

ARCHIVO HISTÓRICO



El presente artículo corresponde a un archivo originalmente publicado en el **Boletín de la Escuela de Medicina**, actualmente incluido en el historial de **Ars Medica Revista de ciencias médicas**. El contenido del presente artículo, no necesariamente representa la actual línea editorial. Para mayor información visitar el siguiente

vínculo: <http://www.arsmedica.cl/index.php/MED/about/submissions#authorGuidelines>

Transporte intestinal de agua y electrólitos en el adulto

* C. Quintana V.

La función más importante del intestino es la absorción de agua, electrólitos y nutrientes. Al respecto, es necesario subrayar, además, que el intestino es un órgano de vital importancia en la osmorregulación; esta función es ejercida por el epitelio mediante procesos de transporte hidrosalino. El intestino también interviene en otros procesos homeostáticos básicos: equilibrio hidrosalino del medio interno, mantención de la concentración normal de potasio en la sangre y regulación del volumen plasmático en un nivel normal. Finalmente, el intestino tiene mecanismos secretorios que cooperan con la digestión de los alimentos y que, por otra parte, lo protegen contra agresiones de agentes infecciosos o inmunológicos.

En los mamíferos la absorción intestinal de agua y electrólitos puede analizarse de dos modos: mediante estudios de balance de 24 horas y considerando la respuesta a las comidas. Tal como se describe en la Tabla 1, en 24 horas, aproximadamente 9 litros de líquido que contienen 800 mEq de Na, 100 mEq de K y 700 mEq de Cl ingresan al duodeno humano de seres adultos. Solamente 2 litros corresponden a líquido ingerido, el resto a secreciones digestivas. Este volumen de agua y electrólitos se reabsorbe a lo largo del tubo, digestivo como se ilustra en la tabla 2. Tal como se observa en esta Tabla, los segmentos dista-

les son esencialmente de una mayor eficiencia en su capacidad de absorción de agua y de sodio; compárese la cifra de 13 y 44% que tiene el yeyuno, por cada elemento, con más de 90% que tiene el colon. Sin embargo, debe detenerse presente que el intestino delgado absorbe una fracción mayoritaria del volumen total de agua: 44% duodeno y yeyuno, 39% el íleon. Así, llegan solamente al colon unos 1 500 ml de líquido diariamente lo que representa, de este modo, sólo un 17% del volumen total.

Estas cifras corresponden a estudios efectuados mediante intubación intestinal y son algo diferentes de las obtenidas en pacientes con ileostomía. En efecto, el volumen eliminado en 24 horas por una ileostomía es, en promedio, 500 ml y contiene 45 a 90 mEq de Na. Esta diferencia puede ser el reflejo del efecto de la aldosterona sobre el intestino delgado distal.

El colon, en promedio, recibe en 24 horas, como se ha dicho, unos 1 500 ml de líquido que llegan desde el íleon, pero su máxima capacidad absorbente puede alcanzar a unos 5000 ml en 24 horas. De este modo, el colon, en condiciones funcionales normales, puede compensar reducciones en la absorción o incrementos en la secreción del intestino delgado que hagan llegar al ciego volúmenes de hasta 5 000 ml en 24 horas, sin que se observen alteraciones en las deposiciones.

En la Tabla 2 también se puede observar otro hecho importante: el intestino proximal en el hombre es el segmento más sobresaliente en la absorción de agua, mientras que el íleon lo es en la recuperación del Na. Más del 80% del agua es

* Departamento de Gastroenterología, Escuela de Medicina, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Tabla 1
VOLUMEN Y COMPOSICION IONICA DEL CONTENIDO LIQUIDO DEL INTESTINO HUMANO (En 24 Horas)

SEGMENTO	VOL (ml)	Na (mM)	K	Cl	CON LAS COMIDAS EN AYUNAS
Ingresa al duodeno					
Dieta	2000	150	50	200	1500-2000 ml/comida 2ml/min en ayunas
Saliva	1000	50	20	40	
Jugo gástrico	2000	100	15	280	
Bilis	1000	200	5	40	
Jugo pancreático	2000	150	5	40	
Secreción del intestino delgado	1000	150	5	100	
TOTAL	9000	800	100	700	
Ingresa al íleon	5000	700	40	550	770 ml/comida 2,2 ml/min en ayunas
Ingresa al colon	1500	200	10	100	250 ml/comida 0,6 ml/min en ayunas
Deposiciones	100	3	8	2	

Tabla 2
EFICIENCIA DEL INTESTINO HUMANO EN LA ABSORCION DE AGUA Y SODIO

SEGMENTO	VOLUMEN SALIDA	CANTIDAD DE Na QUE SALE	% DE EFICIENCIA EN LA ABSORCION DE CADA DEGMENTO		% DE EFICIENCIA EN RELACION A LA CARGA DUODENAL	
			H ₂ O	Na	H ₂ O	Na
	ml/24 hrs.	mM/24 horas				
Duodeno	9000	800	-	-	-	-
Yeyuno	5000	700	44	13	44	13
Íleon	1500	200	70	72	39	62
Colon	100	3	93	99	16	25
Intestino	100	3	-	-	99	99

absorbido en el yeyuno e íleon, mientras que más del 80% de Na lo es en el íleon y colon.

Los estudios de balance de 24 horas no reflejan los aspectos dinámicos de la absorción intestinal hidrosalina que ocurren en relación a las comidas. En la parte alta del tubo digestivo, los aumentos de volumen intraluminal se deben, en su mayor parte, a lo que representa la comida misma y las secreciones salival, gástrica, biliar y pancreática. Sin embargo, hay que considerar, además, que el intestino delgado también secreta activamente en respuesta a una comida, esto se ha estimado, al menos, en 1 litro en 24 horas. Este volumen seguramente es inferior al valor real, ya que está constantemente siendo reabsorbido, lo

que hace difícil estimarlo con seguridad. En todo caso, en el interior del intestino ocurren cambios de volumen y de iones en relación a las comidas que pueden ser representados en una gráfica con elevaciones y depresiones (Figura 1).

Por otra parte, la calidad de los alimentos ingeridos influye también en estos cambios, porque, entre otras razones, la presión osmótica del contenido intestinal produce intercambios hidrosalinos significativos en el duodeno que es un epitelio permeable. Por ejemplo, una comida hipotónica, en el momento de su llegada en forma de quimo al ligamento de Treitz, tiene una concentración de Na y K similar al del plasma. En seguida de producirse este equilibrio osmótico e iónico que ocu-

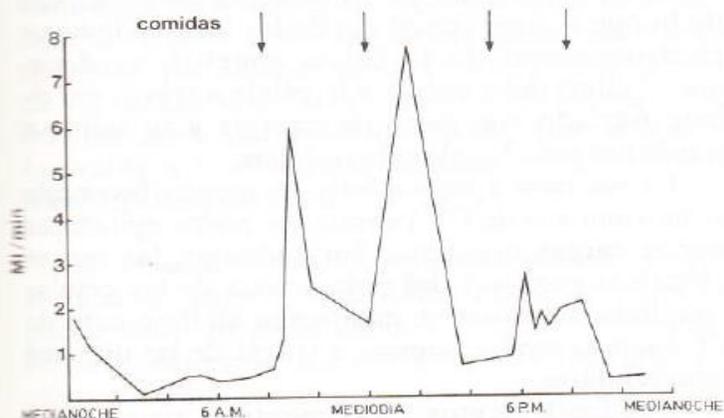


FIGURA 1. Variaciones del flujo ideal en relación a las comidas (Adaptado de Powel, M.D.; referencia N° 3)

En el intestino proximal, hay una absorción progresiva de Na, Cl y H₂O en el intestino medio y distal. En cambio, con una comida hipertónica ocurren cambios diferentes a los descritos: los carbohidratos y las proteínas son hidrolizadas a oligosacáridos, aminoácidos y péptidos que da como resultado una actividad osmótica mayor que la del medio interno y que provoca la llegada de agua, Na y Cl desde la mucosa intestinal al lumen intestinal. En este caso la absorción neta de Na y agua no comienza hasta este momento.

La concentración de Na y K en el intestino delgado humano se aproxima a los valores

plasmáticos; sin embargo, la concentración de Cl intraluminal disminuye en el íleon. En efecto, si se mide la concentración de HCO₃⁻, se encuentra un cambio recíproco en las concentraciones de Cl⁻ y HCO₃⁻; el Cl disminuye a 50 ó 60 mEq/l mientras que el HCO₃⁻ aumenta hasta ese mismo nivel. Las concentraciones de Na, K, Cl y HCO₃ son modificadas, también en el colon (Tabla 3). En este órgano hay una absorción mantenida de Na y Cl y secreción de HCO₃⁻ y K⁺. Además, se agregan al contenido del colon ácidos orgánicos (ácidos grasos volátiles) que provienen de la fermentación bacteriana de los carbohidratos. El resultado final es que el catión predominante en las deposiciones es el K⁺, que la concentración de Na⁺ se reduce a 3-7 mEq/l y que los aniones predominantes son orgánicos.

¿Cómo ocurre la recuperación intestinal de agua y electrólitos?. Se puede representar el intestino como una membrana constituida por células epiteliales diferenciadas para esta tarea en su estructura y función, con un polo luminal representado por el ribete estriado y un polo basal -membrana basolateral- en contacto con el medio interno; las células están unidas entre sí por una estructura especial que determina el límite entre ambos polos celulares. Esta consideración, sin embargo, excluye a otras estructuras intestinales y a la circulación de sangre y linfa que tienen un papel importante en el transporte de agua, electrólitos y nutrientes.

En el epitelio intestinal ocurren simultáneamente movimientos de agua y electrolitos hacia el medio interno y hacia el lumen intestinal que tal como lo planteó Heindenhein en el siglo pasado, son de dos tipos: pasivos, de acuerdo exclusivamente a propiedades físico-químicas y activos (vi-

Tabla 3
COMPARACION DEL VOLUMEN DE AGUA Y ELECTROLITOS QUE LLEGAN Y SALEN NORMALMENTE DEL COLON EN 24 HORAS

	LLEGA AL COLON		SALE DEL COLON	
	CANTIDAD	CONCENTRACION	CANTIDAD	CONCENTRACION
AGUA	600 ml	mEq/l	100 ml	mEq/l
SODIO	75 mEq	125	4 mEq	40
POTASIO	5 mEq	9	9 mEq	90
CLORO	36 mEq	60	2 mEq	15
BICARBONATO	44 mEq	74	3 mEq	30

Ref.: Fordtran, J.S Fred. Proc. 26:1405, 1967.

tales) que dependen de procesos energético biológicos. Esta movilización de agua y electrólitos puede ocurrir a través de las células epiteliales (vía transcelular) o a través de las uniones intercelulares (vía paracelular); el resultado final es que la suma algebraica de ambos movimientos en el estado de normalidad es ampliamente positivo en el sentido de la absorción.

Se ha demostrado que la movilización del agua por el intestino es pasiva y sigue obligadamente al transporte neto de solutos en una proporción aproximadamente isotónica. Se estima que este proceso se realiza principalmente a través de poros cargados negativamente, situados en las uniones intercelulares que miden 8.0 Å en el yeyuno, 3.0 Å en el íleon y 2.0 Å en el colon.

El transporte de solutos depende de energía electroquímica y de diferencias de potencial eléctrico. El íleon de conejo en preparaciones *in vitro* ha sido un modelo experimental muy usado en el estudio del transporte; la concentración de Na intracelular es más baja que en el medio extracelular, en cambio la concentración de K y Cl intracelular es mayor que el que le correspondería de acuerdo al potencial eléctrico existente. De este modo, la tendencia es la entrada de Na a la célula y la salida de Cl y de K.

El transporte de Na se realiza por vía transcelular y paracelular. La entrada a la célula a través del ribete estriado, se lleva a cabo a favor de un gradiente de potencial electroquímico, por tanto este paso no requiere energía. Se piensa que existen, por lo menos, dos tipos de transporte para la entrada de Na por el ribete estriado del intestino delgado. El primero solamente para Na y el segundo acoplado a otros solutos (glucosa, galactosa, aminoácidos y Cl⁻). En el colon solamente existen del primer tipo y acoplados a Cl⁻. La salida de Na de la célula epitelial por el polo basal es un proceso activo, electrogénico, dependiente de energía metabólica (ATP) e inhibida por presencia de ouabaína en el medio seroso.

El epitelio intestinal se comporta como una batería eléctrica cuyo polo positivo está en la solución externa que baña su membrana basal. Este hecho favorece la salida pasiva de Na desde el medio extracelular basal hacia el medio mucoso (en contacto con el ribete estriado), a través de los poros situados en las uniones intercelulares, a favor de un gradiente electroquímico establecida entre ambos medios. En otras palabras, en forma simultánea al proceso activo de absorción de Na

por vía transcelular existe un movimiento pasivo de Na en ambos sentidos, a través de los poros intercelulares.

El transporte de Cl⁻ es una imagen en espejo de lo que ocurre con el Na dadas las condiciones electroquímicas de la célula epitelial: es decir, que el cloro debe entrar a la célula a través del ribete estriado con gasto de energía y su salida a través del polo basal no la requiere.

La vía pasiva intercelular es menos favorable al movimiento de Cl⁻ porque los poros epiteliales tienen cargas negativas. Sin embargo, las cargas eléctricas positivas del polo seroso de las células epiteliales intestinales, mantienen un flujo neto de Cl⁻ hacia el medio interno, a través de las uniones intercelulares.

Hay fundamentos experimentales para sostener que una forma de entrada de Cl⁻ a la célula epitelial del íleon y del colon por el ribete estriado está acoplado a la salida del HCO₃ y por lo tanto este proceso sería eléctricamente neutro.

Se ha descrito también en el intestino delgado y grueso una forma de absorción acoplada de Na⁺ y Cl⁻ que es electrogénicamente neutra y que es inhibida por un aumento de AMP cíclico intracelular. Este sistema de transporte acoplado de Na y Cl parece tener importancia también en el hombre.

El transporte de K se ha sostenido que es pasivo; sin embargo, hay trabajos que sugieren que se secreta activamente por el colon. Por otra parte, hay que tener presente el intercambio de Na por K; este último es incorporado por la base de la célula epitelial debido a la acción de la Na-K ATPasa. Además, se ha sugerido, en el último tiempo, que existiría un mecanismo de absorción activa de K⁺ en el intestino delgado de los mamíferos, el que se ha demostrado en los anfibios.

Secreción electrogénica de cloro: el epitelio de la mucosa intestinal es capaz de secretar "activamente" Cl⁻; este proceso es controlado por el AMP cíclico y niveles de Ca celulares. También se ha demostrado que la elevación de la concentración de GMP cíclico intracelular, puede producir secreción anormal de Cl. Parece claro que el proceso secretorio descrito es responsable, al menos en parte, de graves diarreas secretorias producidas por bacterias y también por otras causas. Hay

fundamentos experimentales que sugieren que este proceso de secreción de cloro ocurre en las células de las criptas de la mucosa.

En el transporte intestinal hidrosalino debe considerarse, además, la importancia de la absorción de solutos como la glucosa, galactosa y aminoácidos que además de acoplarse a la absorción de Na, crean una carga osmótica en los espacios intercelulares del epitelio del intestino delgado, favorable a la absorción de agua y electrólitos a través de los poros intercelulares.

El resultado final del proceso normal de absorción de agua y electrólitos en el intestino se puede observar en la Tabla 2, en la que se describen los valores de agua y electrólitos que llegan y salen del colon.

La diarrea se produce por una alteración de los mecanismos normales del transporte de agua y electrólitos. Se han clasificado los mecanismos de diarrea en: a) retardo osmótico de la absorción de agua; b) secreción intestinal; c) disminución o inhibición de la absorción activa de iones; d) alteraciones del tránsito intestinal y, e) alteración de la permeabilidad de la mucosa intestinal.

Lo frecuente es que en una enfermedad determinada, la diarrea sea producida por más de uno de estos mecanismos.

- La diarrea que ocurre en cuadros con mala absorción de nutrientes tiene un factor osmótico importante. Un ejemplo de ellas es la que acompaña el déficit de lactasa.
- Si en una diarrea se descarta como causa una hiperosmolaridad del lumen intestinal, en la secreción intestinal anormal se pueden considerar dos fuerzas: a) secreción pasiva por aumento de presión hidrostática como la lograda en condiciones experimentales, con obstrucción de venas mesentéricas y, b) secreción activa anormal de iones por la mucosa intestinal como en los cuadros en que existe una alta concentración de AMP cíclico en el epitelio intestinal (cólera, *E. coli*, *Salmonellosis*, *Shigellosis* por *Sh. dysenteriae* y *flexneri*, exceso de VIP, etc.)
- Un ejemplo de diarrea causada por la inhibición de la absorción activa de un ion es la clorhidrorrea congénita, que es una afección muy poco frecuente.
- Los cuadros de diarrea en los que la alteración de la motilidad intestinal parece ser un factor

causal, también se acompañan de una alteración del transporte de agua y electrólitos. En el colon irritable, por ejemplo, se ha demostrado secreción intestinal anormal de agua y electrólitos, cuyo mecanismo no se conoce todavía.

- Hay infecciones en las que existe una alteración de la permeabilidad de la mucosa, principalmente por enfermedades inflamatorias intestinales; sin embargo, el papel directo de esta alteración no parece ser importante como mecanismo de diarrea.

COMENTARIO FINAL

De gran importancia en la comprensión de la fisiología y fisiopatología del transporte hidrosalino intestinal son los estudios experimentales dirigidos a establecer mecanismos de regulación extracelular (por sustancias neurohumorales) e intracelular (por Ca^{2+} /calmodulina, proteína-quinasa C, diacil glicerol, AMP y GMP cíclicos y más recientemente por proteínas ligantes del nucleótido de la guanina). A este respecto, en nuestro laboratorio hemos iniciado estudios sobre el posible papel regulador que cumplirían los ácidos biliares en este proceso.

BIBLIOGRAFIA

1. Fordtran, J.S and Ingelfinger, F.J.: Absorption of water, electrolyte and sugars from the human gut. En: Handbook of physiology, section 6, Alimentary canal. Intestinal absorption, editado por C.F. Code, American Physiological Society, Washington, D.C 1968, Vol III. pp. 1457-1490.
2. Shultz, S.G.: Salt and water absorption by mammalian small intestine. En: Physiology of the gastrointestinal tract. Editado por Leonard R. Johnson. Raven Press, New York. 1981, pp 983-989
3. Powell, D.W.: Intestinal water and electrolyte transport. En: Physiology of the gastrointestinal tract. Editado por Leonard R. Johnson. Raven Press, New York. 1987, pp 1267- 1305.
- 4 Phillips, S.: Absorption and secretion by the colon. *Gastroenterology* 56:966-971, 1969.
5. Debongnie, J. and Phillips, S.: Capacity of the human colon to absorb fluid *Gastroenterology* 74:698-703, 1978
- 6 Devroede, G. and Phillips, S.: Conservation of sodium, chloride and water by the human colon *Gastroenterology* 56:101-109, 1969.

7. Levitan, R.; Fordtran, J.; Buffows, B and Ingelfinger, F.: Water and salt absorption in the human colon. *J. Clin. Invest.* 41:1754-1759, 1962.

8. Phillips, S. and Giller, J.: The contributions of the colon to electrolyte and water conservation in man. *J. Lab. Clin. Med.* 81:733-746, 1973.

9. Sellin, J.H. and De Soignie, R.: Ion transport in human colon in vitro. *Gastroenterology* 93:441-448, 1987.

Donowitz, M.: Small intestinal and colonic-linked sodium chloride absorption. New understanding and distribution and regulation. *Gastroenterology* 93:640-651, 1987.