CAPÍTULO 65

Digestión y absorción en el tubo digestivo

La mucosa gastrointestinal en general no puede absorber carbohidratos, proteínas y grasas en su forma natural por lo que sin la digestión preliminar, no servirían como elementos nutritivos.

# Digestión de los alimentos mediante hidrólisis

El proceso básico de hidrólisis es el mismo para los carbohidratos, proteínas y grasas. La única diferencia son las enzimas que se requieren para las reacciones hidrolíticas de cada tipo de alimentos.

## Carbohidratos

Casi todos los carbohidratos de los alimentos son grandes polisacáridos o disacáridos formados por combinaciones de monosacáridos, unidos entre sí por condensación (significa que se elimina un ión H de un monosacárido y un ion OH del monosacárido siguiente.

La hidrólisis de carbohidratos consiste en que las enzimas del jugo gástrico devuelven iones H e OH del agua a los polisacáridos.

La alimentación tiene 3 fuentes principales

* Sacarosa
* Lactosa
* Almidones

Otros carbohidratos ingeridos en pequeñas cantidades:

* Amilosa
* Glucógeno
* Alcohol
* Ácido láctico
* Ácido pirúvico
* Pectinas
* Dextrinas
* Carbohidratos contenidos en carnes

CELULOSA NO SE PUEDE HIDROLIZAR, CUERPO HUMANO NO SECRETA NINGUNA ENZIMA CAPAZ DE ELLO.

Digestión de los carbohidratos

Al masticar los alimentos se mezclan con ptialina de la saliva (secretada mayormente por glándula parótida ya que es la secreción serosa). Esta enzima hidroliza el almidón y lo convierte en maltosa y pequeños polímeros de glucosa. Al momento de ser deglutidos los alimentos sólo aprox. 5% de los almidones ingeridos han sido hidrolizados.

En el fondo y cuerpo gástricos se continúa la digestión de almidón. Cuando los alimentos se mezclan con las secreciones gástricas se bloquea la actividad de la amilasa salival debido al ácido de las secreciones gástricas. Sin embargo antes de que los alimentos y la saliva se mezclen por completo con secreciones gástricas entre 30 y 40% del almidón se encuentra hidrolizado, más que todo a maltosa.

15 a 30 min después del vaciamiento del quimo desde el estómago al duodeno y de su mezla con el jugo pancreático casi la totalidad de los carbohidratos se ha digerido, esto debido a la secreción de α-amilasa en la secreción pancreática.

En los enterocitos que revisten el borde en cepillo de las vellosidades intestinales hay lactasa, sacarasa, maltasa y α-dextrinasa, de forma que los disacáridos se digieren al entrar en contacto con dichas enzimas.

LOS PRODUCTOS FINALES DE LA DIGESTIÓN DE LOS CARBOHIDRATOS SON TODOS MONOSACÁRIDOS HIDROSOLUBLES QUE SE ABSORBEN DE INMEDIATO Y PASAN A LA SANGRE PORTAL.

Glucosa🡪representa más de 80% de producto final de la digestión de carbohidratos.

Absorción y transporte de los monosacáridos

MONOSACÁRIDOS SON ABSORBIDOS MEDIANTE TRANSPORTE ACTIVO SECUNDARIO, ya que necesitan COTRANSPORTE CON EL SODIO.

El transporte de Na a través de la membran intestinal se divide en dos etapas. Primero el transporte activo de Na provoca descenso de la concentración intracelular de Na. En segundo la reducción de Na intracelular induce el paso de Na desde la luz intestinal al interior de la célula epitelial a través del borde en cepillo, mediante transporte activo secundario.

El Na se combina con una proteína de transporte, pero esta no puede llevar a cabo su función si no se combina con alguna otra sustancia adecuada, como la glucosa.

El transporte activo inicial de Na a través de las membranas basolaterales de las células del epitelio intestinal es el que proporciona la fuerza para el desplazamiento de la glucosa a través de las membranas.

El transporte de galactosa es casi idéntico que el de la glucosa.

El transporte de FRUCTOSA NO ESTÁ SOMETIDO A MECANISMO DE COTRANSPORTE CON SODIO, ya que este monosacárido se absorbe por difusión facilitada en toda la longitud del epitelio intestinal.

Grasas

Casi todas las grasas de la dieta son TAG. La hidrólisis de las grasas consiste en la devolución de 3 moléculas de agua a los triglicéridos (TAG).

Los TAG son grasas neutras, estas grasas son componentes importantes de los alimentos de origen animal y en menor medida de los de origen vegetal.

En la alimentación habitual también se incluyen pequeñas cantidades de fosfolípidos, colesterol y ésteres de colesterol.

Digestión de las grasas

Lipasa lingual🡪digiere cantidad pequeña de TAG en el estómago, inferior al 10%

LA DIGESTIÓN DE TODAS LAS GRASAS TIENE LUGAR ESENCIALMENTE EN EL INTESTINO DELGADO.

El primer paso para la digestión de grasas es la emulsión de la grasa, que consiste en reducir el tamaño de sus glóbulos con el fin de que las enzimas digestivas hidrosolubles puedan actuar sobre su superficie.

La emulsión tiene lugar sobre todo en el duodeno gracias a la acción de la bilis, que alberga grandes cantidades de sales biliares y lecitina.

Tanto las sales biliares como la lecitina tienen porciones liposolubles y polares. Las liposolubles se disuelven en la capa superficial de los glóbulos grasos, en las que se proyectan las porciones polares. Las porciones polares son solubles en los líquidos acuosos adyacentes, lo que reduce en gran medida la tensión en la superficie de contacto con la grasa, haciéndola soluble.

Una función importante de las sales biliares y de la lecitina en la bilis, consiste en hacer que los glóbulos grasos se fragmenten con facilidad con la agitación del agua en el intestino delgado

Las lipasas son sustancias hidrosolubles que sólo pueden atacar a los glóbulos de grasa en sus superficies. Entre ellas se puede mencionar a la lipasa pancreática, que es la enzima más importante para la digestión de TAG, y la lipasa intestinal, que se encuentra en los enterocitos del intestino delgado.

LA MAYOR PARTE DE TAG SON DEGRADADOS POR LA LIPASA PANCREÁTICA A ÁCIDOS GRASOS LIBRES Y 2-MONOGLICÉRIDOS.

Las sales biliares separan los monoglicéridos y los ácidos grasos libres de la vecindad de los glóbulos de grasa que están siendo digeridos.

Las sales biliares cuando se encuentran en concentración suficiente en agua, tienden a formar micelas, debido a que cada molécula de sal biliar se compone de un núcleo de esterol, muy liposoluble en su mayor parte y un grupo polar muy hidrosoluble.

Las micelas de sales biliares también actúan como medio de transporte de los monoglicéridos y de los ácidos grasos libres, que de otra forma permanecerían relativamente insolubles, al borde en cepillo de las células epiteliales intestinales.

Tanto los ésteres de colesterol como los fosfolípidos se hidrolizan por la hidrolasa de los ésteres de colesterol y la fosfolipasa A2, respectivamente.

Sin las micelas apenas se podría absorber el colesterol.

Absorción de grasas

Las micelas realizan una función transbordadora importante para la absorción de las grasas. Cuando existen micelas abundantes, la proporción de grasa absorbida alcanza el 97%

Tras penetrar en la célula epitelial, los ácidos grasos y monoglicéridos son captados por el REL de la célula, donde se usan para formar nuevos RAG, que viajan con los quilomicrones a través de la base da la célula epitelial para desembocar en el torrente circulatorio a través del conducto linfático torácico.

Pequeñas cantidades de AG de cadena corta y media se absorben directamente a la sangre portal. La diferencia en la absorción de los AG de cadenas cortas radica en que son más hidrosolubles y en su mayor parte no son convertidos en TAG por el RE.

Proteínas

Las proteínas están formadas por múltiples aminoácidos que se unen entre sí por enlaces peptídicos.

La hidrólisis de éstas consiste en que enzimas proteolíticas devuelven iones H e OH de las moléculas de agua a las proteínas para separarlas en los aminoácidos constituyentes.

Las características de cada tipo de proteína dependen de los aminoácidos que forman la molécula y de la disposición secuencial de estos aminoácidos.

Digestión de las proteínas

Pepsina es una enzima péptica importante del estómago, ésta alcanza mayor actividad a pH de 2 a 3.

El colágeno puede digerirse por la pepsina. Además esta enzima sólo inicia la digestión de las proteínas y contribuye con el 10 a 20% del proceso total de conversión de las proteínas en proteosas, peptonas y algunos polipéptidos.

La mayor parte de la digestión proteica tiene lugar en la parte proximal del intestino delgado, por efecto de la enzimas proteolíticas de la secreción pancreática( tripsina, quimiotripsina, carboxipolipeptidasa y proelastasa).

Tripsina y quimiotripsina 🡪 separan moléculas proteicas en pequeños polipéptidos.

Carboxipolipeptidasa🡪libera los aminoácidos de uno en uno.

Proelastasa🡪se convierte en elastasa, que digiere fibras de elastina que mantienen la arquitectura de las carnes.

Sin embargo las enzimas de los jugos pancreáticos sólo degradan un pequeño porcentaje de las proteínas hasta sus aminoácidos constituyentes, la mayor parte permanece como dipéptidos y tripéptidos.

El paso final de la digestión de las proteínas en la luz intestinal es tarea de los enterocitos que revisten las vellosidades del intestino delgado. Esto es debido a que el borde en cepillo de los enterocitos posee múltiples peptidasas, como aminopolopeptidasa y dipeptidasas.

Los aminoácidos, dipéptidos y tripéptidos se transportan con facilidad a través de la membrana de la microvellosidad hacia el interior del enterocito. Por último en el citosolo de los enterocitos existen otras muchas peptidasas específicas de los restantes tipos de enlaces existentes entre los aminoácidos.

Más del 99% de los productos finales de la digestión de las proteínas absorbidas son aminoácidos.

Absorción de proteínas como dipéptidos, tripéptidos o aminoácidos

Casi todas las proteínas se absorben a través de las membranas luminales de las células epiteliales intestinales en forma de dipéptidos, tripéptidos y algunos aminoácidos libres. La energía para la mayor parte de este transporte proviene del mecanismo de cotransporte de sodio.

LOS PÉPTIDOS O AMINOÁCIDOS SE TRANSPORTAN POR MEDIO DE TRANSPORTE ACTIVO SECUNDARIO, MEDIANTE COTRANSPORTE CON SODIO. Por ello deben unirse a una proteína de transporte específica en la membrana de la microvellosidad, dicha proteína requiere también de la unión de sodio para llevar a cabo el tranporte.

Pocos aminoácidos son transportados por difusión facilitada.

## Principios básicos de la absorción gastrointestinal

La cantidad total de líquido que se absorbe cada día en el intestino es igual a la del líquido ingerido más el contenido en las distintas secreciones gastrointestinales, lo que representa un total de 8 a 9 L.

Sólo 1.5 L diarios atraviesan la válvula ileocecal en dirección al colon, la demás cantidad de líquido se absorbe en el intestino delgado.

En el estómago la absorción es escasa, sólo algunas sustancias muy liposolubles como el alcohol y ciertos fármacos, como el ácido acetilsalicílico, se absorben en pequeñas cantidades.

En el intestino delgado la superficie de absorción de la mucosa aumenta casi mil veces, debido a la combinación de pliegues de Kerckring, vellosidades y microvellosidades.

Los pliegues de Kerckring o válvulas conniventes triplican la superficie capacitada para la absorción. Están especialmente bien desarrollados en el duodeno y el yeyuno.

Las vellosidades en la superficie de la mucosa, que están presentes en toda la superficie del intestino delgado hasta la válvula ileocecal, aumentan 10 veces el área de absorción.

Microvellosidades aumentan la superficie expuesta a la materia intestinal al menos otras 20 veces.

Absorción en el intestino delgado

El intestino delgado absorbe cada día:

* Varios cientos de carbohidratos
* 100 g de grasa o más
* 50 a 100 g de aminoácidos
* 50 a 100 g de iones
* 7 a 8 L de agua.

El intestino grueso absorbe más agua e iones, pero muy pocos nutrientes.

Absorción de agua por ósmosis

El AGUA se transporta en su totalidad a través de la membrana intestinal por DIFUSIÓN.

Cuando el quimo está lo bastante diluido el paso del agua a través de la mucosa intestinal hacia los vasos sanguíneos de las vellosidades ocurre casi totalmente por ÓSMOSIS.

Cuando la solución que alcanza el duodeno es hiperosmótica, el agua puede dirigirse desde el plasma al quimo. Dicha transferencia de agua también se realiza por ósmosis y permite que el quimo sea isoosmótico con el plasma.

Absorción de iones

Absorción de sodio

Cada día se secretan con las secreciones intestinales entre 20 y 30 g de Na, por ello el intestino delgado debe absorber de 25 a 35 g de Na diarios.

Cuando se eliminan muchas secreciones intestinales, como sucede en la diarrea intensa, las reservas de Na disminuyen a veces hasta niveles mortales en el plazo de horas.

El Na es importante para la absorción de azúcares y aminoácidos ya que permite llevar a cabo el proceso de cotransporte a través de la membrana.

EL SODIO SE TRANSPORTA PRINCIPALMENTE POR TRANSPORTE ACTIVO, DESDE EL INTERIOR DE LAS CÉLULAS EPITELIALES A TRAVÉS DE SUS PAREDES BASAL Y LATERALES, HASTA LOS ESPCIOS PARACELULARES.

Como se sabe el transporte activo necesita la energía del ATP y como parte de la absorción de Na se da al mismo tiempo absorción de iones cloro.

Como la concentración de Na en el quimo suele ser 142 mEq/L, este ión se mueve a favor de gradiente electroquímico desde el quimo hacia el citoplasma de las células epiteliales, pasando a través del borde en cepillo.

El sodio se cotransporta a través del borde en cepilo mediante varias proteínas transportadoras específicas como:

* Cotransportador de sodio-glucosa
* Cotransportadores de aminoácido sódico
* Intercambiador de sodio-hidrógeno.

Debido a la elevada concentración de iones en el espacio paracelular se crea un gradiente osmótico y se lleva a cabo ósmosis para movilizar agua hacia las vías transcelulares y paracelulares.

Aldosterona

Cuando una persona se deshidrata, la corteza de las glándulas suprarrenales suele secretar grandes cantidades de aldosterona.

El incremento de la absorción de sodio conlleva un aumento secundario de la absorción de iones cloro, agua y otras sustancias.

Este efecto de la aldosterona reviste especial importancia en el colon ya que, gracias a él, la pérdida de cloruro sódico por las heces resulta practicamete nula y la de agua disminuye mucho.

Absorción de cloro

En las primeras porciones del intestino delgado, la absorción de iones cloro es rápida y sucede, sobre todo, por difusión. Ya que la absorción de iones sodio a través del epitelio crea una ligera carga eléctrica negativa en el quimo y una carga positiva en los espacios paracelulares situados entre las células epiteliales.

El cloruro es absorbido a través de la membran del borde en cepillo de partes del íleon y el intestino grueso por un intercambiador de cloruro-bicarbonato de la membrana del borde en cepillo.

En las primeras porciones del intestino delgado han de reabsorberse grandes cantidades de iones bicarbonato.

Cuando se absorben iones sodio, se secretan hacia la luz intestinal cantidades moderadas de iones hidrógeno. A su vez, estos iones hidrógeno se combinan con el bicarbonato para formar ácido carbónico que se disocia de inmediato en agua y anhídrido carbónico. El agua permanece para formar parte del quimo en el intestino, pero el anhídrido carbónico pasa con facilidad a la sangre para ser eliminado después por los pulmones. Este proceso se denomina absorción de iones bicarbonato.

Na🡪se absorbe en intestino delgado y depende de transporte activo.

Cl🡪se absorbe en primeras porciones del intestino delgado, depende de la difusión.

Bicarbonato🡪se absorbe en primeras porciones del intestino delgado. Depende de mecanismo indirecto de transporte, el cual es asociado a la absorción de Na.

Las células epiteliales de la superficie de las vellosidades del íleon tienen capacidad especial para secretar iones bicarbonato e intercambiarlos por iones cloro, que son así absorbidos.

Diarrea

En la profundidad de los espacios entre los pliegues del epitelio intestinal existen células epiteliales inmaduras que se dividen continuamente. Mientras esas células permanecen en las criptas, secretan pequeñas cantidades de cloruro sódico y agua hacia la luz intestinal, aunque esta secreción se reabsorbe de inmediato por las células epiteliales más maduras situadas fuera de las criptas, se aporta así una solución acuosa que facilita la absorción intestinal de los productos ya digeridos.

Toxinas del cólera y otras bacterias causantes de diarrea estimulan la secreción de las células de las criptas epiteliales con tal intensidad que esta, excede a la capacidad de reabsorción.

La secreción diarreica extrema se inicia con la entrada de una subunidad de la toxina del cólera en la célula. Esta sustancia estimula la formación de una cantidad excesiva de monofosfato de adenosina cíclico, que abre un número enorme de canales de cloruro y permite la rápida salida de iones cloro de las células hacia las criptas.

Al principio el exceso de líquido arrastra a las bacterias, por lo que resulta útil para combatir la enfermedad, pero cuando de bueno pasa a excesivo, puede ser letal, debido a la grave deshidratación inducida.

Las toxinas del cólera o de algunas otras infecciones bacterianas suelen estimular la secreción de 10 o más litros diarios de líquido en las criptas del íleon terminal y del intestino grueso, causando una diarrea intensa que puede llegar a ser mortal.

Absorción activa de Ca, Fe, K, Mg y fosfato

Iones calcio se absorben hacia la sangre activamente, sobre todo en el duodeno. Un factor regulador importante de la absorción del calcio es la hormona partiroidea, secretada por glándulas paratiroides y otro es la vitamina D.

Los iones hierro también se absorben activamente en el intestino delgado.

Los iones potasio, magnesio, fosfato y otros se absorben de forma activa en la mucosa intestinal.

Los iones monovalentes se absorben con facilidad y en grandes cantidades, mientas que los iones bivalentes se absorben normalmente en pequeñas cantidades.

## Absorción en el intestino grueso: formación de heces

Las heces excretadas contienen menos de 100 ml de líquido y sólo de 1 a 5 mEq de iones sodio y cloro se excretan en ellas.

Casi toda la absorción en el intestino grueso se da en la mitad proximal del colon, por lo que se le llama colon absorbente. Mientras que el colon distal funciona como depósito de heces hasta su excreción, por ello se le denomina colon de depósito.

La mucosa del intestino grueso posee gran capacidad para la absorción activa de Na y el gradiente de potencial eléctrico que se crea por la misma es la causa de la absorción de cloruro.

La mucosa del intestino grueso absorbe iones sodio contra gradiente de concentración mucho mayor que la del intestino delgado y la aldosterona potencia en gran medida la capacidad de transporte de sodio.

La mucosa del intestino grueso secreta iones bicarbonato y absorbe un número igual de iones cloro. La absorción de Na y Cl crea un gradiente osmótico a través de la mucosa del intestino grueso que a su vez favorece la absorción de agua.

EL INTESTINO GRUESO PUEDE ABSORBER UN MÁXIMO DE 5 A 8 L DE LÍQUIDO Y ELECTRÓLITOS AL DÍA.

Incluso en condiciones normales el colon absorbente posee numerosas bacterias, sobre todo bacilos, que digieren pequeñas cantidades de celulosa, con lo que aportan algunas calorías adicionales al organismo cada día.

Otras sustancias que se forman como consecuencia de la actividad bacteriana son:

* Vitamina K
* Vitamina B12
* Tiamina
* Rivoflavina
* Gases que contribuyen a la flatulencia del colon (anhídrido carbónico, hidrógeno y metano)

Las heces están formadas ¾ partesde agua y una cuarta de materia sólida.

La materia sólida de las heces contiene:

* 30% de bacterias muertas
* 10-20% de grasas
* 10-20% de materia inorgánica
* 2-3% de proteínas
* 30% de productos no digeridos y componentes secos de los jugos digestivos como pigmentos biliares y células epiteliales desprendidas)

El color pardo de las heces se debe a la estercobilina y urobilina, ambas derivadas de la bilirrubina.

Los productos odoríferos son indol, escatol, mercaptanos y ácido sulfhídrico.