C.V., Spranger, K.J., Summers, R.W., Schedl, H.P. and Bleiler, T.L (1991). Cycle exercise and absorption of water and a carbohydrate electrolyte solution in man. *J. Appl. Physiol. (In Review)*
12. Gisolfi, C.V., Summers, R.W., Schedl, H.P., Bleiler, T.L. and Oppliger, R.A (1990). Human intestinal water absorption: Direct vs. indirect measurements. *Am. J. Physiol. 258: G 216-G 222*
13. Hellier, M.D., Thirumalai, C. and Holdsworth, C.D (1973). The effect of aminoacids and dipeptides on sodium and water absorption in man. *Gut 14: 41-45*
14. Hiller, W.D.B. and Laird, R.H (1986). Hyponatremia and ultramarathons. *JAMA 256: 213*
15. Jones, B.J.M., Higgins, B.E. and Silk, D.B.A (1987). Glucose absorption from maltotriose and glucose oligomers in the human jejunum. *Clin. Sci. 72: 409-414*
16. Leiper, J.B. and Maughan, R.J (1986). Absorption of water and electrolytes from hypotonic, isotonic and hypertonic solutions. *J. Physiol. 373: 90 P*
17. Leiper, J.B. and Maughan, R.J (1986). The effects of luminal tonicity on water absorption from a segment of the intact human jejunum. *J. Physiol. 378: 95 P*
18. Mahalanabis, D. and Patra, F.C (1983). In search of a super oral rehydration solution: Can optimum use of organic solute-mediated sodium absorption lead to the development of an absorption promoting drug?. *J. Dig. Dis. Res. 1: 76-81*
19. Malawer, S.J (1965). Interrelationship between jejunal absorption of sodium, glucose and water in man. *Am. Soc. Clin. Invest. 44: 1072-1073*
20. Maughan, R.J., Leiper, J.B. and McGaw, B.A (1990). Effects of exercise intensity on absorption of ingested fluids in man. *Exper. Physiol. 75: 419-421*
21. Nalin, D.R., Cash, R.A., Rahman, M. and Yunus, M.D (1970). Effect of glycine and glucose on sodium and water absorption in patients with cholera. *Gut 11: 768-772*
22. Nelson, P.B., Robinson, A.G., Kapoor, W. and Rinaldo, J (1988). Hyponatremia in a marathoner. *Phys. Sportsmed. 16: 78-92*
23. Patra, F.C., Mahalanabis, D., Jalan, K.N., Sen, A. and Banerjee, P (1982). Is oral rice electrolyte solution superior to glucose electrolyte solution in infantile diarrhea?. *Arch. Dis. Child. 57: 910-912*
24. Powell, D.W (1987). Intestinal water and electrolyte transport: Physiology of the gastrointestinal tract. *Leonard R. Johnson (editor, 2nd ed.). (New York: Raven Press). 1267-1305*
25. Pugh, L.G.C.E., Corbett, J.L. and Johnson, R.H (1967). Rectal temperatures, weight losses, and sweat rates in marathon running. *J. Appl. Physiol. 23: 347-352*
26. Rhoads, J.M., MacLeod, R.J. and Hamilton, J.R (1986). Alanine enhances jejunal sodium absorption in the presence of glucose: Studies in piglet viral diarrhea. *Pediatric Research 20: 879-883*
27. Rolston, D.D.K. Moriarty, K.J., Farthing, M.J.G., Kelly, M.J., Clark, M.I. and Dawson, A.M (1986). Acetate and citrate stimulate water and sodium absorption in the human jejunum. *Digestion 34: 101-104*
28. Sandhu, B.K., Jones, B.J.M., Brook, C.G.D. and Silk, D.B.A (1982). Oral rehydration in acute infantile diarrhea with a glucose-polymer electrolyte solution. *Arch. Dis. Childhood. 57: 152-160*
29. Saunders, D.R. and Sillery, J.K (1985). Absorption of carbohydrate-electrolyte solutions in rat duodenojejunum. Implications for the composition of oral electrolyte solutions in man. *Dig. Dis. Sci. 30: 154-160*
30. Sladen, G.E. and Dawson, A.M (1969). Interrelationships between the absorptions of glucose, sodium and water by the normal human jejunum. *J. Clin. Sci. 36: 119-132*
31. Stevens, B.R., Ross, H.J. and Wright, E.M (1982). Multiple transport pathways for neutral aminoacids in rabbit jejunal brush border vesicles. *J. Membr. Biol. 66: 213-225*
32. Wheeler, K.B. and Banwell, J.G (1986). Intestinal water and electrolyte flux of glucose-polymer electrolyte solutions. *Med. Sci. Sports Exerc. 18: 436-439*
33. Williams, J.H., Mager, M. and Jacobsen, E.D (1964). Relationship of mesenteric blood flow to intestinal absorption of carbohydrates. *J. Lab. Clin. Med. 63: 853-863*
34. Wyndham, C.H. and Strydom, N.B (1969). The danger of an inadequate water intake during marathon running. *S. African. Med. J. 43: 893-896*

Cita Original

Ejercicio, Absorción Intestinal y Rehidratación. Sports Science Exchange, Gatorade Sports Science Institute, Sport Physiology and Biochemistry, Vol. 4, Number 32, May 1991.