

CAPÍTULO 2

Digestión

FELIPE DE LA CRUZ PALOMINO

El tracto gastrointestinal tiene funciones de digestión, absorción, secreción y de barrera, además de ser un órgano endocrino y parte del sistema inmunológico del organismo humano.

«La digestión es el proceso por el cual el organismo, mediante recursos mecánicos y químicos, transforma los alimentos que se ingieren para que puedan ser absorbidos».

En la cuarta semana de gestación el tracto gastrointestinal humano está constituido por una simple estructura tubular. A lo largo de la gestación se produce una evolución en la que destacan los siguientes hechos: *a las 11 semanas*, la formación de lóbulos hepáticos; *a las 14 semanas*, la formación de las glándulas gástricas y la diferenciación del píloro y del fondo gástrico, del tejido pancreático exocrino y endocrino y la formación de criptas y vellosidades intestinales, con aparición de nódulos linfáticos; *a las 20 semanas*, aumento del diámetro del colon, desaparición de sus vellosidades y aparición de glándulas superficiales esofágicas y *a las 28 semanas* aparición de las células escamosas esofágicas.

En su desarrollo histológico, el intestino delgado tiene inicialmente un epitelio estratificado que se reemplaza por uno columnar entre las ocho y las 10 semanas de gestación y tiene lugar la especialización de las células de la superficie epitelial, que precede a la aparición de las microvellosidades intestinales. Algunos enterocitos inmaduros laminares de seis a ocho semanas de gestación tienen escasas proyecciones citoplasmáticas, pero no verdaderas microvellosidades. A las 8 ó 10 semanas, los enterocitos tienen muchas microvellosidades con un glicocálix en desarrollo. Al final del segundo trimestre del embarazo la ultraestructura de las células de absorción del yeyuno es muy semejante a la del intestino humano adulto.

Durante la gestación, los primeros marcadores fisiológicos en el desarrollo de las funciones de digestión y absorción de intestino delgado son la aparición de disacaridasas y peptidasas y la presencia de transporte activo de glucosa y de aminoácidos a las 10 semanas, absorción de ácidos grasos y aparición de enteroquinasa y de tripsinógeno a las 24 semanas y actividad completa de sacarasa, así como de maltasa, a las 26 semanas de gestación.

DIGESTIÓN

El proceso de digestión comienza antes de incorporar el alimento a la boca, a través de la información de otros sentidos como el olfato o la vista, incluso con sólo pensar en que se va a comer. Todo el proceso está regulado por el sistema nervioso y por hormonas específicas. Algunos nutrientes como el agua, hidratos de carbono simples (monosacáridos), las vitaminas, los minerales y el alcohol se absorben sin apenas sufrir transformaciones. El resto deben sufrir las transformaciones necesarias para obtener las unidades que puedan ser absorbidas. En algunos casos los procedimientos culinarios ya inician cambios químicos en ciertos alimentos (el cocinado ablanda las fibras de carne y la celulosa de los vegetales, y gelatiniza el almidón).

En la boca, los alimentos son cortados y masticados por los dientes, humedecidos por la saliva y transformados por la acción conjunta de los componentes de la cavidad bucal en un bolo alimenticio, que es deglutido voluntariamente. Junto al acto voluntario de la deglución se produce otro involuntario, el cierre de la tráquea por la epiglotis, para permitir un paso directo del bolo alimenticio, a través de la faringe, al esófago. La epiglotis es el primero de varios mecanismos valvulares / esfinterianos que se encuentran en el tracto gastrointestinal.

Ya en el esófago una contracción muscular ondulatoria, a la que se llama movimiento peristáltico o peristaltismo, impulsa el bolo alimenticio hasta el estómago. Es ésta contracción, y no la gravedad, la que lleva el bolo al estómago. Este movimiento involuntario es característico de todo el tubo digestivo y el responsable del progreso de los sucesivos productos del alimento a través de él. La entrada del bolo alimenticio desde el esófago al estómago se realiza a través del segundo mecanismo valvular / esfinteriano, un esfínter muscular llamado cardias, que permite el paso del alimento del esófago al estómago, pero no en sentido contrario. Cuando este mecanismo no opera perfectamente se produce el reflujo gastroesofágico.

El estómago, mediante un continuo batido a través de movimientos enérgicos y ondulatorios, macera y mezcla los bolos alimenticios con la ayuda de sus secreciones, transformándolos en una masa que tiene la consistencia de una sopa cremosa (50% agua) y muy ácida (pH 2 – 4) que recibe el nombre de quimo, el cual pasará al duodeno. La etapa gástrica de la digestión puede durar de 1 a 4 horas, según la persona, su salud y el tipo de alimento consumido; por ejemplo los hidratos de carbono permanecen poco tiempo, y las grasas mucho más.

En pequeñas porciones y a través del tercer mecanismo valvular / esfinteriano (otro esfínter muscular denominado píloro), el quimo pasa al duodeno mediante contracciones peristálticas del estómago. El duodeno es la porción más activa del tubo digestivo. Aquí llegan las secreciones hepato biliares y pancreáticas y es donde se produce el grueso del proceso de absorción, que consiste en el paso de nutrientes desde la luz del intestino al interior de la pared intestinal y de la pared intestinal a los vasos sanguíneos y linfáticos. A lo largo del intestino delgado, el quimo, merced a los movimientos peristálticos y a la mezcla con todas las secreciones mencionadas, se alcaliniza y se va transformando en un líquido blanco lechoso llamado quilo. Después un tiempo que puede oscilar entre las 4 y 9 horas, el quilo, impulsado por el peristaltismo intestinal, pasará al intestino grueso. El quilo pasa al ciego a través del cuarto mecanismo valvular / esfinteriano, otro esfínter muscular entre el íleon y el ciego llamado válvula ileocecal. Lo que no ha sido absorbido por el intestino delgado, como las fibras, algunos minerales y vitaminas, el agua, etc., son absorbidas en el intestino grueso. Partes de sustancias digeribles que no han sido absorbidas y las sustancias indigeribles se van transformando en una masa semisólida llamada bolo fecal.

El tránsito del bolo fecal por el intestino grueso es lento y se retarda aún más al llegar al colon descendente. La demora en eliminar toda una comida puede ir de las 72 horas a más de 7 días. Para ser evacuado el contenido del recto debe pasar por el quinto mecanismo valvular / esfinteriano, que consiste en 2 esfínteres musculares, el interno (involuntario) y el externo (voluntario), que se llaman esfínter anal.

Puede decirse que la digestión tiene una vertiente mecánica, que incluye la masticación, la deglución, la peristalsis y la defecación; y una vertiente química, que implica la acción de las diferentes enzimas y secreciones intestinales que rompen las moléculas complejas en unidades más sencillas para que pueden ser absorbidas (Tabla 1).

Tabla 1. Características de las principales enzimas digestivas

Enzima	Lugar de acción	Fuente	Sustrato	Ph óptimo	Producto(s)
Amilasa salival	Boca	Saliva	Almidón	6.7	Maltosa
Pepsina	Estómago	Glándulas gástricas	Proteína	1.6-2.4	Polipéptidos, más cortos
Amilasa pancreática	Duodeno	Jugo pancreático	Almidón	6.7-7.0	Maltosa, maltotriosa y oligosacáridos
Tripsina, quimotripsina, carboxipeptidasa	Intestino delgado	Jugo pancreático	Polipéptidos	8.0	Aminoácidos, dipéptidos y tripéptidos
Lipasa pancreática	Intestino delgado	Jugo pancreático	Triglicéridos	8.0	Ácidos grasos y monoglicérido
Maltasa	Intestino delgado	Borde en cepillo de las células epiteliales	Maltosa	5.0-7.0	Glucosa
Sacarasa	Intestino delgado	Borde en cepillo de las células epiteliales	Sacarosa	5.0-7.0	Glucosa + fructosa
Lactasa	Intestino delgado	Borde en cepillo de las células epiteliales	Lactosa	5.8-6.2	Glucosa + galactosa
Aminopeptidasa	Intestino delgado	Borde en cepillo de las células epiteliales	Polipéptidos	8.0	Aminoácidos, dipéptidos, tripéptidos

Las moléculas de alimento consisten fundamentalmente en combinaciones de subunidades (monómeros) que tienen que digerirse por reacciones de hidrólisis a monómeros libres antes de que se pueda producir la absorción. En la mayoría de los casos los nutrientes no pueden ser absorbidos por las células que revisten el tracto gastrointestinal (GI) tal como son ingeridos. La digestión es el proceso mediante el cual las moléculas ingeridas son troceadas en otras menores mediante reacciones catalizadas por enzimas de la luz o de la superficie luminal del tracto GI. Mediante el proceso de la digestión, las moléculas ingeridas son convertidas en otras que pueden ser absorbidas a través de la luz del tracto GI. La absorción es el proceso por el que las moléculas son transportadas a través de las células epiteliales que revisten el tracto GI y luego pasan a la sangre o a la linfa procedente de esa región del tubo digestivo.

DIGESTIÓN DE LOS HIDRATOS DE CARBONO

Para la mayoría de las personas los carbohidratos constituyen habitualmente la principal fuente de calorías. El almidón vegetal, la amilopectina, es la principal fuente de carbohidratos en la mayoría de las dietas humanas. La amilopectina es un polímero de unidades de glucosa ramificado de alto peso molecular ($PM > 106$). Una parte menor del almidón de la dieta es amilosa, un polímero de glucosa lineal con enlaces ($X-1,4$ de menor peso molecular ($PM > 105$)). La cantidad del almidón ingerida varía mucho según las culturas y entre individuos de la misma cultura. La celulosa es un polímero de glucosa con enlaces $\beta-1,4$. Las enzimas intestinales no pueden hidrolizar los enlaces β -glucosídicos. Por tanto, la celulosa y otras moléculas con este tipo de enlaces no son digeridas y contribuyen a la fibra dietética. La sacarosa y la lactosa son los principales disacáridos de la dieta, y glucosa y fructosa son los principales monosacáridos.

La mayoría de los hidratos de carbono se ingieren en forma de almidón, que es un polisacárido largo de glucosa en forma de cadenas lineales con ramificaciones ocasionales. Los azúcares que se ingieren más frecuentemente son la sacarosa (azúcar de mesa, un disacárido compuesto por glucosa y fructosa) y la lactosa (azúcar de la leche, disacárido formado por glucosa y galactosa).

La digestión del almidón comienza en la boca por la acción de la amilasa salival o ptialina. Esta enzima rompe algunos de los enlaces entre las moléculas contiguas de glucosa, pero la mayoría de las personas no mastica el alimento durante el tiempo necesario como para que se produzca una digestión suficiente en la boca. La acción digestiva de la amilasa salival se detiene poco tiempo después de que el bolo penetre en el estómago, debido a que esta enzima se inactiva con el pH bajo del jugo gástrico.

El almidón es un polímero de glucosa formado por cadenas de unidades de glucosa unidas por enlaces $\alpha-1,4$ glucosídicos. Las cadenas $\alpha-1,4$ presentan puntos de ramificación formados por enlaces $\alpha-1,6$ glucosídicos. La digestión del almidón comienza en la boca por acción de la amilasa salival. Esta enzima cataliza la hidrólisis de los enlaces

α -1,4 internos del almidón, pero no puede hidrolizar los enlaces ramificadores α -1,6. Los principales productos de la digestión del almidón por la α -amilasa son maltosa, maltotriosa principalmente (Figura 1). Normalmente se produce una digestión considerable por la amilasa salival, aunque de hecho esta enzima no es imprescindible para la digestión y absorción normal del almidón. Tras la inactivación de la amilasa salival por el pH bajo del contenido gástrico ya no tiene lugar ningún procesamiento de los carbohidratos en el estómago.

En cuanto a la digestión intestinal, el jugo pancreático contiene una α -amilasa muy activa. Los productos de la digestión del almidón por la enzima pancreática son los mismos que los de la amilasa salival, pero la actividad amilasa total del jugo pancreático es considerablemente mayor que la de la saliva. A los 10 minutos de llegar al duodeno, el almidón se ha convertido totalmente en oligosacáridos. La digestión posterior de estos oligosacáridos se realiza por enzimas ubicadas en el borde en cepillo del epitelio del duodeno y el yeyuno. Las principales oligosacaridasas del borde en cepillo son la lactasa (que divide la lactosa en glucosa y galactosa), la sacarasa (que divide la sacarosa en glucosa y fructosa), la α -dextrinasa (también denominada isomaltasa, que «desramifica» las dextrinas al romper los enlaces α -1,6 de los puntos de ramificación), y la glucoamilasa (que rompe los enlaces α -1,4-glucosídicos terminales convirtiendo maltooligosacáridos en unidades de glucosa). Estas cuatro enzimas son más activas en el borde en cepillo del yeyuno proximal y van disminuyendo a lo largo del resto del intestino delgado. En resumen, la digestión del almidón se produce principalmente en

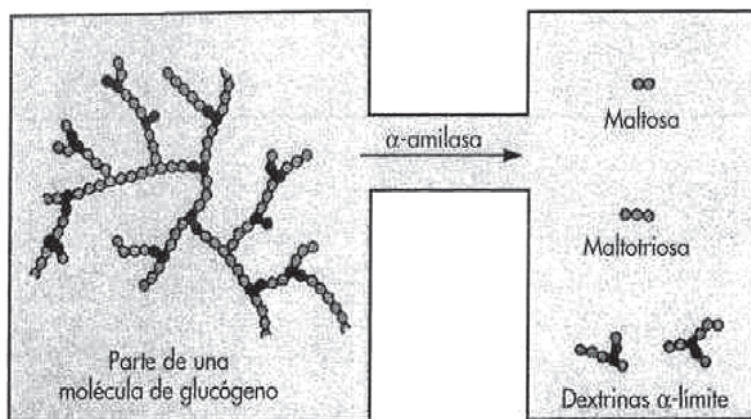


Figura 1. Estructura de una molécula de almidón ramificada y acción de la α -amilasa. Los círculos claros representan monómeros de glucosa. Los círculos negros representan unidades de glucosa unidos por enlaces α -1,6 en los puntos de ramificación. Los enlaces α -1,6 y los enlaces α -1,4 terminales no pueden ser hidrolizados por la α -amilasa.

el duodeno por la acción de la amilasa pancreática. Esta enzima rompe los enlaces de las cadenas rectas del almidón para producir el disacárido *maltosa* y el trisacárido *maltotriosa*. Sin embargo, la amilasa pancreática es incapaz de hidrolizar el enlace existente entre las moléculas de glucosa en los lugares de ramificación del almidón. El resultado es que, como consecuencia de la acción de esta enzima, se liberan cadenas cortas ramificadas de moléculas de glucosa, denominadas oligosacáridos, además de maltosa y maltotriosa (Figura 2).

La maltosa, la maltotriosa y los oligosacáridos se hidrolizan a sus monosacáridos por la acción de las enzimas del borde en cepillo que se encuentran en las microvellosidades de las células epiteliales del intestino delgado (Figura 3). Las enzimas del borde en cepillo hidrolizan también los disacáridos sacarosa y lactosa a sus monosacáridos. Estos monosacáridos pasan después a través de la membrana de la célula epitelial por transporte activo secundario, en el cual la glucosa comparte un transportador de membrana con el Na^+ . Finalmente la glucosa se segrega desde las células epiteliales a los capilares sanguíneos en el interior de las vellosidades intestinales.

En los individuos que tienen niveles bajos de actividad de lactasa en el borde en cepillo, la lactosa no digerida llega al colon. Las bacterias colónicas metabolizan rápidamente la lactosa, produciendo gas y liberando productos metabólicos que estimulan la motilidad colónica y producen diarrea. Esta situación se denomina intolerancia a la lactosa. Más del 50% de los adultos del mundo presentan intolerancia a la lactosa. Esto viene determinado genéticamente.

DIGESTIÓN DE LAS PROTEÍNAS

La cantidad de proteínas consumidas en la dieta varía mucho en las distintas culturas y entre individuos de una misma cultura. En sociedades pobres es difícil para los adultos obtener la cantidad de proteínas (0,5 a 0,7 g/día/kg de peso corporal) necesaria para compensar el catabolismo normal de éstas. Aún más difícil es que los niños reciban la cantidad, relativamente elevada, de proteínas necesaria para mantener el crecimiento normal. En sociedades más ricas, un individuo ingiere muchas más proteínas de las necesarias.

En las personas normales, casi todas las proteínas ingeridas son digeridas y absorbidas. La mayor parte de las proteínas de las secreciones digestivas y de las células exfoliadas también son digeridas y absorbidas. La pequeña cantidad de proteínas presente en las heces procede principalmente de bacterias del colon, células exfoliadas del colon y proteínas de las secreciones mucosas del colon. Las proteínas ingeridas son absorbidas, casi totalmente, cuando el alimento atraviesa el yeyuno.

La digestión de las proteínas comienza en el **estómago**, con la acción de la *pepsina*. Algunos aminoácidos se liberan en el estómago, pero los principales productos de la digestión de la pepsina son polipéptidos de cadena corta. La digestión por la pepsina ayuda a producir un quimo más homogéneo, pero no es imprescindible para que tenga

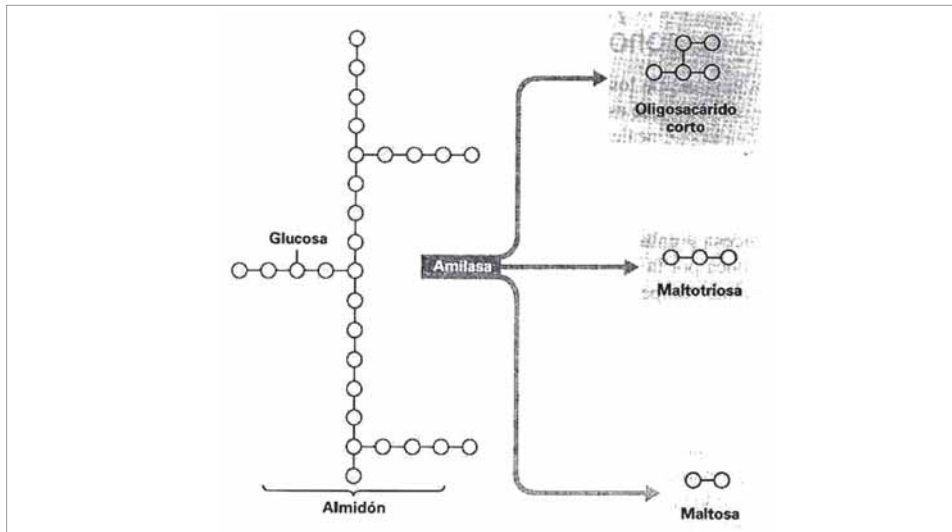


Figura 2. Acción de la amilasa pancreática. La amilasa pancreática digiere el almidón a maltosa, maltotriosa y oligosacáridos cortos que contiene puntos de ramificación en la cadena de moléculas de glucosa.

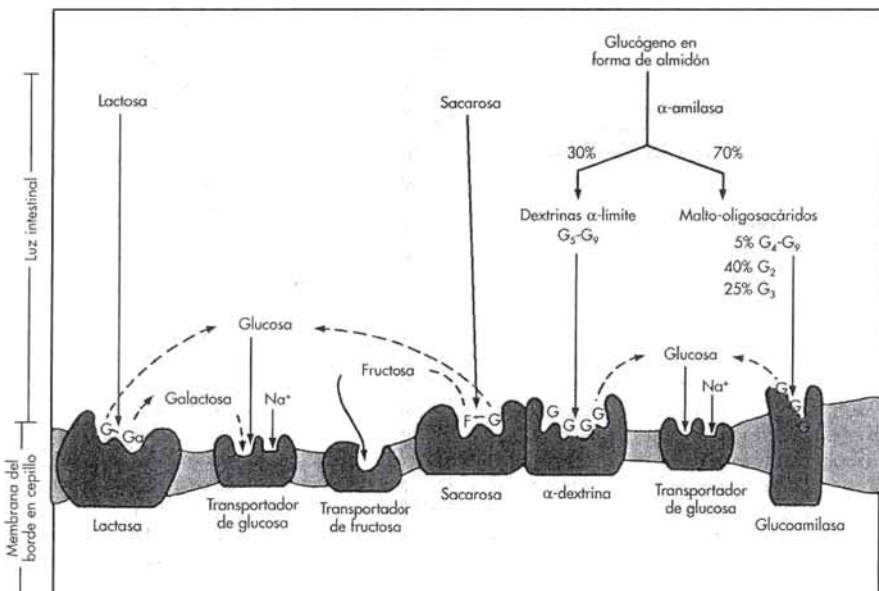


Figura 3. Funciones de las principales oligosacaridasas del borde en cepillo. Las moléculas de glucosa, galactosa y fructosa liberadas por la hidrólisis enzimática son posteriormente transportadas al interior de las células epiteliales por proteínas transportadoras específicas de la membrana del borde en cepillo.

lugar la digestión completa de las proteínas en el intestino delgado. Las células principales gástricas secretan pepsinógeno, que es convertido en pepsina activa por los hidrogeniones. Las pepsinas hidrolizan las proteínas de la dieta de forma significativa, pero muy variable. Como máximo, alrededor del 15% de las proteínas ingeridas pueden ser reducidas a péptidos y aminoácidos por la pepsina. El duodeno y el intestino delgado poseen tal capacidad de digerir proteínas, que la ausencia total de pepsina no altera la digestión y absorción de las proteínas de la dieta.

La mayor parte de la digestión proteica tiene lugar en el **duodeno** y el **yeyuno**. Las *proteasas del jugo pancreático* ejercen un papel fundamental en la digestión de proteínas. Las más importantes son la tripsina, la quimiotripsina y la carboxipeptidasa. El jugo pancreático contiene estas enzimas en forma de proenzimas inactivas. Las enzimas tripsina, quimotripsina, y elastasa del jugo pancreático rompen enlaces peptídicos en el interior de las cadenas polipeptídicas. Por lo tanto estas enzimas se denominan endopeptidasas. Las enzimas que separan aminoácidos de los extremos de las cadenas polipeptídicas son exopeptidasas. Éstas comprenden la carboxipeptidasa (una enzima del jugo pancreático que separa aminoácidos del extremo carboxilo terminal de las cadenas polipeptídicas) y la aminopeptidasa del borde en cepillo (que retira aminoácidos del extremo amino terminal de las cadenas polipeptídicas). La enzima enteropeptidasa, segregada por la *mucosa de duodeno y yeyuno*, convierte el tripsinógeno en tripsina activa. La tripsina activa el tripsinógeno y también convierte el quimiotripsinógeno y la procarboxipeptidasa en sus enzimas activas. Las proteasas pancreáticas son muy activas en el duodeno y convierten rápidamente la proteína dietética en pequeños péptidos. Alrededor del 50% de la proteína ingerida se digiere y absorbe en el duodeno. (Figura 4).

El borde en cepillo del duodeno y del intestino delgado contiene diversas peptidasas, proteínas integrales de membrana cuyos centros activos están orientados hacia la luz intestinal. Los productos principales de la digestión de las proteínas por las proteasas pancreáticas y las peptidasas del borde en cepillo son pequeños péptidos y aminoácidos. Los pequeños péptidos están tres o cuatro veces más concentrados que los aminoácidos simples.

Los pequeños péptidos y aminoácidos son transportados a través del borde en cepillo al interior de las células epiteliales intestinales. Los pequeños péptidos son entonces hidrolizados por peptidasas del citosol de las células epiteliales intestinales; por consiguiente, en la sangre portal sólo aparecen aminoácidos simples. Las peptidasas del borde en cepillo, por su parte, son activas principalmente sobre los péptidos de cuatro o más aminoácidos.

Como resultado de la acción de estas enzimas, las cadenas polipeptídicas se digieren a aminoácidos libres, dipéptidos y tripéptidos. Los aminoácidos libres absorben por cotransporte con el Na^+ al interior de las células epiteliales y se segregan a los capilares sanguíneos. Los dipéptidos y tripéptidos penetran en las células epiteliales por la acción de un único transportador de membrana que se ha caracterizado recientemente. Este transportador actúa en el transporte activo secundario utilizando un gra-

diente de H^+ para transportar dipéptidos y tripéptidos al interior del citoplasma celular. En el interior del citoplasma, los dipéptidos y tripéptidos se hidrolizan a aminoácidos libres, que después se segregan a la sangre. Las peptidasas citosólicas son especialmente activas sobre los dipéptidos y tripéptidos, transportados con gran eficiencia a través del borde en cepillo.

Los recién nacidos parecen ser capaces de absorber una cantidad sustancial de proteínas no digeridas (anticuerpos de la primera leche de su madre); sin embargo, en los adultos sólo penetran aminoácidos libres en la vena porta. La proteína alimentaria extraña, que resultaría muy antigénica, no penetra normalmente a la sangre. Una excepción interesante es la toxina proteica que causa el botulismo, producida por la bacteria *Clostridium botulinum*. Esta proteína es resistente a la digestión y, por lo tanto, está intacta cuando se absorbe a la sangre.

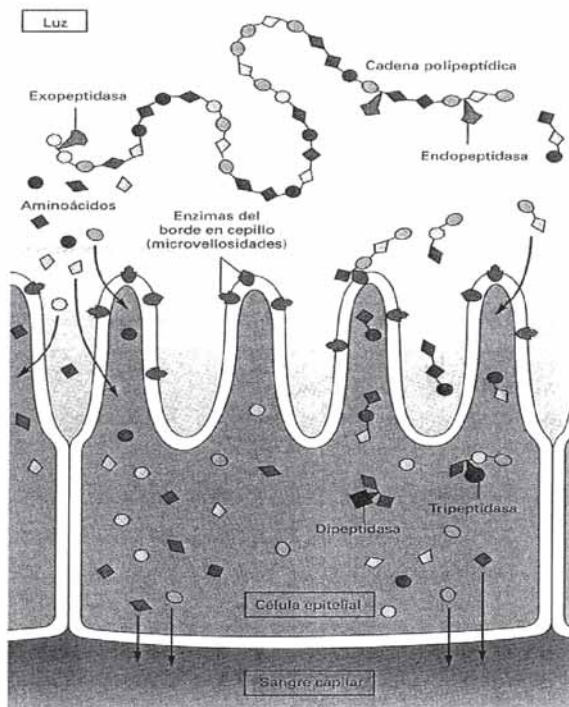


Figura 4. Digestión y absorción de las proteínas. Las cadenas polipeptídicas de las proteínas se digieren a los aminoácidos libres, péptidos, y tripéptidos por la acción de enzimas del jugo pancreático y de enzimas del borde en cepillo.

DIGESTIÓN DE LOS LÍPIDOS

Los lípidos principales de una dieta normal son los triglicéridos. Además la dieta contiene pequeñas cantidades de esteroides como el colesterol y fosfolípidos. Las glándulas salivales y el estómago de los neonatos producen lipasas, sin embargo, en los adultos se produce muy poca digestión de los lípidos hasta que los glóbulos lipídicos del quimo llegan al duodeno. A través de diversos mecanismos, la llegada de lípidos (principalmente triglicéridos, o grasa) al duodeno sirve como estímulo para la secreción de bilis. En un proceso que se denomina emulsión, se segregan al duodeno micelas de sales biliares que actúan fragmentando las gotitas de grasa en diminutas *gotitas de emulsión* de triglicéridos. La emulsión no es una digestión química, en este proceso no se hidrolizan los enlaces que unen el glicerol y los ácidos grasos.

La emulsión de las grasas ayuda a la digestión porque las gotitas de emulsión más pequeñas y numerosas presentan una superficie mayor que las gotas de grasa no emulsionada que entraron inicialmente en el duodeno. La digestión de las grasas se produce en la superficie de las gotitas a través de la acción enzimática de la lipasa pancreática, con la que colabora una proteína denominada *colipasa* (también segregada por el páncreas) que reviste las gotas de emulsión y «ancla» la lipasa a las mismas. A través de la hidrólisis, la lipasa retira dos de los tres ácidos grasos de cada molécula de triglicérido y de este modo libera *ácidos grasos libres y monoglicéridos*. La fosfolipasa A digiere de manera similar los fosfolípidos, como la lecitina, en ácidos grasos y lisolecitina (el resto de la molécula de lecitina después de la retirada de dos ácidos grasos).

Los ácidos grasos libres, los monoglicéridos y la lisolecitina, que son más polares que los lípidos sin digerir, pronto se asocian con micelas de sales biliares, lecitina y colesterol para formar «micelas mixtas». Estas micelas se desplazan después al borde en cepillo del epitelio intestinal en el que tiene lugar la absorción.

La lipasa lingual es producida por glándulas serosas de la lengua. La lipasa gástrica es segregada por las células principales. Juntas, estas dos lipasas constituyen la lipasa preduodenal. Estas enzimas son específicas para hidrólisis de los triglicéridos. En el hombre, la lipasa gástrica es mucho más abundante que la lipasa lingual. La cantidad de triglicéridos hidrolizados por las lipasas preduodenales varía considerablemente entre individuos.

Dado que los lípidos son poco solubles en agua, plantean problemas especiales durante cada fase de su procesamiento. En el estómago, los lípidos tienden a separarse en una fase aceitosa. En el duodeno y el intestino delgado, los lípidos son emulsionados con ayuda de los ácidos biliares. La emulsión consiste en pequeñas gotitas de lípido revestidas de ácidos biliares. La gran superficie de las gotitas en emulsión permite el acceso de las enzimas lipolíticas hidrosolubles a sus sustratos. Los productos de la digestión de los lípidos forman pequeños agregados moleculares, conocidos como micelas, con los ácidos biliares. Los ácidos biliares forman micelas con los productos de la digestión de las grasas, especialmente los 2-monoglicéridos. Las micelas son agregados multimoleculares (de

unos 5 nm de diámetro) que contienen entre 20 y 30 moléculas. Los ácidos biliares son moléculas planas que poseen una cara polar y otra no polar. Gran parte de la superficie de las micelas está cubierta por ácidos biliares, con la cara no polar hacia el interior lipídico de la micela y la cara polar hacia el exterior. Las moléculas hidrófobas, como los ácidos grasos de cadena larga, monoglicéridos, fosfolípidos, colesterol y vitaminas liposolubles, tienden a formar parte de las micelas.

Para que se formen las micelas, los ácidos biliares deben estar presentes al menos a una mínima concentración, denominada concentración micelar crítica. En condiciones normales, la concentración de ácidos biliares en el duodeno es siempre superior a la concentración micelar crítica.

Las micelas son lo bastante pequeñas para difundir entre las microvellosidades y permitir la absorción de los lípidos en disolución molecular por toda la superficie del borde en cepillo intestinal.

Las grasas tienden a separarse en una fase aceitosa, por lo que suelen vaciarse del estómago más tarde que otros contenidos gástricos. La presencia de grasa en el duodeno inhibe intensamente el vaciamiento gástrico. Esto ayuda a asegurar que la grasa no se vacíe del estómago con más rapidez de la aceptable por los mecanismos duodenales de emulsión y digestión.

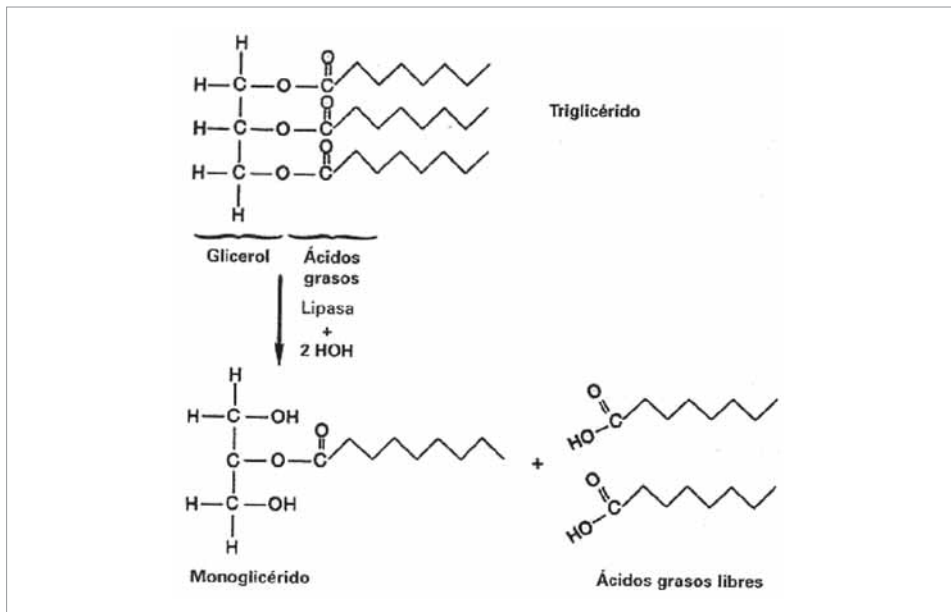


Figura 5. Digestión de los triglicéridos. La lipasa pancreática digiere la grasa (triglicéridos), eliminando el primero y tercer ácidos grasos. Esto produce ácidos grasos libres y monoglicéridos. Las líneas en dientes de sierra indican las cadenas hidrocarbonadas de los ácidos grasos.

Las lipasas presentes en el jugo pancreático son las responsables de la hidrólisis de la mayor parte de los lípidos dietéticos. Las enzimas lipolíticas del jugo pancreático son moléculas hidrosolubles y, por tanto, sólo pueden acceder a los lípidos que se encuentran en la superficie de las gotitas de grasa. La superficie disponible para la digestión aumenta varios miles de veces gracias a la emulsión de los lípidos. Los ácidos biliares, por sí solos, son malos agentes emulsionantes. Sin embargo, con ayuda de las lecitinas, que se hallan a gran concentración en la bilis, los ácidos biliares emulsionan las grasas de la dieta.

La glicerol-éster-hidrolasa, también llamada lipasa pancreática, separa preferentemente los ácidos grasos 1 y 1' de los triglicéridos, para producir dos ácidos grasos libres y un 2-monoglicérido. La colipasa, una pequeña proteína presente en el jugo pancreático, es fundamental para la actividad de la glicerol-éster-hidrolasa. La colipasa es necesaria para que la glicerol-éster-hidrolasa se una a la superficie de las gotitas de la emulsión en presencia de los ácidos biliares (Figura 5).

La colesterol esterasa rompe en enlace éster de los ésteres de colesterol para producir un ácido graso y colesterol libre.

La fosfolipasa A₂ rompe el enlace éster de la posición 2 de un glicerofosfátido y produce, en el caso de la lecitina, un ácido graso y una lisolecitina.

REFERENCIAS

- FOX, S. (2003) *Fisiología Humana*. Mc Graw Hill- Interamericana. Séptima Edición. 580-620.
- KIEN, C.L. (1996) *Digestion, absorption and fermentation of carbohydrates in the newborn*. En: Neu J. Neonatal Gastroenterology Clinics in Perinatology. 23:21 1-27.
- KUTCHAI, H. (2003) *Aparato digestivo*. En Fisiología, R. BERNE y M. LEVY eds. Harcourt Brace. Tercera Edición. 437-498.
- ROUASSANT, S.H. (1998) *Desarrollo de la función de amilasas en el tubo digestivo*. Acta Pediátrica de México. Vol. 19, Supl. 12.