

Capítulo 43. Homeostasis I: excreción y balance de agua

La homeostasis -el mantenimiento de un medio interno constante- es el resultado de una variedad de procesos dentro del cuerpo de un animal. Una de las funciones homeostáticas más críticas es la regulación de la composición química de los fluidos corporales. Esta función, en los vertebrados, es llevada a cabo primariamente por los riñones.

El mantenimiento del balance hídrico implica igualar la ganancia y la pérdida de agua. La principal fuente de ganancia de agua en la mayoría de los mamíferos se encuentra en la dieta; también se forma agua como resultado de la oxidación de las moléculas de nutrientes. Se pierde agua en las heces y en la orina, por la respiración y a través de la piel. Aunque la cantidad de agua absorbida y eliminada puede variar notablemente de un animal a otro y también de un momento a otro en el mismo animal, el volumen de agua del cuerpo permanece constante. Los principales compartimientos acuíferos del cuerpo son el plasma, los fluidos intersticiales (incluyendo a la linfa), y los fluidos intracelulares. El principal factor que determina el intercambio de agua entre los compartimientos del cuerpo es el potencial osmótico.

La unidad funcional del riñón es el nefrón. Cada nefrón está formado por un túbulo largo, unido a un bulbo cerrado -la cápsula de Bowman -, que contiene un racimo de capilares retorcidos, el glomérulo. Cuando el filtrado efectúa su largo viaje a través del nefrón, las células del túbulo renal reabsorben selectivamente moléculas del filtrado y secretan otras moléculas en él. El exceso de agua y los productos de desecho son excretados del cuerpo como orina. La conservación de agua en los mamíferos es posible por la capacidad de excretar una orina que es hipertónica en relación con la sangre a través del asa de Henle . La función del nefrón es influida por hormonas.

Regulación del medio químico

Los animales contienen aproximadamente un 70% agua. Alrededor de dos tercios de esta agua se encuentra dentro de las células; el tercio restante se encuentra en el líquido extracelular que rodea, baña y nutre a las células. Así, el fluido extracelular es para las células del cuerpo de un animal como el mar para los organismos unicelulares. La regulación de la composición del plasma es un factor clave en el mantenimiento del medio químico en todo el cuerpo de un vertebrado.

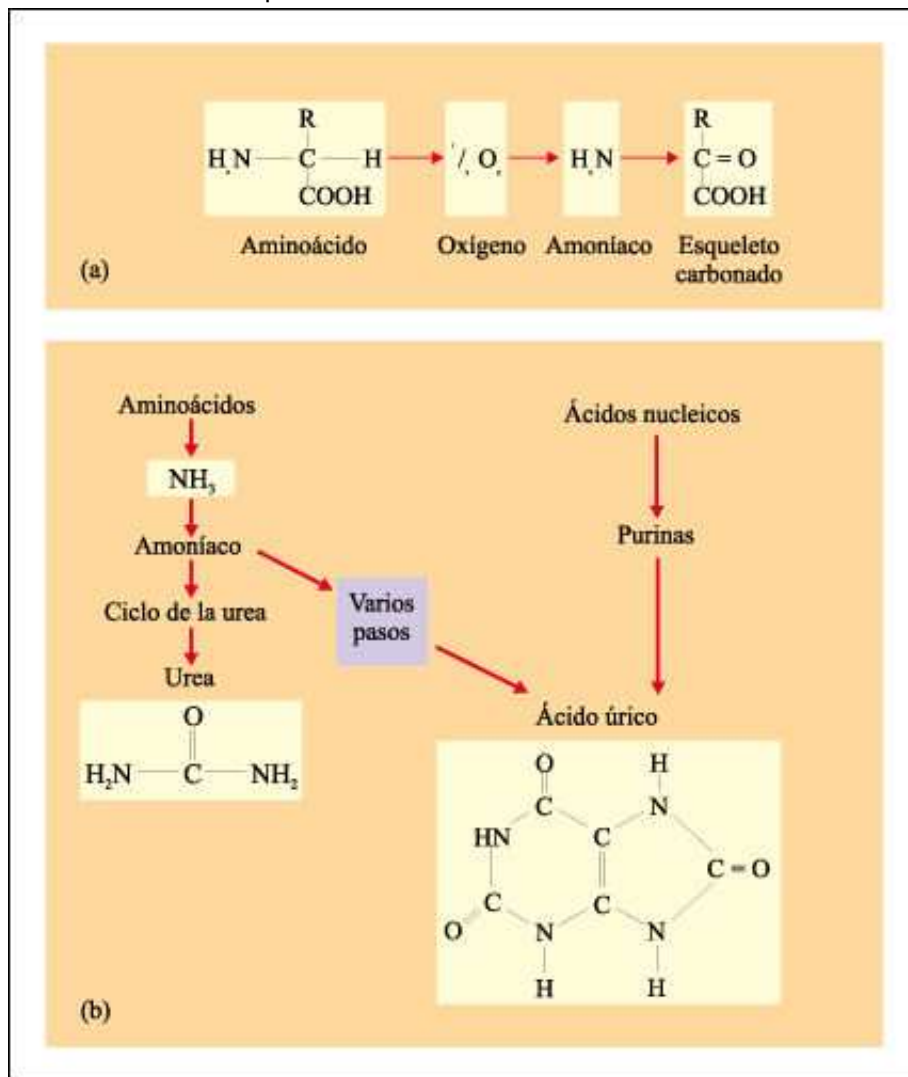
Esta función, que en los vertebrados es llevada a cabo primariamente por los riñones, implica:

1. la excreción de productos de desecho tóxicos, especialmente los compuestos nitrogenados producidos por la degradación de los aminoácidos,
2. el control de los niveles de iones y otros solutos en los fluidos corporales y
3. el mantenimiento del balance hídrico.

La sangre puede funcionar como un eficiente medio de suministros y de "limpieza" debido a que los desechos celulares continuamente son eliminados de ella por medio de la excreción. La excreción de sustancias desde el torrente sanguíneo es un proceso muy selectivo de control, análisis, selección y rechazo.

En muchos invertebrados y en todos los vertebrados, la composición de la sangre y, por lo tanto, del medio químico interno, es regulada en gran medida por órganos excretores especiales. Estos órganos incluyen los protonefridios de las planarias, los metanefridios de los moluscos y anélidos, los túbulos de Malpighi de los insectos y los riñones de los vertebrados. Sin embargo, los procesos de secreción y reabsorción selectiva que se desarrollan en los tubos excretores son comunes a todos ellos: excepto en la etapa inicial del proceso.

Los animales que viven en agua salada, agua dulce y ambientes terrestres mantienen la composición de los fluidos corporales por diferentes mecanismos. Los animales terrestres generalmente necesitan conservar agua.



Degradación de los aminoácidos.

a) El primer paso en la degradación de los aminoácidos es la desaminación, es decir, la eliminación del grupo amino. Los productos de reacción son el amoníaco y un esqueleto de carbono que puede ser, a su vez, degradado y proporcionar así energía o ser convertido en azúcar o grasa. b) A partir del amoníaco, se produce urea en los mamíferos y ácido úrico en las aves, reptiles terrestres e insectos.

Los principales productos metabólicos de desecho que vierten las células al torrente sanguíneo son dióxido de carbono y compuestos nitrogenados, en particular amoníaco producidos por la degradación de aminoácidos. El dióxido de carbono difunde desde el interior del cuerpo hacia el medio externo a través de las superficies respiratorias. En los animales acuáticos simples, el amoníaco también pasa por difusión desde el cuerpo hacia el agua circundante. El amoníaco es altamente tóxico, aun en bajas concentraciones y en animales acuáticos más complejos -y en todos los animales terrestres- no es posible la difusión rápida de amoníaco desde las células al medio externo.

Existe un mecanismo por el que esta sustancia es convertida en alguna sustancia no tóxica que puede ser transportada en forma segura dentro del cuerpo hasta los órganos de excreción.

Todas las aves, reptiles terrestres e insectos convierten sus desechos nitrogenados en cristales o sales de ácido úrico, un producto que necesita muy poca agua para ser excretado. En los mamíferos, el amoníaco resultante del procesamiento de los desechos nitrogenados se convierte rápidamente en el hígado en urea que difunde al torrente sanguíneo.

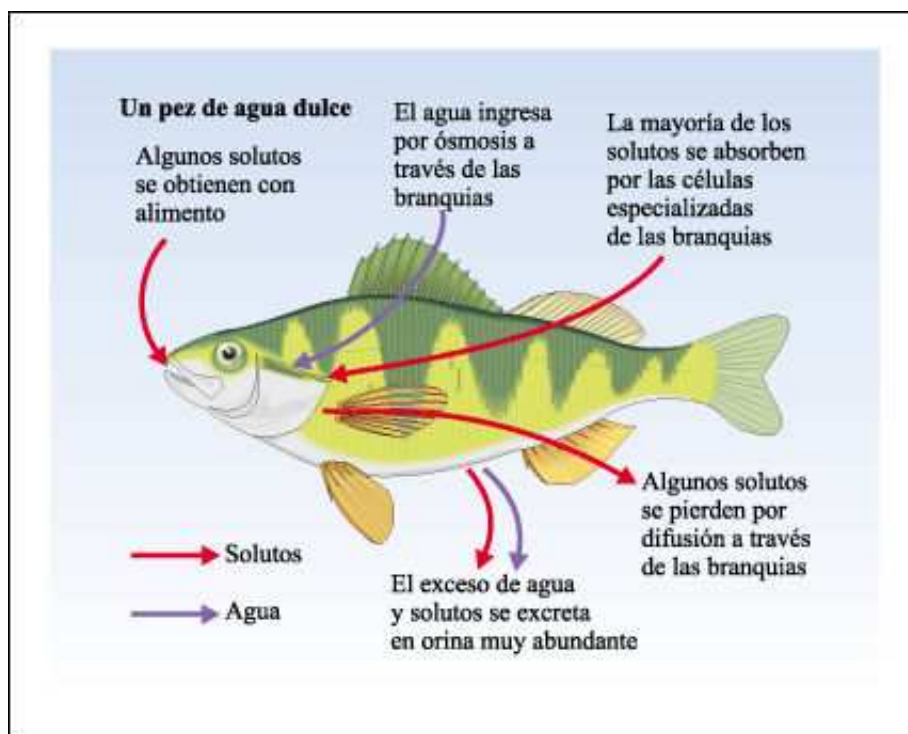
La urea es un compuesto relativamente no tóxico que es llevado luego a los riñones. Sin embargo, a diferencia del ácido úrico, tiene que disolverse en cierta cantidad de agua antes de su excreción.

La excreción es un proceso altamente selectivo. Aunque los riñones tienen una función excretora, es más correcto considerarlos órganos reguladores. La regulación química no sólo implica la retención de moléculas de nutrientes tales como la glucosa y los aminoácidos, sino también el mantenimiento de concentraciones cuidadosamente controladas de los iones. Iones tales como el Na^+ , K^+ , H^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} y HCO_3^- desempeñan papeles vitales en el mantenimiento de la estructura de las proteínas, de la permeabilidad de la membrana plasmática y del pH sanguíneo, así como en la propagación del impulso nervioso y en la contracción de los músculos.

Balance hídrico

El balance del agua es un problema común del que no escapa ningún ser vivo. El agua es esencial para la vida. En ciertos ambientes tiende a perderse con demasiada facilidad y en otros tiende a ingresar dentro de los organismos hasta un punto en el que puede peligrar la vida.

El agua se mueve de un lugar a otro por ósmosis a causa de una diferencia de potencial osmótico. Los organismos más primitivos probablemente tenían una composición de sales y minerales muy semejante a la del ambiente en el cual vivían y eran, seguramente isotónicos, de modo que el agua no tendía a entrar ni a salir del cuerpo de estos organismos por ósmosis. En algún momento, ciertos organismos se trasladaron al agua dulce (un medio hipotónico) y debieron afrontar el problema de que el agua dulce tendía a penetrar en sus cuerpos.



Vías por las cuales el agua y los solutos se ganan y se pierden en un pez de agua dulce.

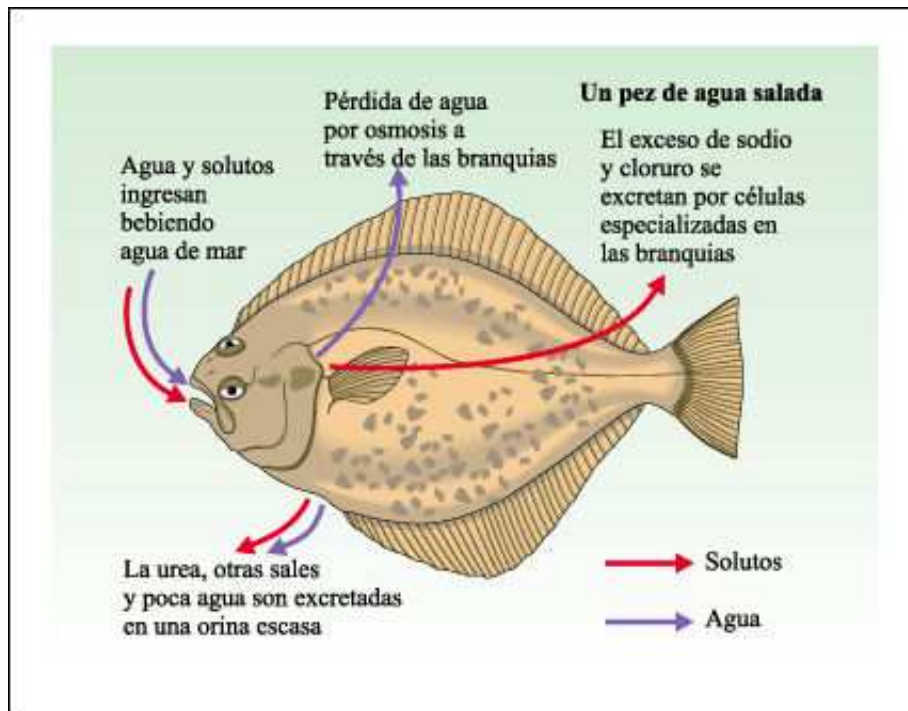
Dado que los fluidos corporales son hipertónicos respecto al medio exterior, el agua tiende a entrar al cuerpo del pez por ósmosis, a través del epitelio branquial. El exceso de agua es eliminado del cuerpo por los riñones y excretada en la orina, que está mucho más diluida que los fluidos corporales. Aunque los riñones reabsorben el grueso de los solutos esenciales, algunos se pierden, no obstante, en la orina y otros abandonan el cuerpo por difusión, a través de las branquias. Estos solutos son reemplazados principalmente por la acción de células especializadas en la absorción de sales que se encuentran en las branquias y, en menor grado, por la dieta.

Cuando algunos peces se trasladaron a los mares se enfrentaron con la posible pérdida de agua hacia el medio ambiente, principalmente por ósmosis a través de las superficies respiratorias de las branquias.

Algunos peces mantienen los fluidos corporales con una concentración de sales similar a la de las aguas oceánicas que los rodean. El exceso de sales se secreta principalmente por medio de una

glándula rectal.

Los peces óseos tienen fluidos corporales hipotónicos con respecto al medio marino y estarían en peligro constante de perder tanta agua que sus células podrían morir deshidratadas.



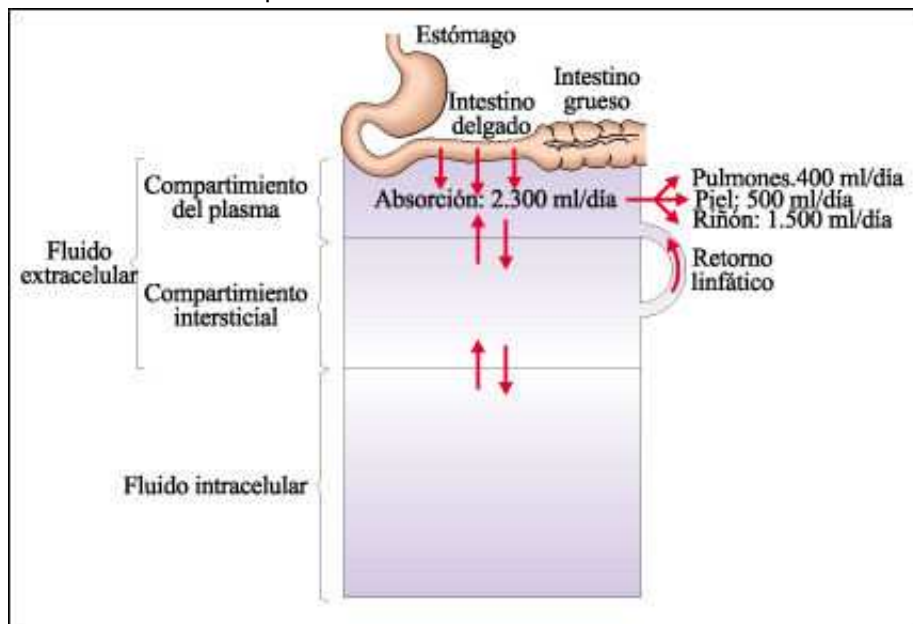
Vías por las cuales el agua y los solutos se ganan y se pierden en un pez óseo marino.

Como los fluidos corporales son hipotónicos con respecto al medio externo, el agua deja el cuerpo del pez por ósmosis, a través de las branquias. También se pierde agua en la orina en la que se disuelve la urea eliminada de la sangre por los riñones. El pez mantiene sus niveles de fluidos internos bebiendo agua de mar, que contiene solutos. Los iones sodio y cloruro en exceso se eliminan de la sangre y se excretan por acción de células branquiales especializadas; los iones magnesio y sulfato son eliminados por los riñones y excretados en la orina.

Dado que los animales terrestres no siempre tienen un fácil acceso al agua dulce o salada, regulan el contenido de agua de otras maneras, equilibrando las ganancias y las pérdidas. Ganan agua bebiendo líquidos, comiendo alimentos que contienen agua y en el producto final de ciertas reacciones metabólicas, como los procesos oxidativos que ocurren en las mitocondrias. Algunos animales pueden obtener toda el agua necesaria de su alimento y de la oxidación de las moléculas de nutrientes y, por lo tanto, no requieren líquidos.

El agua se pierde desde los pulmones en forma de aire húmedo exhalado, por evaporación en la piel, por eliminación con las heces y por medio de la orina.

El cuerpo de los vertebrados tiene tres compartimientos hídricos principales: 1) el plasma, 2) el líquido intersticial y la linfa y 3) el fluido intracelular, el fluido existente dentro de las células. El agua se mueve constantemente de un compartimiento a otro.



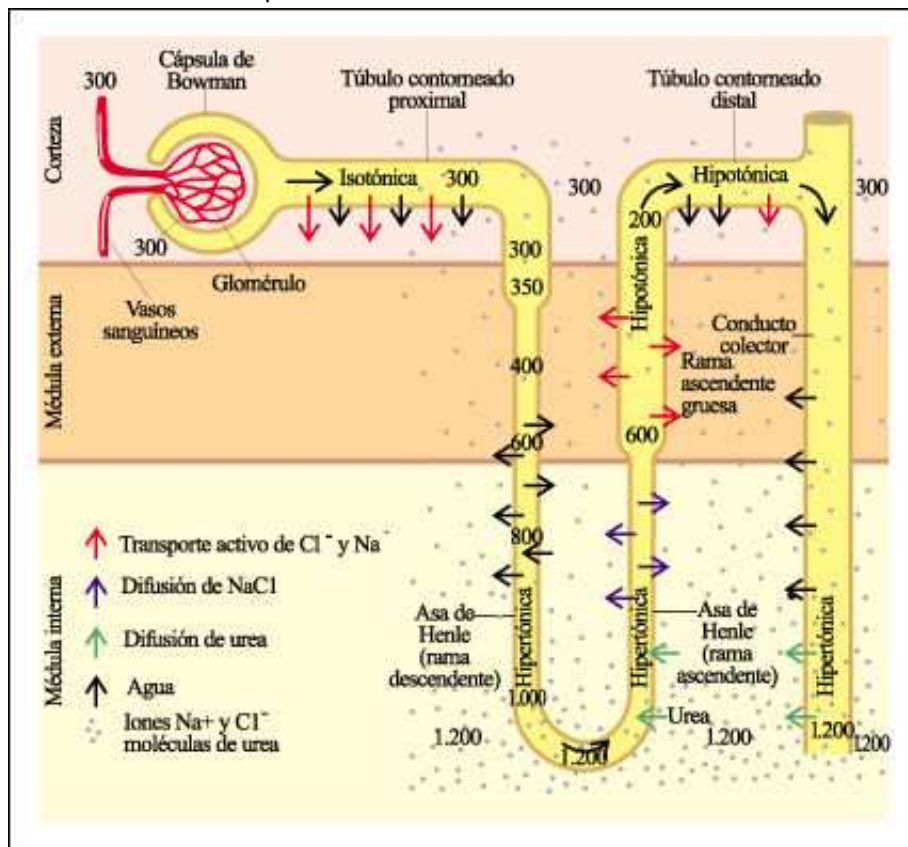
Los compartimientos de fluidos del cuerpo humano, mostrando las principales rutas de intercambio entre ellos.

El fluido intersticial forma el ambiente en el cual las células del cuerpo viven y se multiplican. Las flechas indican intercambios entre varios compartimientos. Un volumen plasmático relativamente constante es de importancia extrema en el mantenimiento de la presión sanguínea estable y en el funcionamiento cardíaco normal.

Diversos factores afectan el movimiento de agua entre los compartimientos. La deshidratación y funcionamientos fisiológicos defectuosos llevan a la acumulación de fluidos intersticiales.

El riñón

En los vertebrados, las funciones complejas que actúan en la regulación de la composición química de los fluidos corporales son llevadas a cabo principalmente por el riñón. Los vertebrados tienen dos riñones. La unidad funcional del riñón es el nefrón. Cada nefrón está formado por un túbulo largo, unido a un bulbo cerrado -la cápsula de Bowman-, que contiene un racimo de capilares retorcidos, el glomérulo. La sangre que entra al glomérulo está bajo suficiente presión para forzar al plasma a atravesar las paredes capilares y entrar en la cápsula de Bowman. Las proteínas más grandes no atraviesan estas paredes. Cuando el filtrado efectúa su largo viaje a través del nefrón, las células del túbulo renal reabsorben selectivamente moléculas del filtrado y secretan otras moléculas en él. La glucosa, los aminoácidos, la mayoría de los iones y una gran cantidad de agua son devueltos a la sangre a través de los capilares peritubulares. El exceso de agua y los productos de desecho, incluida aproximadamente la mitad de la urea presente en el filtrado original, son excretados del cuerpo como orina. Así, la formación de orina involucra la filtración, la secreción, la reabsorción y la excreción.



Formación de orina hipertónica en el nefrón humano.

El filtrado que entra en el túbulo contorneado proximal es isotónico con respecto al plasma sanguíneo. Los iones sodio son bombeados desde el túbulo hacia afuera, y los iones cloruro los siguen pasivamente. Así, el filtrado permanece isotónico porque el agua también se mueve hacia afuera por ósmosis.

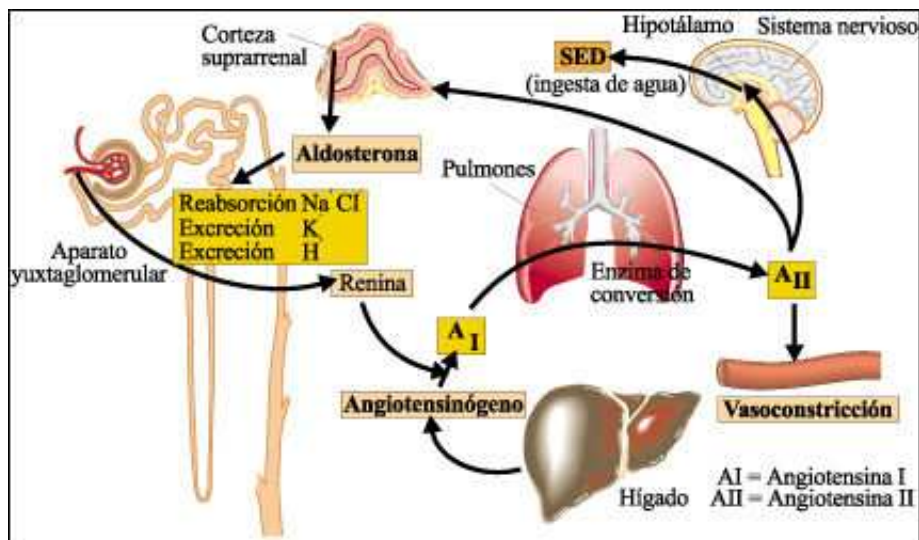
Cuando el filtrado desciende por el asa de Henle se va concentrando a medida que el agua se mueve por ósmosis hacia la zona circundante de alta concentración de solutos. Esta alta concentración se genera por la acción de las células de la pared de la rama ascendente gruesa del asa de Henle, que bombean hacia el intersticio iones sodio y cloruro, y por la difusión de la urea hacia afuera de la porción inferior del conducto colector -fenómeno que se intensifica en presencia de la hormona antidiurética (ADH)-. Dado que la pared de la rama ascendente del asa es impermeable al agua, el filtrado se vuelve cada vez menos concentrado a medida que el cloruro de sodio es bombeado hacia afuera. En el momento en que alcanza el túbulo contorneado distal, es hipotónico con respecto al plasma sanguíneo y permanece hipotónico a lo largo de todo el túbulo distal. Luego el filtrado desciende por el conducto colector, atravesando una vez más la zona de alta concentración de soluto.

Desde este punto en adelante, la concentración de la orina depende de la presencia de ADH. Si no hay ADH presente, la pared del conducto colector no es permeable al agua, no se elimina agua adicional y se excreta una orina menos concentrada. Si hay ADH presente, las células del conducto colector son permeables al agua, que se mueve por ósmosis hacia el fluido que lo rodea, como se muestra en el diagrama. En este caso, una orina concentrada (hipertónica) desciende a lo largo del conducto hacia la pelvis renal, el uréter, la vejiga y finalmente hacia afuera, por la uretra. La concentración de 1.200 miliosmoles se produce en una concentración de ADH máxima.

La conservación de agua en los mamíferos es posible por la capacidad de excretar una orina que es hipertónica en relación con la sangre. El asa de Henle es la porción del nefrón de los mamíferos que hace posible esto.

La función del nefrón es influida por hormonas, principalmente la hormona antidiurética (ADH), producida por el hipotálamo y liberada por la glándula hipófisis; la aldosterona, una hormona de la corteza suprarrenal y el factor natriurético atrial liberado por las aurículas del corazón. La ADH

aumenta el retorno de agua a la sangre y disminuye así la pérdida de agua. La aldosterona incrementa la reabsorción de iones sodio y de agua y la secreción de iones potasio. La producción de aldosterona es controlada por un circuito de retroalimentación negativa complejo que involucra niveles de iones potasio en el torrente sanguíneo y procesos iniciados en los propios riñones. A este circuito se lo conoce como sistema renina-angiotensina-aldosterona.



Sistema renina-angiotensina- aldosterona.

La disminución en el aporte de sangre al riñón y la caída consecuente de la presión sanguínea a nivel del glomérulo; la disminución de la concentración plasmática de sodio y del contenido de sodio en el túbulo contorneado distal, y la activación del sistema nervioso son todos estímulos que activan este sistema. Se libera entonces el péptido renina por parte del aparato yuxtaglomerular. La renina circulante actúa sobre el angiotensinógeno (de origen hepático) y produce el péptido angiotensina I (A I).

La angiotensina I es convertida, a su vez, en angiotensina II (A II), la forma activa, por acción de otra enzima -la enzima de conversión- a nivel renal y pulmonar. Esta hormona -la angiotensina II- es un poderoso vasoconstrictor periférico que, además, estimula la secreción de aldosterona por parte de la corteza de la glándula suprarrenal. Otro importante estímulo para la secreción de esta hormona es un aumento en la concentración plasmática de potasio, que es sensada directamente a nivel suprarrenal.

El factor natriurético atrial inhibe la reabsorción de iones sodio y de agua. Todas estas hormonas desempeñan un papel en la regulación de la presión sanguínea así como del volumen sanguíneo.



El cuarto Blanco - Biblioteca Web