

Tema 52. Funciones de nutrición humana: Anatomía y fisiología del aparato digestivo y excretor.

- 3ºE.S.O. Bloque 2. Tema 5. Las personas y la salud
- 1º Bach. Bloque 8: Proceso de nutrición de vertebrados e invertebrados.

52.1. El aparato digestivo humano

52.1.1. Anatomía: Boca, Faringe, Esófago, Estómago, Intestino delgado, Intestino grueso

52.1.2. Digestión:

52.1.2.1. Aspectos mecánicos de la función digestiva y su regulación

52.1.2.2. Aspectos químicos de la digestión y su regulación

52.1.3. Absorción

52.1.4. Principales enfermedades del tubo digestivo

52.2. Excreción:

52.2.1. Anatomía del Riñón

52.2.2. Anatomía de los uréteres, vejiga y uretra

52.2.3. Fisiología del riñón. Filtración renal.

52.2.4. Regulación de la excreción

52.2.5. Trastornos excretores

52.1. El aparato digestivo humano

El hombre, al igual que el resto de heterótrofos, debe utilizar a otros animales y/o plantas como alimento, es decir, como fuente de las sustancias orgánicas que le servirán como materia prima para vivir. Sin embargo, casi todas estas sustancias orgánicas necesitan una serie de transformaciones físicas y químicas, para poder ser absorbidas e incorporadas. Ésta es la función del aparato digestivo, en el que además, tiene lugar la eliminación de aquellas sustancias no absorbidas. El proceso global recibe el nombre de digestión y es una de las actividades esenciales.

Para llevar a cabo la degradación y reorganización del alimento se requiere una serie de procesos, tanto mecánicos como químicos: masticación y digestión de alimentos en la boca; transporte esofágico y digestión estomacal; digestión y absorción de nutrientes a través de las paredes del intestino delgado; absorción en el intestino grueso y, finalmente, expulsión de los restos inutilizables (egestión o defecación).

52.1.1. Anatomía: Boca, Faringe, Esófago, Estómago, Intestino delgado, Intestino grueso

El aparato digestivo comprende dos secciones bien diferenciadas anatómicamente:

- 1) El tubo digestivo (Boca, Faringe, Esófago, Estómago, Intestino delgado, Intestino grueso), y
- 2) las glándulas anejas: salivales, hígado y páncreas.

El **tubo digestivo** se puede definir como un largo tubo epitelio - muscular liso, en cuyos extremos (labios y ano) se sitúa músculo estriado y cuya "luz" es de amplitud muy variable.

Como la luz del tubo es exterior al organismo, éste debe protegerse contra la penetración de microorganismos y sustancias nocivas. Este mecanismo de protección es doble:

- a) **Químico.** Presencia del enzima lisozima y otras de acción bactericida; fuerte concentración de CIH en el estómago, etc.
- b) **Mecánico:** el intestino se defiende manteniendo continuamente sobre su superficie una capa de sustancia mucosa lubricante y aislante, que le protege incluso contra el exceso de la actividad enzimática.

BOCA

Su límite anterior son los **labios**, cuyo movimiento es voluntario (músculo estriado), pues se asocia a funciones como la palabra, muy ajenas a la digestión. Lateralmente está limitado por las **mejillas**; de las que puede decirse lo mismo que de los labios. Los músculos maseteros, interno y externo, son los más activos en la masticación.

El límite superior lo forma el **paladar**; la parte anterior y media está formada por los maxilares superiores y palatinos. Es dura; apropiada para comprimir contra ella el alimento. El fondo del paladar o velo del paladar, sin hueso, es el límite libre en la faringe entre la cavidad nasal y bucal, su prolongación forma la **úvula** o campanilla.

El suelo de la boca está ocupado por la **lengua**, órgano de músculo estriado que presenta fibras en las tres direcciones del espacio, lo que le permite variar la longitud, la anchura y el grosor. Además es sumamente móvil por ser un músculo sujeto sólo por un extremo. Su función digestiva es doble: mezclar el alimento con la saliva y como asiento del sentido del gusto. Además forma parte importante de la articulación de la palabra.

Los dientes

Forman una doble semicorona, superior e inferior, firmemente insertos en los huesos maxilares (alvéolos). En la dentadura humana adulta hay 32 piezas, repartidas simétricamente tanto en la mandíbula superior como en la inferior: dos incisivos, un canino, dos premolares y tres molares. Sus formas se adaptan a cortar, rasgar o triturar alimentos. La dentición de leche sólo consta de veinte piezas faltando todos los molares. Las respectivas fórmulas dentarias son:

2 1 2 3

2 1 2

Adulto = — I — C — P — M **D. Leche** = — I — C — P
 2 1 2 3 2 1 2

En los dientes podemos distinguir: la **corona**, o parte visible que sobresale de las encías, la **raíz**, que es la parte implantada en el alvéolo dentario y el **cuello**, o estrechamiento situado entre la corona y la raíz. Los dientes están compuestos por: **esmalte**, **cemento** y **dentina**. El esmalte es una sustancia dura, de color blanco brillante que recubre la corona. El cemento es una sustancia, parecida al hueso, que recubre la raíz. La dentina (marfil) es el componente más abundante. Está surcada por canalillos y presenta en su interior una cavidad que contiene la pulpa dentaria (tejido conjuntivo, vasos sanguíneos y nervios). Estos vasos y nervios comunican con la red sanguínea y nerviosa a través de un orificio situado en el ápice de la raíz (foramen dental).

Las glándulas salivales

Están repartidas por toda la cavidad bucal, pero existen tres acúmulos de mayor importancia: son las sublinguales, submaxilares y parótidas. Son glándulas túbulo-acinosas compuestas que están rodeadas de conjuntivo laxo y red capilar. Están inervadas por el S.N. neurovegetativo; el tipo de secreción depende del estímulo nervioso.

- Las **parótidas**, situadas en la mejillas (debajo de la oreja), vierten por un conducto que atraviesa el músculo bucinador encima del segundo molar. Su secreción es fluida de tipo serosa. La inflamación de las parótidas causa la enfermedad de las paperas.
- Las **submaxilares** vierten detrás de los incisivos; son glándulas mixtas, pero predominantemente serosas.
- Las **sublinguales** vierten debajo de la lengua, zona del frenillo lingual, por varios canales, son también glándulas mixtas.

La función de la saliva es digestiva (amilasa) y protectora (lisozima), pero, sobre todo, sirve para facilitar la masticación y deglución de los alimentos. Se segrega un litro diario.

El **control de la secreción salival** es solamente nervioso. El estímulo suele ser el contacto con el alimento, pasa a los centros del bulbo y de él parten las corrientes motoras por el parasimpático que circula junto a los nervios craneales.

Controla, como hemos dicho, la cantidad y calidad de la saliva; será más o menos serosa según sea el alimento. También, al igual que para la secreción gástrica, el estímulo puede partir de la corteza cerebral (evocación del gusto y del olfato; activándose el "centro del apetito", situado junto a los centros salivares del bulbo).

Por retroinformación se produce abundante secreción, si el estómago o el intestino tienen alimentos muy irritantes o en malas condiciones. Al tragar saliva se diluye la sustancia irritante y, por tanto, disminuye su efecto.

FARINGE.

Es la zona de paso de las cavidades bucal y nasal hacia el esófago y la tráquea, también se comunica con el oído medio a través de la trompa de Eustaquio. Se suelen distinguir en ella tres partes: buco-faringe, situada detrás de la boca; naso-faringe, situada detrás de la nariz y laringofaringe, detrás de la laringe. En la buco-faringe se encuentran las **amígdalas palatinas**, cuya inflamación provoca la enfermedad de las anginas. Por encima de ellas se encuentra ó úvula o campanilla. La nasofaringe presenta cuatro orificios, las dos coanas (comunicación con la nariz) y las dos trompas de Eustaquio.

Los alimentos no pueden pasar a la tráquea porque en el momento de la deglución se levanta la laringe y queda la epiglotis abatida sobre ella.

ESÓFAGO

Es un tubo de unos 25 cm de longitud y 2 cm de anchura, que partiendo de la faringe recorre la cavidad torácica, paralelo a la aorta, atraviesa el diafragma y desemboca en el estómago a través del esfínter cardias. Se sitúa entre la tráquea y la columna vertebral en el mediastino. Prácticamente sólo sirve de paso.

A partir del esófago, el aparato digestivo tiene funciones exclusivamente digestivas. Adopta la forma de un tubo cuyas paredes presentan como estructura básica cuatro capas en toda su extensión, de la luz del tubo al interior del cuerpo son: **mucosa, submucosa, muscular externa y serosa o adventicia** (sólo a partir del intestino). Esa estructura básica en cuatro capas la veremos repetida con distintas adaptaciones en todos los demás órganos del tubo digestivo. En el esófago presentan las siguientes características.

- **Mucosa.** Las células de revestimiento abundan y se regeneran activamente, por estar expuestas al roce de alimentos mal masticados. Tiene células caliciformes a todo lo largo; la presencia de glándulas tubulosas compuestas sólo se presentan al principio y junto al cardias. Únicamente segregan moco que protege el epitelio y actúa de lubricante al paso del alimento.
La lámina propia es una almohadilla de tejido conjuntivo muy laxo bajo el epitelio, rellena el interior de las rugosidades que le dan al esófago, al corte, un aspecto estrellado. También posee, debajo de la lámina propia, una capa muscular mucosa de fibras lisas anulares y longitudinales entre el conjuntivo.
- **Submucosa.** Es una capa de tejido conjuntivo laxo elástico que se adapta a la capa muscular por fuera, y sigue y rellena los pliegues de la muscular mucosa por dentro.
Está totalmente recorrida por plexos sanguíneos y linfáticos de los que parten capilares a la lámina propia. Además, en su base, se asientan ganglios nerviosos (plexos de Meissner).
- **Muscular externa.** De fibra muscular lisa; es doble; la parte interna tiene las fibras en anillo; la externa, longitudinales. Entre ambas, un nuevo plexo del S. N. neurovegetativo (plexo de Auerbach). Tanto el músculo como el plexo nervioso son los responsables de los movimientos peristálticos que hacen avanzar al alimento.
La musculatura longitudinal es continuación de los músculos faríngeos y, por eso, es de músculo estriado en los 2/3 superiores.

ESTÓMAGO

El estómago es un órgano globoso de morfología bastante variable (fuelle de gaita), situado en la cavidad abdominal, debajo del diafragma y hacia el lado izquierdo. La entrada del estómago está rodeada por el esfínter **cardias** y su salida por el esfínter **píloro**. Exteriormente se distinguen tres partes: fondo (la parte alta próxima al cardias), cuerpo y píloro (próxima al intestino delgado).

Recibe el alimento y, para ello, su volumen es de 1'5 l; allí se somete a las proteínas a una fuerte acción digestiva, y a todo el alimento una fuerte acción mecánica, de maceración, movimiento y mezcla, hasta formar una especie de papilla muy ácida (**quimo**). Para esto:

- Su pared muscular (**muscular externa**) es triple, con fibras musculares oblicuas y cruzadas, además de las longitudinales y transversales; con lo que sus movimientos peristálticos son muy enérgicos.
- La **Submucosa** está muy "arrugada" en dirección longitudinal y sobre ella se asienta una mucosa que se pliega finamente; en el fondo de estos pliegues desembocan glándulas tubulares muy apretadas, insertas en el seno de la lámina propia. Esta especial disposición aumenta la superficie del epitelio, lo que es necesario para verter una abundante secreción gástrica. Dicha secreción está provocada por:
 - a) **glándulas tubulares**, sencillas o compuestas, próximas tanto al cardias como al píloro, así como a las células epiteliales; todas segregan moco y agua.
 - b) glándulas tubulares repartidas por todo el estómago y que segregan: CIH (las **células parietales**); enzima (pepsina) (**células principales**); y mucus (células del cuello de la glándula).

La **regulación de la secreción gástrica** es consecuencia del efecto combinado nervioso-hormonal. La vista del alimento activa el centro gástrico del bulbo; por el nervio vago llega la señal al plexo de Auerbach y provoca la secreción del jugo gástrico y de la hormona gastrina. La gastrina pasa a la sangre y estimula directamente las glándulas gástricas, en especial las parietales (del CIH). La estimulación nerviosa es más rápida y eficaz; la hormonal es más duradera. Cuando se alcanza un pH = 2 la secreción de gastrina se bloquea.

INTESTINO DELGADO

Tiene unos 6'5 m de longitud, comienza en el esfínter pilórico y acaba en otro esfínter (**válvula ileocecal**), por la que comunica con el intestino grueso. Tiene las siguientes partes:

- **Duodeno**; de unos 25 cm (doce dedos); a unos 8 cm del píloro desemboca un conducto que recoge las secreciones del páncreas (jugo pancreático) e hígado (bilis) formando una pequeña papila (ampolla de Vater).
- **Yeyuno**: es el primer sector, de unos 2'5 m de longitud, su nombre se debe a que aparece vacío al examinar los cadáveres.
- **Íleon**; lo forma el resto del tubo, hasta alcanzar el intestino grueso (3'5-4 m); no existe diferencia funcional ni anatómica que justifique la separación yeyuno-íleon.

Como en el intestino delgado debe llevarse a cabo gran parte de la **absorción intestinal** (ver apartado 52.1.3), ésta se ve favorecida por la gran superficie de contacto que ofrece el intestino delgado (550 m²). Ésta se debe a las siguientes formaciones:

- a) **Longitud**. Tiene que ver, en la mayoría de animales, con el régimen alimenticio.
- b) **Válvulas conniventes**. Son plegamientos de la submucosa, más abundantes en la mitad proximal. Se calcula que triplican la superficie interna.
- c) **Vellosidades intestinales**. Son proyecciones digitales hacia la luz del tubo, de 1 mm escaso. Se rellenan de lámina media. Tienen un vaso linfático central y una red capilar (vasos quilíferos). Constituyen la verdadera unidad de absorción intestinal. Se calcula que, dada su abundancia, multiplican por diez la superficie intestinal.
- d) **Microvillis**. Son prolongaciones digitales finísimas en la superficie de las células epiteliales. Miden tan sólo 0'1 µ de ancho y 1 µ de largo pudiendo existir más de 500 en cada célula. A ellas se debe el mayor aumento de la superficie absorbente.

En el intestino delgado actúan enzimas secretados tanto por el páncreas como por las numerosas glándulas intestinales que posee. Un juego de movimientos peristálticos (debidos a la muscular externa) permite un movimiento del total del alimento, que permite tanto su digestión como su posterior absorción y para que el sobrante no sea retenido, lo cual podría causar graves trastornos. Las **glándulas del intestino delgado son**:

- **Glándulas de Brunner**. Son tubuloso-acinosas compuestas; se incrustan en la submucosa, que invaden por completo, y desembocan en las Criptas de Lieberkühn. Sólo segregan mucus. Se localizan en la porción proximal del duodeno, así protegen el epitelio intestinal de la acidez del quimo procedente del estómago. Después ya se vierten los jugos biliares y pancreáticos que lo neutralizan.
- **Criptas de Lieberkühn**. Se trata de hendiduras tubulosas que no llegan a atravesar la muscular mucosa. Son las glándulas que segregan los enzimas intestinales: Peptidasas, sacarasa, maltasa, lactasa, lipasa intestinal y una poca cantidad de amilasa. Tienen la particularidad de que las células de la base (de Paneth) se dividen activamente; empujan lateralmente y obligan a una emigración de las más viejas hacia el extremo de las vellosidades, donde van desprendiéndose. Se calcula que, por este mecanismo, el epitelio intestinal se renueva cada tres o cuatro días.
- **Células caliciformes**. Segregan abundante moco protector (glucocálix) para evitar la acción directa de los enzimas pancreáticos, sobre todo.

Por debajo de la capa muscular externa se encuentra una **capa serosa ó adventicia**. Es una capa de tipo endotelial que se une a la pared digestiva mediante una estrecha banda de tejido conjuntivo. En realidad, es la continuación del mesenterio; y éste es, a su vez, continuación del peritoneo; el recubrimiento interno de la cavidad celómica abdominal.

El **peritoneo**, que envuelve y sostiene casi la totalidad de las vísceras del abdomen, es una serosa con dos hojas: una parietal que se adhiere a las paredes de la cavidad abdominal, y otra visceral que se encuentra en contacto directo con los órganos. Entre ambas está el líquido peritoneal. Al proyectarse desde las

paredes intestinales hacia las vísceras, el peritoneo forma unos repliegues (epiplones) a los que van los vasos y nervios destinados a los distintos órganos: el pequeño epiplón entre el hígado y el estómago, mesenterio que envuelve el intestino delgado y gran epiplón que desciende desde el estómago recubriendo las asas intestinales.

Control de la secreción intestinal.

Cuando el duodeno recibe el quimo, secreta dos hormonas: secretina y pancreozimina. La secretina, tras pasar a la sangre, actúa sobre el páncreas determinando una secreción hidroláctica rica en sales (sobre todo CO_3HNa). Se mezcla con el quimo neutralizándolo.

La pancreozimina también actúa sobre el páncreas estimulándole para la secreción enzimática (secreción ecubólica).

El estímulo por contacto y el acto reflejo en el plexo de Auerbach es, con mucho, el responsable de la secreción de las glándulas intestinales. Se regula, pues, automáticamente, si no hay alimento, no hay secreción.

A la regulación de la secreción biliar nos referiremos al hablar del hígado.

GLÁNDULAS ANEJAS

PÁNCREAS

Es una glándula de importancia vital por su secreción exocrina digestiva (proenzimas para digestión de todos los alimentos); y por su secreción endocrina (hormonal) en los islotes de Langerhans. El jugo pancreático está constituido por: amilasa pancreática, lipasa pancreática, enzimas proteolíticas (tripsina, quimotripsina, carboxipeptidasas).

Se extiende desde el asa del esófago hasta el bazo; tiene una forma que recuerda a una hoja gruesa muy alargada. El eje es, en realidad, el canal de la glándula digestiva (canal de Virsung), al que llegan canales de menor grosor procedentes de los acinos. Se trata de una glándula acinosa-compuesta, si se exceptúa la zona endocrina. Recibe terminaciones del S.N. neurovegetativo, de cuyo estímulo depende, en parte su actividad (como ya vimos, en el apartado anterior, el control es preferentemente hormonal). Segrega unos 1200 ml diarios.

HÍGADO

Se trata de una glándula muy voluminosa (1'5 Kg) y muy complicada histológica y fisiológicamente. Es la víscera que más funciones desempeña en el organismo. Los hepatocitos sintetizan casi todas las proteínas disueltas en el plasma sanguíneo; regula la concentración en la sangre de los principales nutrientes (glucosa, aminoácidos y ácidos grasos); elimina de la sangre el NH_3 y otros desechos de glóbulos rojos desintegrados, transformados para otros usos o para la excreción renal (urea), etc. Desde el punto de vista de la digestión, es una glándula que no segrega enzimas, sino una serie de productos que sirven para: neutralizar el quimo; emulsionar las grasas y facilitar su digestión y absorción.

Los hepatocitos forman una malla de superficies celulares monoestratificadas. La sección transversal de estas capas da la imagen de espacios hexagonales con hileras de células en dirección radial. En los espacios de esta malla se encuentran:

- la **vena porta** (que recoge la sangre procedente de las venas esplénica, gástrica e intestinal) que, se ramifica lateralmente repetidas veces hasta dar unas vénulas que parecen situadas (en cortes histológicos) en el centro de una red de espacios hexagonales confluentes. Estas vénulas vuelven a confluir en la vena suprahepática. Por tanto el sistema porta se capilariza una vena para dar lugar a otra vena (situación única).
- La **arteria hepática**, se capilariza y se continúa en la vena suprahepática (única vena que sale del hígado).
- Una red de **vasos linfáticos**, cuyo líquido rellena completamente todos los espacios intersticiales (espacios de Disse).
- Los **canaliculos intercelulares**, que terminan por formar los conductos de la bilis; se van reuniendo hasta formar el **conducto hepático**; éste presenta una ramificación lateral (**conducto cístico**) que se

ensancha para formar la **vesícula biliar**; reservorio de la bilis producida por los hepatocitos. En los vértices de los hexágonos convergen los conductillos biliares, los capilares venosos y los arteriales.

Tanto el conducto hepático como la vesícula son capaces de reabsorber agua y otros productos, de tal manera que espesan o concentran la bilis. De la vesícula se vacía la bilis a través del **conducto colédoco**, que desemboca en la ampolla de Vater.

- Pequeños plexos del S. N. neurovegetativo.
- El correspondiente tejido conjuntivo, que rellena espacios y da sostén a la estructura.

INTESTINO GRUESO

Comienza en el lado derecho, sobre la pala del hueso ilíaco. Es el tramo final del tubo digestivo, mucho más ancho que el íleon, con el que se une lateralmente a través de la **válvula ileocecal**. La parte que queda por debajo de esta válvula se llama ciego. También un poco lateralmente, a unos 4 ó 5 cm de la válvula ileocecal, se sitúa el **apéndice vermiforme**, sin función conocida en el hombre, cuya inflamación es muy frecuente, dando lugar a los ataques de apendicitis; se trata de infecciones agudas.

Hacia arriba se llama **colon ascendente**; pasa por debajo del hígado y estómago, **colon transverso**, y desciende por el lado izquierdo, **colon descendente** y pelviano, hasta colocarse detrás de la vejiga urinaria, donde gira en semicírculo y forma el recto, que desemboca en el ano.

Carece de función digestiva de importancia, al menos conocida. Tiene función absorbente, de agua, Na^+ y algunas vitaminas (B y K en especial), fruto de la simbiosis con las bacterias del colon (*E. coli*). Su misión más importante es almacenar y preparar las heces fecales. Para ello, el mucus segregado en las criptas de Lieberkühn y en las caliciformes es más espeso. Carece de vellosidades aunque presenta unos pliegues perpendiculares al curso del conducto (pliegues semilunares). Histológicamente, es notoria la disposición en cintas (**tenias**), longitudinales de la capa exterior de la muscular externa.

Los vasos sanguíneos de la submucosa se ensanchan en el último tramo del recto. Su dilatación excesiva es lo que da lugar a las **hemorroides**.

El ano es un esfínter de contracción voluntaria para controlar la defecación.

52.1.2. Digestión:

La digestión es un conjunto de procesos mecánicos y químicos destinados a desmenuzar los alimentos y degradar sus biopolímeros a monómeros; éstos son absorbidos e incorporados a la circulación sanguínea. algunos alimentos (agua, sales, vitaminas, monosacáridos,...) no sufren digestión, sino que se absorben directamente.

La digestión puede considerarse en tres tramos del tubo digestivo: boca, estómago e intestino delgado. En la boca se produce la trituración mecánica e insalivación; en el estómago tiene lugar un ataque químico importante, a pH ácido, y en el intestino se completa la hidrólisis y se realiza la absorción de los monómeros resultantes. En el intestino grueso se deshidratan y fermentan los residuos alimenticios, que se eliminarán en forma de heces. Los diversos procesos de la digestión se regulan por mecanismos de control nervioso y hormonal.

52.1.2.1. Aspectos mecánicos de la función digestiva y su regulación

MASTICACIÓN

Es un proceso mecánico de trituración del alimento, para aumentar la superficie de contacto de éste con los enzimas. La saliva facilita su disolución sobre y entre el alimento, lubrica el paso hasta el estómago. Tanto la masticación como la insalivación facilitan la digestión sobre todo la de los alimentos vegetales crudos. Los músculos maseteros son músculos de contracción voluntaria pero también actúan por actos reflejos, pueden ejercer una fuerza de unos 20 a 80 kg, pudiendo ejercer presiones de varios centenares de kg/cm^2 .

DEGLUCIÓN

Mediante movimientos voluntarios de la lengua se lleva el bolo alimenticio a la faringe; en ésta, a la altura de las amígdalas, hay un anillo con terminaciones nerviosas del trigémino¹, que informan al "centro de deglución del bulbo", de donde salen impulsos nerviosos a través del S. N. Autónomo hasta la faringe y al esófago, estos impulsos elevan la faringe y comienza una ola de dilatación-contracción del esfínter hipofaríngeo con el que comienza el esófago: el bolo alimenticio es impulsado hacia atrás y hacia el esófago sin posible retorno; durante este acto reflejo de corta duración (un segundo), se inhiben los impulsos nerviosos de la respiración.

Si el contacto con el alimento es breve, se provoca el acto reflejo de la deglución; pero si se hace ligeramente persistente, el reflejo se invierte y provoca el vómito.

PROGRESIÓN DEL ALIMENTO

En el esófago el alimento es empujado por la onda peristáltica que comienza en el esfínter hipofaríngeo. Las ondas peristálticas no son más que contracciones y relajaciones a lo largo del tubo digestivo. El anillo de fibras musculares anulares del esfínter hipofaríngeo se dilata primero para dejar paso al bolo alimenticio, luego se contrae detrás de él, después se relaja de nuevo. Su primera relajación es una excitación para las fibras musculares del anillo siguiente (se relajan y se contraen después), y así sucesivamente. La onda del esófago se transmite al cardias, abriéndolo para dar paso al estómago.

En el **estómago** los alimentos se almacenan. Su presencia provoca unas contracciones débiles (**ondas mezcladoras**), que mezclan los alimentos con el jugo gástrico y empujándolos hacia el píloro (zona del antro estomacal). Aquí las ondas se hacen más energéticas, y como el píloro sólo se abre en determinadas condiciones, el alimento es impulsado hacia atrás; así se mueve y se mezcla con el jugo gástrico hasta formar el quimo.

El pH ácido del estómago excita sus plexos nerviosos que, a través del bulbo, provocan contracciones muy fuertes hasta que cede el píloro dejando pasar unos cm^3 de quimo; este reflejo se repite cada veinte segundos.

La regulación del vaciamiento estomacal presenta dos sistemas:

- a) el pH ácido, el exceso de grasas, el exceso o defecto de concentración, etc. determinan el reflejo enterogástrico, que detiene el vaciamiento del estómago dando tiempo a que el intestino equilibre la alteración.
- b) La presencia de grasa determina la secreción de enterogastrona, hormona que, por vía sanguínea, llega al centro motor del bulbo y detiene el vaciamiento estomacal en pocos minutos, lo que permite la emulsión de las grasas en el intestino y digerirlas antes de que una nueva cantidad de quimo pase al intestino.

En el **intestino delgado** existen fundamentalmente los mismos movimientos que el estómago: mezcladores (por estímulo del alimento), e impulsores o peristálticos (que se inician con la presencia del quimo en el duodeno). La velocidad de progresión es de 1 cm/s, lo que hace que la permanencia del alimento en el intestino se prolongue a lo largo de entre tres y diez horas.

La expulsión de bilis y jugo pancreático se debe a que el peristaltismo abre la ampolla de Vater. El vaciamiento de la vesícula biliar obedece a estímulos nerviosos que provienen del bulbo, previamente excitado por la hormona colecistonina que segrega el intestino delgado ante la presencia de las grasas.

El vaciamiento en el **intestino grueso**, tiene lugar a través de la válvula ileocecal que, mientras dura la digestión y la absorción en el intestino delgado, permanece casi cerrada para impedir el vaciamiento rápido del íleon. Se abre por el peristaltismo intestinal, la caída de los restos al ciego provoca el cierre, de nuevo, del esfínter.

De los 500 ml diarios de restos alimenticios que penetran en el intestino grueso, se expulsan sólo unos 80 ml, ya que se absorbe casi toda el agua solidificando las heces. Hay movimiento mezcladores débiles (como los del íleon) y movimientos de progresión. Éstos se producen durante unos diez minutos en la primera hora que sigue al desayuno; son fuertes movimientos peristálticos provocados por el duodeno

¹ con la excitación del trigémino se pierde el control voluntario

(reflejo duodeno-cólico). Este reflejo también se provoca por irritación del colon, úlceras, etc., dando lugar a la colitis.

DEFECACIÓN

El ano es un esfínter doble, de músculo liso (interno) y estriado (externo). Cada músculo lleva su propia innervación. La presencia de heces en el recto lo distiende, esta señal se transmite a la médula que, mediante una corriente motora, relaja el esfínter interno y contrae otros músculos abdominales, de forma que la defecación sea efectiva. Esta corriente nerviosa del S. N. Autónomo puede anularse por otra corriente motora del S. N. consciente que cierra el esfínter del músculo estriado. La sensación de defecar desaparece y puede tardar horas en reaparecer.

52.1.2.2. Aspectos químicos de la digestión y su regulación

DIGESTIÓN DE LOS GLÚCIDOS

Los principales glúcidos digeribles de la dieta son los almidones y los disacáridos (sacarosa, lactosa). En la boca se inicia la digestión de los almidones, por medio de la **amilasa salival**, secretada sobre todo por las glándulas parótidas. Como resultado de esta digestión, los almidones se fragmentan para dar oligosacáridos (dextrinas), maltosa y algo de glucosa.

Sin embargo, la parte más importante de la digestión de los glúcidos tiene lugar en el **intestino delgado**, por acción de la **amilasa pancreática**, que completa la acción iniciada en la boca, convirtiendo los almidones en disacáridos (maltosa e isomaltosa). Todos los disacáridos, tanto los procedentes del almidón como los ingeridos en la dieta (sacarosa y lactosa), se hidrolizan a monosacáridos, por medio de enzimas específicos (**sacarasa, lactasa, maltasas**) localizados en el ribete en cepillo de las células del epitelio intestinal. Los monosacáridos resultantes pueden ser absorbidos, directamente por estas células.

En ciertas poblaciones numerosos adultos carecen de lactasa, lo que origina la enfermedad conocida como intolerancia a la lactosa. La enfermedad se caracteriza por diarreas y fermentaciones intestinales anómalas cada vez que se ingiere la leche.

DIGESTIÓN DE LOS LÍPIDOS

Aunque se conoce una lipasa gástrica, la práctica totalidad de las grasas se digiere en el intestino delgado, merced a la **lipasa pancreática**. Este enzima se secreta en forma de prolipasa, y se activa por la acción combinada de las sales biliares (gicocolatos, taurocolatos) y de una proteína específica (colipasa).

La acción de la lipasa consiste en hidrolizar uno o dos de los ácidos grasos unidos a un glicerol, con lo que se obtiene una mezcla de jabones (sales de ácidos grasos), sales biliares, y diversos glicéridos. Esta mezcla forma una emulsión, gracias a las propiedades surfactantes de sus componentes, y las microgotas de esta emulsión se absorben directamente, para pasar al sistema linfático. Así pues, la hidrólisis de las grasas en la digestión no es completa. En casos de insuficiente secreción pancreática u obstrucción de las vías biliares aparecen en las heces grasas sin digerir (estatorrea).

DIGESTIÓN DE LAS PROTEÍNAS

La digestión de las proteínas se inicia en el estómago, por la acción combinada del CIH, secretado por las **células parietales**, que las desnaturalizan por completo, y la **pepsina**, secretada por las **células principales**, que es una potente endopeptidasa. El pH óptimo de la pepsina es cercano al que existe en el estómago, es decir, entre 1 y 1'5. En realidad, las células principales no segregan pepsina, sino su zimógeno, el **pepsinógeno**. Éste se convierte en pepsina en la cavidad gástrica por la acción del CIH y también de forma autocatalítica:

CIH

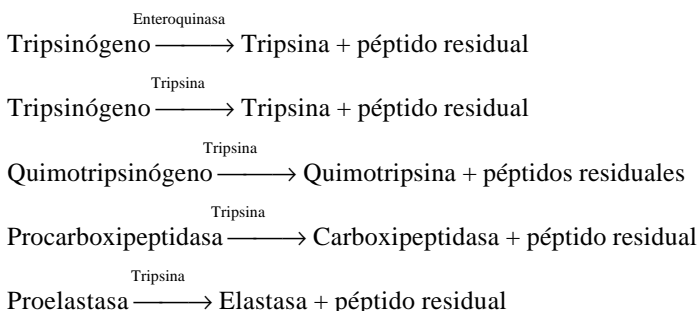
Pepsinógeno \longrightarrow Pepsina + péptido residual

Pepsina

Pepsinógeno \longrightarrow Pepsina + péptido residual

En el estómago, las proteínas se convierten principalmente en oligopéptidos. La hidrólisis total de éstos tiene lugar en el intestino delgado, por acción de cuatro **enzimas de origen pancreático** (tripsina, quimotripsina, carboxipeptidas y elastasa). Todos ellos secretados como zimógenos inactivos, que se activan en el duodeno.

La enteroquinasa que secretan las células intestinales, convierte el tripsinógeno en tripsina, y ésta activa a todos los zimógenos, tripsinógeno incluido.



Los pH óptimos de estos enzimas se hallan en la zona ligeramente alcalina (7-8); también el pH del intestino delgado es alcalino, debido a la absorción activa de H^+ y a la secreción pancreática de bicarbonato.

Por acción de estos enzimas, las proteínas se convierten en oligopéptidos, dipéptidos y aminoácidos libres. La hidrólisis de los péptidos se completa por la acción de las **peptidasas intestinales**: aminopeptidasas y dipeptidasas. Las células del epitelio intestinal son las encargadas de absorber los aminoácidos así liberados. Existen casos de incapacidad de digerir algunas proteínas; así los enfermos de celiaquía no pueden digerir la proteína gladína del trigo, y además esta proteína altera la absorción de las microvellosidades del epitelio intestinal.

DIGESTIÓN DE LOS ÁCIDOS NUCLEÍCOS

La digestión de los ácidos nucleicos tiene lugar en el intestino delgado gracias a las **endonucleasas** de origen pancreático (DNasa y RNasa). Los nucleótidos resultantes se hidrolizan por fosfoesterasas de origen intestinal. A su vez, los nucleósidos son absorbidos directamente por las células epiteliales del intestino que los transforman en base libre y en pentosa fosfato.

52.1.3. Absorción

Los alimentos se absorben al pasar de la luz del tubo digestivo a las células que forman sus paredes, y de allí, a los líquidos corporales (sangre y linfa). La absorción se realiza a través de la membrana plasmática de las células del epitelio intestinal.

La absorción de los lípidos tiene lugar mediante la captación de microgotas de la emulsión lipídica (pinocitosis). Como ya señalamos existen casos de esteatorrea debidos a la malabsorción de grasas (sprue).

Hay tres mecanismos por los cuales las demás sustancias químicas atraviesan las membranas: difusión pasiva, difusión facilitada y transporte activo.

- **Difusión pasiva.** Se realiza por movimientos de soluto a favor de gradiente. El flujo de difusión depende del área de la superficie de contacto, de la diferencia de concentraciones de ambos lados de la membrana, y de la naturaleza de las sustancias (las más lipofílicas difunden mejor). El intestino humano presenta una enorme superficie de contacto (unos 200 m² en el adulto) merced a las numerosas invaginaciones y repliegues, lo que permite entender la importancia de la difusión pasiva en los procesos de absorción intestinal. Los principales alimentos absorbidos por difusión pasiva son el agua, el etanol y las pentosas. También se absorben por difusión pasiva la inmensa mayoría de los fármacos, aprovechando que son moléculas lipofílicas.

- **Difusión facilitada.** Requiere la presencia de proteínas transportadoras específicas. En consecuencia, la cinética de la difusión facilitada, a diferencia de la pasiva, obedece a ecuaciones parecidas a las de la cinética enzimática; el sistema presenta "saturación" y, además, la difusión facilitada es "selectiva". El paso de solutos también se realiza a favor de gradiente.
En el caso de la absorción intestinal, la difusión facilitada tiene menos importancia que los otros mecanismos. La fructosa pasa, con mayor facilidad que las pentosas, gracias a este mecanismo.
- **Transporte activo.** También requiere proteínas transportadoras específicas, y presenta cinética de saturación. Su característica peculiar es que consume energía. Este consumo energético permite transportar solutos contra gradiente.
Este es mecanismo de absorción más importante de absorción intestinal. La glucosa, la galactosa, y todos los aminoácidos, se absorben por transporte activo.
Se conocen cinco transportadores específicos para los aminoácidos, cada uno de ellos para un grupo de aminoácidos: neutros de cadena corta, neutros de cadena larga (Val, Leu,...); ácidos (Glu, Asp); básicos (Lys, Arg), y N-sustituídos (Pro).
Los nucleósidos también se absorben por transporte activo. El propio transportador cataliza la fosforólisis del nucleósido, de manera que en el citoplasma aparece ribosa fosfato y base libre.

52.1.4. Principales enfermedades del tubo digestivo

Trastornos del esófago

- **Úlceras pépticas.** Se encuentran en la parte inferior del esófago cuando pasa jugo gástrico a esa parte al no cerrar bien el cardias.
- **Acalasia.** Se da cuando en los últimos cm del esófago no se relajan durante la deglución, haciendo difícil o nulo el paso de alimento.
- **Megaesófago.** Es una gran dilatación del esófago; suelen ser consecuencia de la acalasia. A veces puede llegar a un diámetro de 10 cm. Al acumularse el alimento en esa zona puede pudrirse, dando lugar a ulceración y en casos muy graves, a la muerte.

Trastornos gástricos:

- **Gastritis.** Inflamación de la mucosa del estómago.
- **Anacidez.** Consiste en una baja producción de CIH, que va acompañada de cese de secreción de pepsina, y el estómago no digiere o lo hace mal.
- **Úlcera péptica.** Es una escoriación de la mucosa por acción del jugo gástrico, ocasionada por producción excesiva de dicho jugo gástrico.
- **Anemia perniciosa.** Ocasionada porque al escasear el "factor extrínseco" no se absorbe la vitamina B₁₂ en el intestino delgado.
- **Vómito.** Es la forma por la que el estómago (a veces el duodeno) expulsan su contenido por irritación o excitabilidad grandes. Los impulsos aferentes van por el simpático y el parasimpático hasta el centro del vómito en el bulbo y la respuesta llega a través de los nervios craneales (V, VII, IX, XII). Consiste en una fuerte compresión muscular del estómago acompañada de inversión del peristaltismo; que empuja el contenido estomacal hacia el cardias. Cuando cede el cardias la expulsión es violenta.
El vómito puede ser provocado también en cualquier punto del duodeno e intestino delgado, pero con menor efectividad. Otras causas del vómito (mareo, náuseas, etc.) presentan una clara influencia química.

Otros trastornos del intestino delgado:

- **Pancreatitis.** Es la inflamación del páncreas. Se suele obstruir la ampolla de Vater y el colédoco. En consecuencia se acumulan los enzimas pancreáticos y, sobre todo tripsina, dando lugar a la autodigestión.
- **Ictericia.** Acumulación en la sangre de pigmentos biliares que dan a la piel color amarillento.
- **Hepatitis vírica.** Inflamación aguda del hígado producida por un virus. Tipo A: en niños, se transmite por vía oral-fecal. Tipo B: Adultos, transmisión por vía parenteral.
- **Cirrosis hepática.** Enfermedad crónica, progresiva e irreversible del hígado provocada por el exceso de alcohol
- **Sprúe.** Mala absorción de nutrientes, a pesar de haber habido buena digestión.
- **Ileitis.** Inflamación de la parte del íleon próxima a la válvula ileocecal.
- **Íleo.** Mecánico (por obstrucción intestinal), Dinámico (por trastornos de la motilidad intestinal)

Otros trastornos del intestino grueso:

- **Apendicitis.** Inflamación del apéndice vermiforme.
- **Estreñimiento.** Tránsito lento de las materias fecales en el intestino grueso y en el colon descendente; se almacenan sustancias secas y duras al disponer la mucosa de mucho tiempo para la reabsorción de agua. Cuando una persona anula con frecuencia el reflejo de la defecación, puede acabar padeciendo estreñimiento.
- **Diarrea.** Aceleración de materias fecales en el intestino grueso.
- **Gastroenteritis.** Infección del tubo digestivo, localizada o generalizada; en esas zonas la mucosa aparece irritada y segrega abundantemente.
- **Colitis ulcerosa.** Ulceración de grandes zonas de la pared del colon dando lugar a movimientos en masa casi continuos.

52.2. Excreción:

En el ser humano la excreción se realiza por órganos pertenecientes a diferentes aparatos: los riñones (orina), las glándulas sudoríparas (sudor), el hígado (bilis) y los pulmones (agua y CO₂).

En este tema exponemos el **aparato urinario**. Éste realiza la eliminación de productos tóxicos e innecesarios de la sangre, formando un líquido de excreción (orina).

Anatómicamente está formado por los dos riñones, los dos uréteres, la vejiga de la orina y la uretra.

52.2.1. Anatomía del Riñón

Los riñones son indispensables para la regulación del medio interno. Tienen un color rojo pardo y están situados en la cavidad abdominal, en posición posterior y a la altura de la última vértebra dorsal. Tienen forma de habichuela, con sus cavidades enfrentadas. Sus dimensiones medias son: 11 cm de alto, 7'5 cm de ancho y 2'5 de grueso. Por la parte media de su cavidad (**hilio**), penetran las arterias renales y salen las venas renales y los uréteres. En su parte superior tienen adosadas las **cápsulas suprarrenales**. En un corte longitudinal y de fuera hacia el centro, se observa:

- Una **cápsula** de tejido conjuntivo que mantiene al riñón levemente unido al tejido adiposo que lo rodea.
- Una zona cortical o **corteza** de color rojo oscuro, granulosa, de la que parecen partir columnas radiales (**columnas de Bertin**) hacia el centro.
- **Zona medular**, de aspecto rayado y color más claro, se sitúa entre la cortical y la pelvis renal. En ella se distinguen unas formaciones piramidales de aspecto radiado (**pirámides de Malpighi**).

Las **columnas de Bertin** (también llamadas columnas renales) son tabiques de separación de las unidades renales llamadas pirámides, con el vértice hacia el centro. Cada pirámide es un lóbulo compuesto de unas 20 o 30 subunidades (lobulillos). Muchos mamíferos tienen un sólo lóbulo en su riñón, en los humanos, aunque varía de unos a otros, el riñón es el resultado de la fusión de unos doce lóbulos.

Cada lóbulo o pirámide presenta hacia la pelvis renal un vértice romo en el que se observan de 20 a 30 papilas, que son las desembocaduras de los **conductos colectores** radiales a los que vierten las **nefronas**.

Acoplada al vértice de cada lóbulo se encuentra el **cáliz**: una cápsula hueca encargada de recoger la orina que excreta cada lóbulo. Todos los cálices se reúnen en el **uréter**. Los uréteres descienden a la **vejiga**, a la que conducen la orina procedente de los dos riñones y en la que se almacena hasta la expulsión, en el acto de la micción.

El riñón recibe la sangre por la gruesa arteria renal que al entrar en él, se subdivide progresivamente dando varias arterias, a partir de las que se forman las arterias en arcada, que recorren el riñón entre la corteza y la médula. De estas arterias en arcada, salen otras, que riegan la médula y la corteza. El sistema venoso renal tiene un recorrido de retorno paralelo al sistema arterial.

LA NEFRONA

También se les llama tubos uriníferos. En cada riñón hay unos cuatro millones de estas diminutas formas tubulares retorcidas.

Una nefrona comienza en la **cápsula de Bowman**, se continúa por el **túbulo contorneado proximal**, que se prolonga en dirección radial por el **asa de Henle**, (parte recta, muy delgada sobre todo en la base). Se continúa ésta por el **túbulo contorneado distal** por el que desemboca la nefrona en el tubo colector, común a más de cien nefronas. A su vez, la reunión de más de cien **conductos colectores** desembocan en un gran conducto papilar, uno de los 20 o 30 que forman las papilas de cada pirámide.

Se establece una íntima conexión entre las nefronas y los capilares sanguíneos, constituyendo ambos la verdadera unidad estructural y funcional del riñón. La capilarización sanguínea renal es muy espacial. En los **glomérulos** (red capilar arterial) encerrados en la cápsula de Bowman entra una arteriola aferente, se capilariza y vuelven a reunirse los capilares en la arteriola eferente (de menor diámetro), tras un corto recorrido vuelve ésta a capilarizarse en torno a los túbulos contorneados proximal y distal, constituyendo los capilares peritubulares, una de cuyas ramas acompaña al asa de Henle. Cápsula de Bowman y glomérulo vascular forman los **corpúsculos de Malpighi**.

El endotelio de los capilares glomerulares presenta unos poros de 0'1 micras (capilares fenestrados), rodeados por una capa basal muy fina de tejido conjuntivo.

El túbulo contorneado proximal tiene células con forma de pirámide con abundantes mitocondrias y con microvillis, dirigidos hacia la luz del tubo. En ésta zona se produce la máxima reabsorción de agua y sales. En el túbulo distal, por el contrario, no se observan microvillis.

52.2.2. Anatomía de los uréteres, vejiga y uretra

Los **uréteres** son dos tubos (uno de cada riñón) de una longitud comprendida entre los 25 y 30 cm. Arrancan de la pelvis renal e ingresan, separadamente y por detrás, en la vejiga de la orina. Están constituidos por tres capas que de fuera a dentro son: capa externa, de tejido conjuntivo; capa media muscular, de fibra lisa y mucosa interna.

El orificio por donde cada uréter desemboca en la vejiga presenta una válvula que impide que la orina regrese al uréter.

La **vejiga de la orina** es un órgano en forma de bolsa, sensiblemente esférica, cuando está llena. Puede llegar a retener más de 500 cm³ de orina. Está situada en la región de la pelvis y su pared contiene tres capas: la mucosa interna plegada de arrugas, la capa media muscular, compuesta por tres subcapas de músculo liso y la capa externa de tejido conjuntivo.

La vejiga desemboca por su parte anterior en la uretra a través del orificio uretral. En la desembocadura hay un esfínter de fibra lisa (esfínter vesical).

La **uretra** es un tubo que conduce la orina de la vejiga al exterior. En el hombre puede alcanzar unos 20 cm de longitud y discurre por el eje central del pene. En la mujer tiene unos 4 cm de longitud media y desemboca entre el clítoris y la abertura vaginal.

La uretra está rodeada en su arranque por un esfínter de fibra lisa (esfínter uretral) situado junto al vesical y en posición más externa respecto a él.

52.2.3. Fisiología del riñón. Filtración renal.

Dado que en el metabolismo se producen otras sustancias de desecho, aparte del CO_2 , como son la urea, la bilirrubina, la creatinina (derivada de la fosfocreatinina del músculo), el ácido úrico, etc. La sangre se libera de esas sustancias eliminándolas en forma de orina; este líquido se produce, a partir de la sangre, en el riñón. Al eliminar una serie de sustancias de manera selectiva, el riñón actúa como uno de los grandes reguladores de la constancia del medio interno, pues es capaz de modificar su composición, pH y osmolalidad.

FILTRADO GLOMERULAR

La sangre que circula por los capilares del glomérulo sufre un proceso de ultrafiltración; en este proceso, impulsado por la presión hidrostática de la sangre (la arteriola aferente del glomérulo tiene un diámetro mayor que la eferente), salen de los capilares agua y solutos (iónicos y moleculares) de pequeño tamaño: Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , glucosa, urea, aminoácidos, etc. El conjunto extravasado (filtrado glomerular), pasa al interior de la cápsula de Bowman. Contiene, en condiciones fisiológicas, todas las sustancias de desecho eliminables por la orina y muchas moléculas que no interesa eliminar, como la glucosa. En cambio carece de proteínas plasmáticas y células.

Un adulto produce unos 125 ml/min de filtrado glomerular. Si todo este volumen se eliminase en forma de orina, en seis horas se habría perdido toda el agua corporal. Esto no ocurre así por que hay un proceso de **reabsorción selectiva** de agua y solutos utilizables, de tal manera que la producción de orina concentrada es tan sólo de 1 ml/min. La reabsorción tiene lugar en los tramos siguientes de la nefrona.

REABSORCIÓN EN EL TÚBULO PROXIMAL

En el túbulo contorneado proximal se reabsorbe el 80 % del volumen del filtrado glomerular. La reabsorción se produce por transporte activo de solutos reutilizables (Na^+ , glucosa y aminoácidos principalmente).

La glucosa y el sodio penetran en las células del túbulo por transporte activo aprovechando que la concentración de Na^+ en el filtrado, como en la sangre, es muy superior a la de las células. Los aminoácidos tienen otro sistema de transporte activo. La reabsorción de agua se produce por ósmosis, acompañando a los solutos.

Cuando los niveles de glucosa en sangre son muy altos (superiores a 4 g/l) los transportadores de glucosa en el túbulo se saturan, y parte de la glucosa no se reabsorbe. Aparece glucosa en la orina (glucosuria), es el caso de la diabetes mellitus.

REABSORCIÓN EN EL ASA DE HENLE

En el asa de Henle se regula sobre todo la concentración final de iones en la orina. Hay que distinguir el tramo descendente del ascendente. Sólo en este último se dan procesos de transporte activo.

En el **tramo ascendente** se expulsa por transporte activo Na^+ y Cl^- . Este tramo es impermeable al agua y, como consecuencia, el medio extratubular se hace más concentrado en sal, y atrae, por difusión pasiva, el agua del **tramo descendente**. De este modo, al final del asa de Henle, el filtrado glomerular ha reducido su volumen hasta un 15 % del inicial, pero gran parte del Na^+ y del Cl^- que contenía se ha reabsorbido, con lo que el filtrado es hipotónico con respecto al plasma y al medio intersticial.

REABSORCIÓN EN EL TÚBULO DISTAL Y TÚBULO COLECTOR

En el túbulo distal se modula la concentración definitiva de Na^+ en la orina, según las necesidades metabólicas de este catión. En el túbulo hay proteínas específicas para el transporte activo de sodio, susceptibles de regulación por la hormona **aldosterona**. La reabsorción de agua en el túbulo distal ocurre por difusión pasiva, hasta que el filtrado se hace isotónico con el medio intersticial.

La pared de los túbulos colectores es casi impermeable al Na^+ ; su permeabilidad al agua esta regulada por la hormona **vasopresina** o adiuretina. Los túbulos colectores atraviesan una zona hipertónica, originada por el asa de Henle, con lo cual el agua puede abandonar el túbulo, según las necesidades fisiológicas controladas por la vasopresina, y adquirir así la orina su concentración y volumen definitivos. Éste suele

ser de 1 ml/min, lo que equivale a eliminar solamente el 0'8 % del agua filtrada en el glomérulo. La insuficiencia patológica de vasopresina origina orinas muy abundantes y diluidas (diabetes insípida).

Otra función muy importante de los túbulos colectores es el intercambio de los iones Na^+ , por K^+ , NH_4^+ ó H^+ , lo que permite el ajuste fino de la composición salina y el pH del medio interno.

El control renal del pH se basa en la capacidad del tubo colector para intercambiar los H^+ por K^+ y NH_4^+ , manteniendo el pH sanguíneo, mientras que el de la orina puede oscilar entre 4'6 y 8.

ELIMINACIÓN DE OTRAS SUSTANCIAS

Las sustancias tóxicas, tanto producidas por el metabolismo (histamina, bilirrubina, hormonas esteroideas, etc.) como procedentes de la dieta (colorantes, fenoles,...) o de tratamientos farmacológicos (aspirina, sulfamidas,...), deben eliminarse sistemáticamente por la orina. El hígado y el riñón juegan un importante papel en la **destoxificación**. En el hígado se producen una serie de reacciones (oxidación, reducción, esterificación, metilación,...) que tienden a disminuir la actividad metabólica de estas sustancias y aumentar su solubilidad en agua, lo que facilita su eliminación por la orina.

Una de las reacciones más importantes, del hígado y del riñón, es la formación de derivados del ácido glucurónico (glucurónidos).

Además del filtrado glomerular, que permite transferir los tóxicos de la sangre a la orina, puede producirse una **excreción tubular** con lo que se consigue una eliminación más efectiva que la de la propia urea o creatinina.

Cuando una sustancia se encuentra en pequeña cantidad en el filtrado glomerular, no pasa a la orina porque es reabsorbida. Si la cantidad de esa sustancia aumenta, pasará cierta cantidad a la orina. La concentración de una sustancia en la sangre en el punto en que empieza a aparecer en la orina es el **umbral renal**. Éste varía para cada sustancia.

Una función fundamental del riñón es aclarar o depurar la sangre de cualquier sustancia. La relación entre la cantidad de líquido reabsorbido y la cantidad de sustancia reabsorbida (ml/mg) expresa el índice de aclarado de esa sustancia.

MICCIÓN

La orina es el producto resultante del filtrado glomerular, reabsorción tubular y secreción tubular. Emigra por los tubos colectores llegando primero a los cálices renales, de ellos a la pelvis renal y de allí, por los uréteres a la vejiga.

La conducción de orina por los uréteres se lleva a cabo por contracciones rítmicas de la capa media de la musculatura lisa, producida cada 4 o 5 minutos.

La vejiga sirve de almacén a la orina. Gracias a la estructura de sus paredes, que se van distendiendo progresivamente, la vejiga va acumulando orina, sin que apenas aumente la presión interna. Cuando se acumulan unos 500 ml de orina, la vejiga se acerca a su límite de distensión. Se produce un brusco aumento de presión que dispara un acto reflejo que relaja el esfínter vesical, y se siente deseo de orina. Sin embargo la micción o salida de la orina al exterior no ocurre hasta que, de forma voluntaria (o involuntaria) se relaja el esfínter uretral. El control voluntario se va adquiriendo a lo largo de los primeros años de vida.

Una persona produce de 1200 a 1500 ml de orina al día, aunque estas cantidades pueden variar considerablemente dependiendo del volumen de agua bebida y de las condiciones ambientales.

La orina es un líquido de color amarillento y pH ligeramente ácido. Su color se debe al pigmento urocromo. La **composición de la orina** de un individuo sano contiene: agua (94-96 %), un 2-3 % de iones inorgánicos (Cl^- , HCO_3^- , HPO_4^- , H_2PO_4^- , $\text{SO}_4^{=}$, Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+}); sustancias orgánicas [urea, ácido úrico, creatinina (más abundante en el hombre que en la mujer, dado su mayor volumen muscular), determinadas hormonas, urobilina procedente de la degradación de la bilirrubina, etc.] y células procedentes de las vías urinarias.

El análisis de orina tiene interés clínico pues, en el transcurso de muchas enfermedades, pasan a ella algunos componentes anormales lo que permite orientar el diagnóstico.

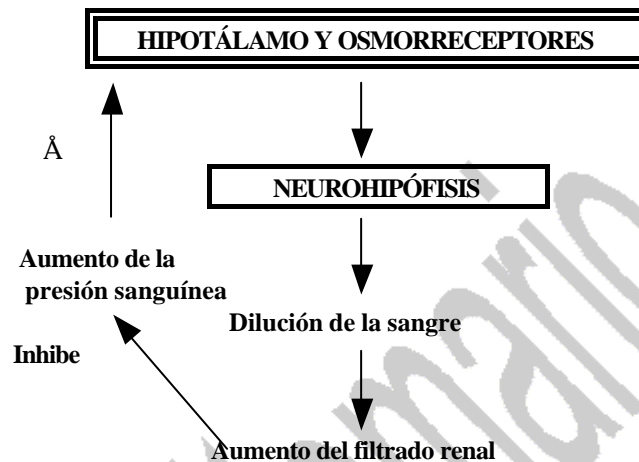
52.2.4. Regulación de la excreción

La regulación del volumen y concentración de los líquidos interiores depende de los riñones, las glándulas sudoríparas, etc. La coordinación de estos órganos depende fundamentalmente del sistema hormonal aunque también interviene el sistema nervioso. Vamos a exponer dos de los mecanismos de regulación de la excreción renal.

➤ **REGULACIÓN POR LA VASOPRESINA (ADH)**

La vasopresina, segregada por la neurohipófisis, regula la cantidad de agua absorbida por los túbulos de la nefrona. Está, a su vez, bajo el control de los llamados **osmorreceptores** localizados en los núcleos supraópticos del hipotálamo que controlan la concentración de la sangre.

Cuando la concentración de la sangre es alta, envían impulsos que por las fibras nerviosas llegan a la neurohipófisis y se libera la vasopresina que, a través de la sangre, llega a las nefronas y allí incrementa la permeabilidad de los túbulos al agua, absorbiéndola y disminuyendo la concentración de la sangre. Cuando ésta alcanza valores normales los osmorreceptores no estimulan la secreción de vasopresina.

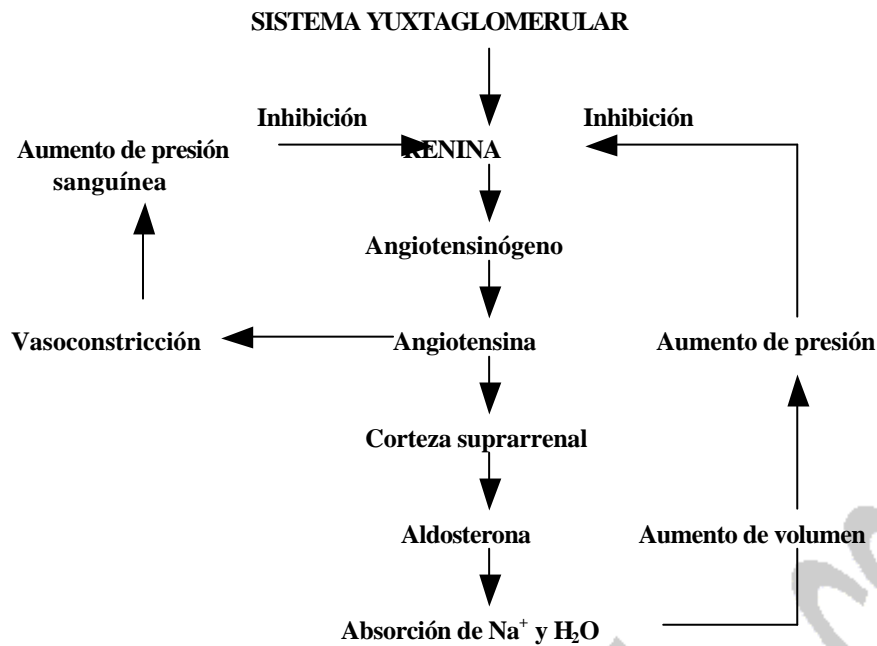


Si se bebe mucho líquido, se reabsorbe poca agua y se excreta una orina abundante y muy diluida. En caso contrario sucede el fenómeno opuesto.

➤ **SISTEMA RENINA-ANGIOTENSINA-ALDOSTERONA.**

Cuando se produce un descenso en la presión sanguínea, la cantidad de ésta que se filtra a través del glomérulo es menor y también será menor el volumen de orina excretado. Para restablecer la normalidad está el siguiente mecanismo regulador.

En el caso indicado, las células yuxtaglomerulares secretan la hormona renina, que, al pasar a la sangre, reacciona con el angiotensinógeno formando la angiotensina que produce vasoconstricción en la arteriola eferente y, en consecuencia, hace aumentar la presión intraglomerular pasando más filtrado a través de la cápsula de Bowman.



Por otra parte, la angiotensina actúa sobre la corteza suprarrenal para aumentar la secreción de aldosterona. Esta hormona aumenta la reabsorción de Na y agua en los túbulos renales, sobre todo en el colector. De esta manera se incrementa el volumen sanguíneo, y la presión en la sangre vuelve a la normalidad inhibiéndose la producción de renina.

52.2.5. Trastornos excretores

- **Cólico nefrítico.** Es un dolor brusco e intenso que indica una rápida distensión del uréter y de la pelvis renal, provocado por el avance de algún cálculo renal, se le conoce también como litiasis renal.
- **Cistitis.** Inflamación de la vejiga de la orina, más frecuente en la mujer.
- **Insuficiencia renal.** Incapacidad del riñón para eliminar los productos de desecho, Ver uremia. Puede ser aguda (se eliminan menos de 400 cc/día); Crónica (el fallo aparece de forma lenta y progresiva).
- **Hidronefron.** Se trata de una distensión del riñón y vías urinarias por la orina, cuyo flujo se interrumpe.
- **Piurias.** Presencia de pus en la orina, producto de cualquier infección.
- **Proteinurias.** Presencia de albúmina o globulinas en la orina.
- **Hematuria.** Emisiones de sangre mezclada con la orina.
- **Poliuria.** Excreción de orina más abundante de lo normal (hasta 3-4 litros diarios).
- **Uremia.** Acumulación en la sangre de los productos de degradación del metabolismo proteico. Generalmente va acompañada de cierto letargo, deterioro mental, sacudidas musculares, anemia.
- **Acidosis.** Aparece con frecuencia en enfermedades renales crónicas al no excretarse los productos ácidos.
- **Nefritis con pérdida de sal.** Supone la pérdida de Na por la orina. No funcionan los mecanismos de reabsorción de sodio. Estas personas deben tomar sal.

- **Diabetes insípida.** Si, por cualquier causa, disminuye la secreción de vasopresina se segrega un volumen muy importante de orina muy diluida (5-15 litros diarios)
- **Algunos trastornos de la micción:** Disuria (micción dolorosa); Polaquiuria (el enfermo orina muy a menudo); Tenesmo vesical (deseo imperioso que no desaparece tras la micción); retención urinaria (imposibilidad de orinar); incontinencia (falta de control sobre la micción debido a causas psíquicas u orgánicas).