

Procesamiento de nutrientes en el aparato digestivo

Teresa Herrera¹

¹Nutricionista Clínica especialista en trastornos de la alimentación. Diploma en especialización profesional en suplementos dietarios en el tratamiento de sobrepeso y obesidad. Jefe de la Oficina de Investigación y Desarrollo de Proyectos. Directora de la Radio IIDENUT, conductora del Programa Hablando de Nutrición. Co-autora del libro Fundamentos de la Nutriología Pediátrica.
Email: teresa.herrera@iidenut.com

Capacidades adquiridas: Al finalizar el artículo, los lectores podrán:

- a. Explicar los procesos básicos de digestión y absorción desarrollados en el intestino.
- b. Sustentar la importancia del aparato digestivo en el sostenimiento del estado

Palabras claves: *digestión, absorción, alimento, nutriente,*

Resumen. El aparato digestivo es un largo tubo con importantes glándulas asociadas. En él se producen diferentes procesos que se inician con la entrada de un alimento a la boca y terminan con la eliminación de desechos bajo la forma de heces. El desarrollo del aparato digestivo se inicia al final del periodo embrionario. Las deficiencias que todavía existen en el momento del nacimiento van desapareciendo debido a una progresiva maduración funcional. La masticación constituye el punto de partida del proceso digestivo y es importante porque las enzimas no pueden actuar sobre superficies muy amplias, por lo tanto, cuando el alimento es fragmentado la reducción de la superficie de cada trozo genera las condiciones necesarias para mejorar la acción enzimática. En el estómago se desarrolla un proceso complementario de licuefacción que tiene por objetivo reducir todavía más el área de los fragmentos de comida. El porcentaje de digestión en el estómago es relativamente baja y prácticamente no hay procesos de absorción importantes. Cabe resaltar el papel del estómago en la digestión de colágeno, una proteína de baja calidad nutricional que recubre a las carnes, que sin embargo, si no es digerida completamente, podría afectar la digestión de la proteína más interna. En el intestino delgado se completan todos los procesos de digestión y se lleva a cabo el 99% de la absorción de nutrientes. El principal sitio de absorción se encuentra en el yeyuno, aunque también hay procesos absorptivos a lo largo de todo el ileón, sobre todo de vitamina y minerales. El colon, el último segmento del tracto, básicamente reabsorbe agua y almacena las heces.

1. Generalidades

El aparato digestivo es un largo tubo con importantes glándulas asociadas. En él se producen diferentes procesos que se inician con la entrada de un alimento a la boca y terminan con la eliminación de desechos bajo la forma de heces. El punto cumbre de la digestión se alcanza cuando el alimento ingerido es degradado a sus componentes más elementales, llamados nutrientes, que

serán absorbidos a la sangre para luego ser transportados a diversas zonas del cuerpo para nutrir a cada una de las células del organismo (figura 1) (1). Desde la sangre, los nutrientes pasan al citoplasma de las células donde permanecen almacenados hasta que son requeridos para ser utilizados como fuente de energía en el ciclo de Krebs o como sustrato para la síntesis de moléculas funcionales o estructurales.

Diariamente, en el aparato digestivo se producen diversos tipos de secreciones tabla 1 (2). Estas pueden ser: enzimáticas, producidas frente a la presencia de alimento; mucosas, producidas constantemente con el objetivo de lubricar y proteger el tracto; acuosas, que son útiles para diluir los elementos del quimo y mejorar su absorción; y hormonales que ayudan a regular el funcionamiento del tracto (3). No obstante la gran cantidad de secreciones producidas, en condiciones normales en el tracto digestivo se reabsorbe más del 95% de todo lo secretado. Tal vez, uno de los aspectos más espectaculares en la fisiología del aparato digestivo sea su capacidad absorptiva, puesto que en términos de superficie su área se puede incrementar hasta en 25 veces.

El desarrollo del aparato digestivo se inicia al final del periodo embrionario. Las deficiencias que todavía existen en el momento del nacimiento van desapareciendo debido a una progresiva maduración funcional. En los niños prematuros, por ejemplo, la presión del esfínter esofágico inferior está disminuida, lo mismo que el vaciamiento gástrico y el tránsito gastrointestinal en general; existe una actividad disminuida de amilasa y lactasa, sin embargo, la malabsorción de carbohidratos no es un problema severo; y la baja concentración intraluminal de ácidos biliares y la baja actividad de la lipasa páncreática parecen estar compensadas por el aumento de la actividad de la lipasa gástrica y lingual.

Secreción	pH
Saliva	6.0 –7.0
Secreción gástrica	1.0 –3.5
Secreción pancreática	8.0 –8.3
Bilis	7.8
Secreción del intestino delgado	7.5 –8.0
Secreción de glándulas de Brunner	8.0 –8.9
Secreción del intestino grueso	7.5 –8.0
TOTAL	

Tabla 1. Secreción diaria de jugos intestinales
 Fuente: Guyton Guyton A. Tratado de Fisiología Médica. Funciones secretoras del aparato digestivo. 8ª Edición. México: Interamericana Mc Graw-Hill (2)

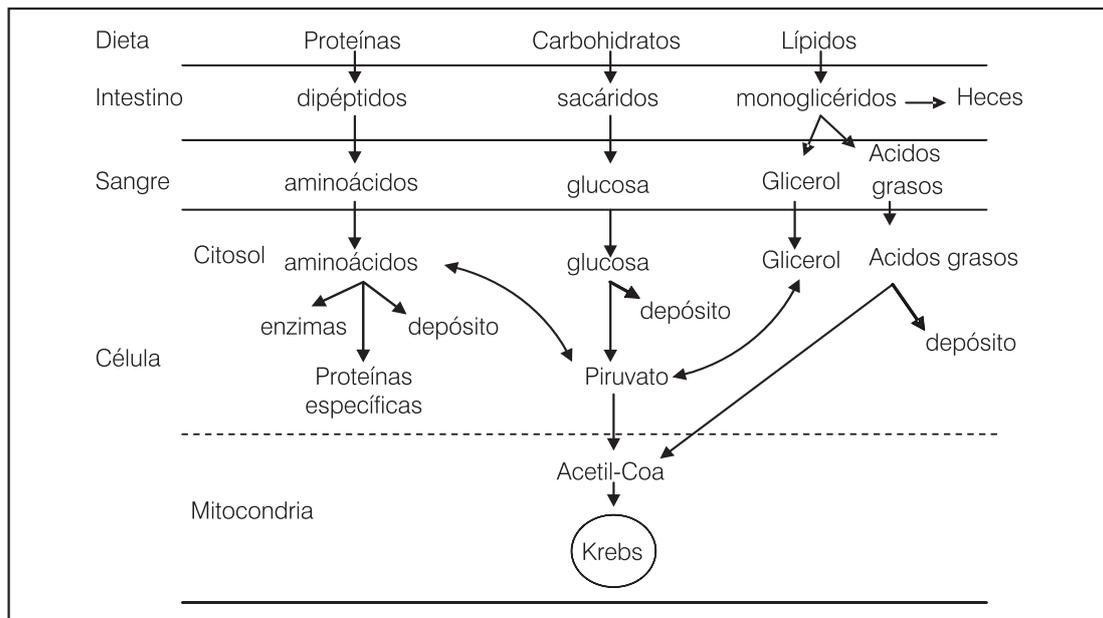


Figura 1. Destino de los nutrientes en el organismo
 Fuente: Goncalves, L. Metabolismo orgánico: Passos intermediaários entre o Alimento e a Célula. En Linetzky (1)

2. Cavidad oral

En la cavidad oral, los alimentos son sometidos a dos tipos de procesos: i) mecánicos - los dientes y la lengua se encargan de triturar y mezclar; y ii) enzimáticos –las enzimas digestivas producidas por las glándulas anexas se encargan de iniciar el proceso de digestión, actuando principalmente sobre los carbohidratos. El alimento fragmentado y parcialmente digerido pasa al esófago por un proceso rápido denominado deglución.

2.1 La masticación en la cavidad oral

Desde el punto vista nutricional, la masticación es importante por varias razones, entre ellas una de las más importantes está asociada con el hecho que las enzimas no pueden actuar sobre superficies muy amplias, por lo tanto, cuando el alimento es fragmentado la reducción de la superficie de cada trozo genera las condiciones necesarias para mejorar la acción enzimática. Debe recordarse que un alimento mal masticado será un alimento mal digerido. La función de masticación es particularmente importante cuando hablamos de granos, puesto que la ruptura de sus celdas de celulosa (cáscara) permite la liberación del almidón (4)

La fuerza de la masticación aumenta con la edad. Los movimientos de masticar se inician recién a los 5 meses y la masticación verdadera aparece a los 7-9 meses. La eficiencia masticatoria a los 6 años es un 40% de la del adulto. Esta información es vital para entender porque se debe tener tanto cuidado en la consistencia y la cantidad de alimentos ofrecidos al niño, puesto que un alimento difícil de masticar o muy grande no será consumido (5).

El colágeno es una proteína indispensable para la formación de huesos (dientes), piel y tendones; la vitamina C desempeña un papel crucial en su formación. Se requieren tres dioxigenasas para sintetizar colágeno: prolil-4-hidroxilasa, prolil-3-hidroxilasa y lisil-hidroxilasa. La hidroxilación de los residuos de prolina y lisina de la cadena naciente de colágeno constituye un fenómeno postraducciona que permite la formación de

los enlaces intermoleculares cruzados indispensables para crear la triple estructura helicoidal características del colágeno. Sin vitamina C este proceso no se da y el colágeno no se forma (6).

2.2. Secreciones en la cavidad oral

Las glándulas salivales presentan dos tipos de secreción, una serosa (ptialina) y una mucosa (mucina), que son enzimática y lubricante, respectivamente. Ambas secreciones integran la saliva, cuya producción diaria promedio varía entre 500 – 1500 ml (7). El flujo de saliva ayuda a lavar y a arrastrar los gérmenes patógenos y las partículas de alimentos acumuladas en la boca. La saliva contiene factores antibacterianos (iones tiocianato) y enzimas proteolíticas (lisozimas). La saliva suele contener cantidades significativas de anticuerpos que destruyen las bacterias bucales.

2.3 Proceso digestivo en la cavidad oral

- i) **Digestión de proteínas.** En la cavidad oral no existe digestión de proteínas.
- ii) **Digestión de lípidos.** La digestión de lípidos se inicia en la boca por la acción de la lipasa lingual, lo cual representa menos del 10% de todos los lípidos digeridos (8). En los prematuros la actividad de la lipasa lingual es considerablemente mayor que en los niños y adultos, en cuyo caso, es prácticamente inexistente (9)
- iii) **Digestión de carbohidratos.** En la cavidad oral, se hidroliza entre el 3 y 5% de los carbohidratos ingeridos en la dieta.

3. Esófago

El esófago es un tubo muscular donde se producen movimientos peristálticos intensos (primarios y secundarios) que sirven para impulsar el alimento hacia el estómago. Los movimientos peristálticos primarios son de origen faríngeo y tardan de 8-10 segundos de ir desde la faringe hasta el estómago. En una persona sentada, la acción de la gravedad hace que el alimento llegue al estómago (5-8 s) antes que la onda primaria. Las ondas

secundarias, de origen esofágico, se producen para impulsar los residuos de alimento que la onda primaria no pudo llevar al estómago.

En la parte distal del esófago se encuentra el Esfínter esofágico inferior que es un segmento de alta presión que separa el contenido esofágico del estomacal. A medida que el alimento progresa en el esófago este esfínter se relaja para permitir el paso del alimento hacia el estómago. La composición de las comidas puede influir sobre la presión del esfínter. Las comidas ricas en proteínas la aumentan, mientras que aquellas ricas en grasas y los chocolates, la disminuye (10).

3.1 Secreciones a nivel esofágico

Son básicamente de tipo mucoide y sirven, sobre todo, para lubricar el conducto y evitar que los alimentos lesionen la mucosa. Esta secreción no tiene la densidad ni la cantidad de la secreción mucosa producida en el duodeno para bloquear la acción del ácido procedente del estómago, por lo tanto, cualquier evento en el cual, grandes cantidades de ácido gástrico alcancen el tercio inferior del esófago pueden generar serias alteraciones en la estructura del órgano.

3.2 Proceso digestivo a nivel esofágico

A nivel esofágico, no se da proceso digestivo alguno.

4. Estómago

Es la mayor distensión del tubo digestivo. Realiza tres funciones: almacenar el alimento, mezclarlo con las enzimas digestivas y liberarlo lentamente al intestino. La capacidad gástrica del estómago, al igual que otros valores fisiológicos, se incrementa con la edad. En el recién nacido es de alrededor de 10-20 ml y crece hasta alcanzar alrededor de unos 300 ml al final del primer año. Se puede considerar como referencia 30 ml por kilo de peso o una onza por kilo.

4.1 Vaciamiento gástrico

El tipo de alimento puede influenciar el vaciamiento gástrico; a mayor osmolaridad y/o

densidad calórica, el vaciamiento será más lento, mientras que cuando se usa líquidos el vaciamiento será más rápido. El vaciamiento está regulado por señales que proceden tanto del estómago como del intestino y que afectan directamente la intensidad de la bomba pilórica (contracciones intensas del antro estomacal) y la presión del esfínter pilórico. A nivel estomacal, la distensión del estómago por el propio alimento y la secreción de gastrina (en presencia de proteínas) aumentan la potencia de la bomba pilórica e inhiben el esfínter pilórico (dilatan), con lo cual se estimula el vaciamiento gástrico. A nivel duodenal, el aumento del volumen de quimo, la caída del pH (<3.5), el aumento de la osmolaridad o la presencia de grasas, inhiben el vaciamiento gástrico a través de mecanismos nerviosos y hormonales.

4.2 Secreciones

Además de las células mucosas normales que revisten toda la superficie del aparato digestivo, en el estómago existen dos tipos de glándulas: oxínticas y pilóricas. Las glándulas oxínticas, ocupan el 80% de la superficie estomacal y están formadas por tres tipos de células: a) mucosas del cuello, encargadas de producir moco; b) las principales encargadas de producir pepsinógeno; y c) las parietales encargadas de producir factor intrínseco e hidrogeniones (H⁺) que combinados con el Cloruro (Cl⁻) forman ácido clorhídrico. Las glándulas pilóricas se encuentran en la zona antral y se encargan de producir moco para proteger la mucosa pilórica y la hormona gastrina que regula la producción de ácido.

La secreción de ácido clorhídrico es el estómago se produce cerca del nacimiento, tanto en los niños de término como en los prematuros, alcanzando su capacidad máxima al final del primer mes. Las alteraciones en los valores normales de HCl tanto en exceso como en defecto pueden influenciar negativamente la utilización de micronutrientes como: la Vitamina B12, hierro, ácido fólico, magnesio, calcio o zinc.

4.3 Proceso digestivo

i) **Digestión de proteínas.** En el estómago se digiere del 10% al 20% de las proteínas

ingeridas. No obstante este valor relativamente bajo, la digestión de proteínas a nivel gástrico es importante por la acción de la pepsina sobre el colágeno. Este albuminoide recubre fuertemente las carnes y si no fuese digerido en el estómago dificultaría considerablemente la digestión de las proteínas internas de la carne, de hecho, las personas con deficiencia de proteínas, tienen una digestión deficitaria de las carnes.

- ii) **Digestión de lípidos.** A excepción de los prematuros, donde la digestión de lípidos a nivel gástrico adquiere cierta importancia, en los niños mayores es poco significativa, llegando a representar no más del 25% del total ingerido.
- iii) **Digestión de carbohidratos.** Se inicia en la cavidad oral por acción de la alfa-amilasa (ptialina) presente en la saliva. Esta actúa hasta que el alimento llega al estómago, donde es inactivada por el pH ácido. En la boca, se hidroliza entre el 3 y 5% de los carbohidratos ingeridos en la dieta, sin embargo, para cuando el ácido del estómago logra desnaturalizar la ptialina, ya se ha digerido aproximadamente el 40% de los carbohidratos ingeridos.

5. Intestino delgado

La exposición a las bacterias durante el nacimiento y a partir de la piel de la madre y la provisión de factores inmunológicos en la leche humana son el evento clave para promover la maduración del intestino del niño y el sistema inmune asociado con ese intestino. La introducción de fórmulas y alimentos sólidos expone al niño a una gran cantidad de bacterias que pueden afectar su flora intestinal. La alimentación puede incluir antígenos que hagan su sistema inmune tolerante o pueden incluir antígenos que en cambio puedan afectar su maduración y respuesta inmune. A través de estos mecanismos es posible que la nutrición temprana pueda afectar su competencia para modular una respuesta inmune apropiada (11). En este sentido, las incompatibilidades alimentarias, sobre la base de un desorden inmunológico (alergia), afectan aproximadamente al 20% de la población

occidental. Lamentablemente, afecta más a los niños que a los adultos (25% vs 10%, respectivamente) y solo genera síntomas gastrointestinales serios en un tercio de los casos. Es importante, por lo tanto, considerar la manera en la cual se introducen los alimentos durante la alimentación complementaria y poder diferenciar a tiempo una incompatibilidad alimentaria con base inmunológica (alergia), de una sin base inmunológica producida a menudo por una deficiencia específica de enzimas (intolerancia) (12).

5.1 Proceso digestivo

Las características citológicas del intestino delgado con sus microvellosidades y las enzimas del ribete, se diferencian hacia el final del segundo trimestre de gestación. La digestión de grasas, proteínas, y almidones en el lactante depende en gran medida de las enzimas pancreáticas, existiendo notable variación del momento en que éstas aparecen en la luz intestinal. Existen algunas evidencias de que hasta los 6 meses de edad la amilasa pancreática es insuficiente por lo que dar almidón antes de esa edad puede provocar diarrea.

La lipasa pancreática es escasa al nacer. Su nivel se duplica al mes pero permanece baja durante el primer año de vida. Esto sumado al hecho que en los recién nacidos las concentraciones intraluminales de ácidos biliares están por debajo del nivel suficiente para emulsificar grasas condiciona algún nivel de malabsorción de grasa en los lactantes; para cuando se recomienda iniciar la alimentación complementaria, las lipasas y la secreción de sales biliares han alcanzado su nivel adecuado.

Los niveles de tripsina y quimiotripsina al nacer son sólo ligeramente inferiores a los niveles del año de edad, por lo que la digestión de proteínas no presenta dificultades. La maduración de la función pancreática es un proceso predeterminado pero también influenciado por la edad, el estado nutricional y factores hormonales.

- i) **Digestión de proteínas.** El 75% de la proteína ingerida se digiere en el duodeno y

yeyuno, en dos momentos:

- **Digestión de proteínas por acción de las enzimas pancreáticas.** Las enzimas proteolíticas principales incluyen a la tripsina, la quimiotripsina, la carboxipeptidasa y la proelastasa. Tanto la tripsina como la quimiotripsina separan las proteínas hasta pequeños polipéptidos, mientras que la carboxipeptidasa ataca el extremo carboxilo de los polipéptidos para liberar aminoácidos. La proelastasa se convierte en elastasa y a su vez digiere la elastina de las carnes. En conjunto, estas enzimas solo degradan un pequeño porcentaje de proteínas hasta aminoácidos; la mayor parte permanece como dipéptidos y tripéptidos que serán digeridos por las enzimas peptidasas del borde de cepillo.
 - **Digestión de péptidos por las enzimas del borde cepillo.** En el borde de cepillo existen dos tipos de peptidasas de importancia: la aminopolipeptidasa y varias dipeptidasas, que tienen como producto final tripéptidos, dipéptidos y algunos aminoácidos. Estos productos ingresan al citosol de las células donde otras peptidasas terminan de degradar todo hasta aminoácidos que son los que finalmente alcanzan la sangre.
- ii) **Digestión de lípidos.** En el intestino se digiere aproximadamente el 75% de los lípidos ingeridos, en dos tiempo:
- **Emulsión de las grasas.** Consiste en la reducción del tamaño de los glóbulos de grasa por acción de las sales biliares con el objetivo de incrementar la superficie total sobre la cual actuarán las lipasas provenientes del páncreas. La lipasa pancreática es enzima más importante en la digestión de triglicéridos. Está presente en grandes cantidades en el jugo pancreático de modo que en un minuto puede digerir todos los triglicéridos que encuentre, sin haber necesidad de que actúe la lipasa intestinal. Los productos finales de este proceso son ácidos grasos libres 2-monoglicéridos.

iii) **Digestión de carbohidratos.** Se produce en dos tiempos (figura 3):

- **Acción de la amilasa pancreática.** Esta enzima es varias veces más potente que la salival. Así, entre 15 y 30 minutos después del vaciamiento del quimo desde el estómago al duodeno y de su mezcla con el jugo pancreático, casi la totalidad de los hidratos de carbono se han digerido ya. El producto de este proceso digestivo son maltosa y otros polímeros de glucosa muy pequeños.
- **Acción de las enzimas del borde de cepillo.** Las enzimas presentes son la sacarasa, la lactasa, la maltasa, y la isomaltasa (dextrina alfa) que descomponen a la sacarosa, lactosa, maltosa, e isomaltosa.

5.3 Proceso de absorción

- i) Absorción de proteínas. Casi todas las proteínas se absorben bajo la forma de dipéptidos, tripéptidos y algunos aminoácidos libres. La energía para la mayor parte de este transporte proviene del mecanismo de cotransporte con el sodio, a igual que sucede con la glucosa. Así pues, casi todas las moléculas de péptidos o de aminoácidos se unen en la membrana de la microvellosidad celular con una proteína de transporte específica que requiere también su unión a sodio para el transporte.
- ii) Absorción de grasas. A medida que las grasas se digieren a monoglicéridos y ácidos grasos, estos dos productos se disuelven en la porción lipídica central de las micelas biliares. Estas micelas actúan como transbordadores extraordinariamente eficientes hacia el interior del enterocito. Cuando existen micelas de sales biliares abundantes, la proporción de grasa absorbida alcanza hasta el 97%, mientras que en ausencia de estas micelas sólo se absorbe entre el 40% y el 50%.

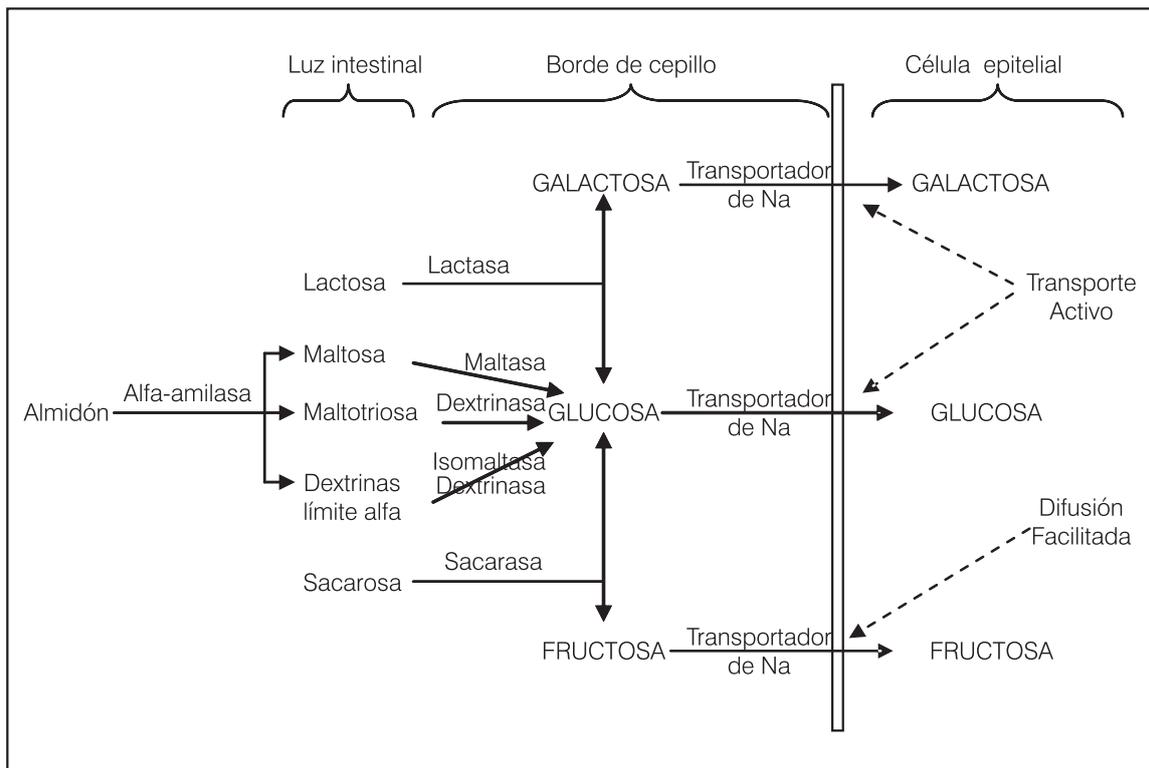


Figura 2. Digestión y absorción de carbohidratos.

iii) **Absorción de carbohidratos.** La mayoría de los carbohidratos se absorben como monosacáridos, siendo el más abundante la glucosa. Esta representa más del 80% de las calorías procedentes de hidratos de carbono. El 20% restante lo integran la galactosa y la fructuosa. La absorción de glucosa se produce mediante un mecanismo de cotransporte con el transporte activo de sodio.

6. Intestino Grueso

Es el último segmento intestinal y desemboca en el ano. Se encarga de la absorción de agua y electrolitos y del almacenamiento de la materia fecal. A este nivel el peristaltismo es bastante lento y mantiene las mismas características de propulsión y mezclado presentes en los otros segmentos del aparato digestivo.

6.1 Secreciones

En este segmento se produce principalmente un moco denso y alcalino (pH 8.0) cuyo objetivo es evitar excoriaciones de la mucosa por el contacto con la masa fecal. También se puede secretar agua, cuando algún segmento está irritado. En estos casos, la secreción y pérdida de agua, estimulará la pérdida de electrolitos.

6.2 Proceso digestivo

El intestino grueso no cuenta con vellosidades. Aquí no se desarrollan procesos de degradación de nutrientes. Sin embargo, se sabe que el colonocito puede metabolizar la pectina y transformarla en butirato útil como fuente de energía.

Referencias bibliográficas

1. Goncalves, L. Metabolismo orgánico: Passos intermediaários entre o Alimento e a Célula. En Linetzky D: Nutrição Enteral e Parenteral na pratica clinica. 1ª Edición. Sao Paulo: Livraria Atheneu Editora.
2. Guyton A. Tratado de Fisiología Médica. Funciones secretoras del aparato digestivo. 8ª Edición. México: Interamericana Mc Graw-Hill
3. Beyer P. Digestión, absorción, transporte y excreción de nutrimentos. En Mahan K, Scott-Stump S: Nutrición y dietoterapia de Krause. 10ª Edición. México: Interamericana Mc Graw-Hill
4. Guyton A. Tratado de Fisiología Médica. Propulsión y mezcla de los alimentos en el tubo digestivo. 8ª Edición. México: Interamericana Mc Graw-Hill
5. Sociedad Argentina de Pediatría. Comité de Nutrición. Guía de alimentación para niños de 0 a 2 años. 1ª edición. Buenos Aires. 2001.
6. Johnston C. La Vitamina C. En Bowman B, Russel R : Conocimientos Actuales sobre Nutrición. 8ª Edición. Washington: OPS-ILSI.
7. Alegre F, Conchillo M. Examen de Saliva. En: Prieto J: Alfonso Balcells La clínica y el Laboratorio. 20ª Edición. Barcelona: Elsevier Masson.
8. Guyton A. Tratado de Fisiología Médica. Digestión y absorción en el tubo digestivo. 8ª Edición. México: Interamericana Mc Graw-Hill
9. Samper MP, Ventura MP, Gallego JA, Pérez-González JM. Nutrición del recién nacido de muy bajo peso. En Bueno M, Sarria A, Pérez-González JM. (ed). Nutrición en Pediatría. Tomo I. 3ª edición. Madrid: Monsa-Ergon. 2007
10. Owyang Ch. Motility of the Gastrointestinal Tract. En Kelley W: Text book of Internal Medicine. 2ª Edición. Philadelphia: JB. Lippincott Company.
11. Calder PC, Krauss-Etschmann S, de Jong EC, Dupont C, Frick JS, Frokiaer H, Heinrich J, et al. Early nutrition and immunity - progress and perspectives. Br J Nutr. 2006 Oct;96(4):774-90.
12. Bischoff SC. Food allergies. Curr Gastroenterol Rep. 2006 Oct;8(5):374-82.