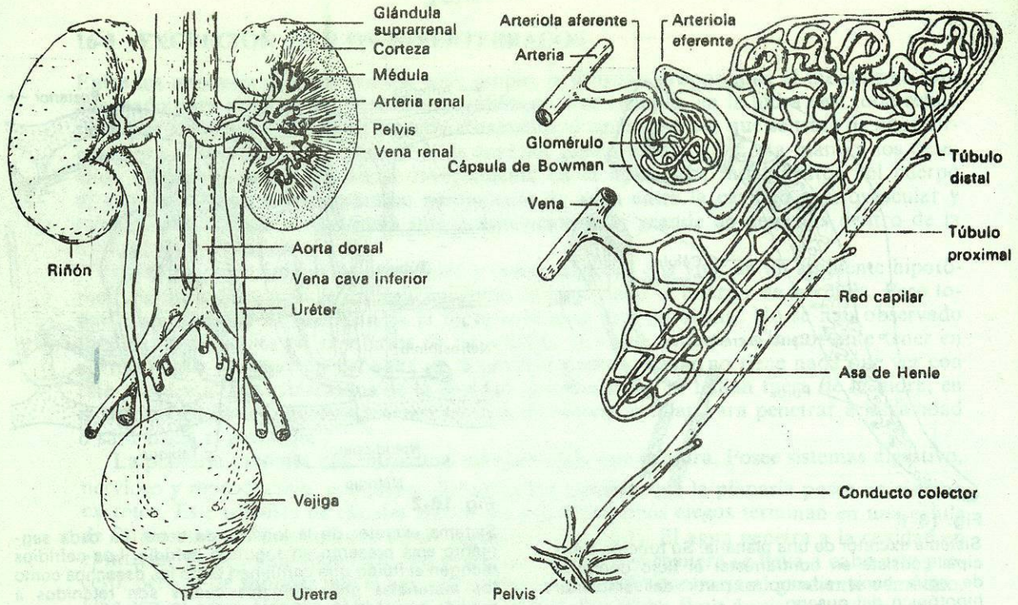

Fig. 16-4

Sistema excretor humano. Izquierda: anatomía. Derecha: dibujo (ampliado) de un solo nefrón. Hay aproximadamente un millón de nefrones en cada riñón.

de Malpighi no se abren directamente en el exterior, sino en el intestino, en donde se reabsorben de nuevo mayores cantidades de agua. El ácido úrico pasa al exterior conjuntamente con las heces. Estas son bastante secas. De este modo el saltamontes puede deshacerse de sus desechos nitrogenados sin perder el agua utilizada durante el proceso.

EXCRECION EN EL HOMBRE

Los órganos de excreción principales de los vertebrados son los riñones. Puesto que se sabe más sobre el funcionamiento de los riñones de los mamíferos que de cualquier otro tipo de animal, los estudiaremos, en primer lugar, tomando como ejemplo el riñón humano. Al finalizar el capítulo se examinarán algunas otras modificaciones estructurales y funcionales que se hallan en los riñones de otros vertebrados.

16-4 ESTRUCTURA DEL RIÑON HUMANO

Los riñones humanos son dos órganos de forma de fríjol cuyo tamaño aproximado corresponde al de un puño cerrado. Están situados contra la pared dorsal del cuerpo hacia ambos lados de la columna vertebral.

Aunque el peso total de los riñones representa solamente el 0,5 por 100 del peso del cuerpo, los riñones reciben una extraordinaria cantidad de sangre. Aproximadamente el 20 por 100 de la sangre bombeada por el corazón cada minuto fluye a través de ellos. Esta sangre llega a los riñones a través de las arterias renales derecha e izquierda y sale de los riñones por medio de las venas renales derecha e izquierda (Fig. 16-4).

La sección trasversal del riñón muestra que está compuesto de tres regiones diferentes. La región más exterior se denomina **corteza.** Por debajo de ésta se encuentra la **médula.** Esta presenta una cámara hueca que se denomina la **pelvis** renal.

La corteza y la médula de cada riñón están constituidas aproximadamente por un millón de nefrones. El **nefrón** es la unidad estructural y funcional de los riñones. Para comprender la fisiología del riñón en conjunto, se requiere comprender la fisiología de un solo nefrón.

El nefrón consiste en un túbulo largo enrollado, cerrado en un extremo y abierto en el otro (Fig. 16-4). En el extremo cerrado del túbulo que da a la corteza, la pared del nefrón se expande y se pliega en una cámara de doble pared que se denomina la cápsula de Bowman. Dentro de las porciones plegadas de la cápsula de Bowman se halla una red de capilares que se denomina **glomérulos.** El túbulo consiste en tres segmentos diferentes. El primer segmento, el **túbulo proximal,** está enrollado cerca a la cápsula de Bowman. Las células que forman sus paredes poseen numerosos mitocondrios. Muchas microvellocidades se extienden a partir de estas células en el interior (el lumen) del túbulo. El tubo proximal conduce a un segmento largo de paredes delgadas, denominado **asa de Henle.** Esta parte desciende, penetra en la médula, da una vuelta en forma de gancho y vuelve a la región de la cápsula de Bowman. Allí el túbulo nuevamente se expande para formar el **túbulo distal.** Al igual que el túbulo proximal, este túbulo también está fuertemente enrollado.

16-5 FORMACION DE LA ORINA

El nefrón fabrica la **orina.** Esto lo hace filtrando la sangre y luego devolviendo a la sangre los materiales útiles. El residuo conforma los materiales inútiles que abandonan el nefrón en forma de una solución, que constituye la orina.

Composición del plasma, filtrado nefrítico y orina
gm/100 ml de flúido

Componente	Plasma	Filtrado nefrítico	Orina	Concentración
Urea	0,03	0,03	2,0	60X
Acido úrico	0,004	0,004	0,05	12X
Glucosa	0,10	0,10	ninguno	—
Aminoácidos	0,05	0,05	ninguno	—
Total de sales inórganicas	0,72	0,72	1,50	2X
Proteínas y otros coloides	8,00	ninguno	ninguno	—

Fig. 16-5

Cada glomérulo recibe sangre de una arteriola aferente y descarga su sangre en una arteriola eferente. La sangre que se halla dentro del glomérulo, al igual que la sangre que se halla en el extremo de la arteriola, de cualquier capilar, se halla bajo la presión proveniente de la contracción del ventrículo izquierdo. Esta presión hace que el agua y las moléculas solubles presentes en la sangre se filtren a través de las paredes de los capilares. El flúido producido se denomina **filtrado nefrítico.** El examen de la Fig. 16-5 mostrará que el filtrado nefrítico no es otra cosa que plasma sanguíneo, menos casi todas las proteínas sanguíneas. Por consiguiente, tampoco se diferencia de modo esencial de la linfa (ver Sección 14-16).

El filtrado nefrítico se deposita en el interior de la cápsula de Bowman y pasa luego al túbulo proximal. Allí tiene lugar la reabsorción de la glucosa, de los aminoácidos, vitaminas, hormonas y una gran cantidad de iones minerales (Na^+, K^+, Ca^{++}, Cl^-, HCO_3^-, PO_4^{---}, SO_4^{--}). Esta reabsorción se lleva a efecto por transporte activo. Los detalles de cómo ocurre en realidad este proceso no se conocen todavía, pero se sabe que para ello son necesarias enzimas y ATP. Como ya se mencionó, las células del túbulo proximal están provistas de numerosos mitocondrios. Su rata de metabolismo es igual a la de cualquier otra célula del cuerpo, incluyendo células musculares activas. Además sus microvellocidades aumentan considerablemente el área en contacto con el filtrado nefrítico. Gracias en gran parte a las microvellocidades el área total que participa en la formación de la orina en el hombre es igual a más de 5,57 m^2. es decir, tres veces el área del exterior del cuerpo.

Los materiales reabsorbidos por el título proximal retornan al sistema sanguíneo por medio de una red capilar que rodea los túbulos. En los mamíferos, esta red capilar recibe toda la sangre que la baña de la arteriola eferente del glomérulo. El drenaje de la red capilar se lleva a efecto por vénulas que conducen a la vena renal.

Mientras que las diferentes sustancias disueltas son sustraídas del filtrado nefrítico y retornan a la sangre, simultáneamente se reincorpora a la sangre gran cantidad de agua. Esta reabsorción del agua se lleva a efecto por el proceso pasivo de la ósmosis. La transferencia de sustancias disueltas del filtrado nefrítico a la sangre aumenta la concentración del agua del filtrado nefrítico. El agua pasa entonces por ósmosis a la sangre y restablece el equilibrio osmótico.

La cantidad de filtrado nefrítico producido por un solo nefrón no es grande, pero si se considera la cantidad producida por dos millones de ellos, resulta una cantidad ciertamente impresionante. En los riñones se producen aproximadamente 170,28 litros de filtrado nefrítico, cada día. Este volumen puede representar más de dos veces el peso del individuo. Aproximadamente el 80 por 100 del agua presente en el filtrado nefrítico es reabsorbida, por los tubitos proximales. Junto con el agua se reabsorben también 453 gramos de bicarbonato de sodio, y 1,133 kg de cloruro de sodio, y 151 gramos de glucosa y cantidades menores de otros materiales útiles. Se puede fácilmente comprender que la vida no podría sostenerse durante mucho tiempo si estas cantidades materiales tuvieran que salir del cuerpo.

Pero no todas las sustancias disueltas presentes en el filtrado nefrítico son retenidas por el túbulo proximal. La mayor parte de la urea, desecho nitrogenado, queda atrás. Asimismo permanecen en el interior del túbulo cantidades de sales disueltas en el flúido.

A medida que este flúido pasa hacia el asa de Henle, se vuelve casi isotónico con respecto a la sangre. Las sustancias disueltas y el agua son absorbidas en proporciones equivalentes por los tubos proximales. Esta situación cambia en el túbulo distal. Allí tiene lugar una reabsorción más selectiva de los materiales regulada con precisión. Además, pueden absorberse cantidades adicionales de sales y de agua. Por otra parte, la cantidad exacta de cada sustancia retenida en el túbulo distal es directamente proporcional al nivel en el cual se encuentra dicha sustancia en el torrente circulatorio. Si el contenido de agua de la sangre es más bajo que el normal, cantidades adicionales de agua son absorbidas desde el túbulo distal hasta que la concentración del agua en la sangre recupera su valor normal. Lo mismo sucede con los iones salinos. La reabsorción de los iones de Na^+ en el túbulo distal resulta particularmente interesante, pues pueden ser canjeados con los iones de H^+. En otras palabras, el túbulo distal contribuye a mantener constante el pH de la sangre mediante el intercambio de iones H^+ por iones Na^+, cuando la acidez de la sangre tiende a elevarse. A veces la sangre se torna demasiado alcalina. Cuando esto ocurre, el túbulo distal contribuye a corregir esta situación. En consecuencia, para mantener el pH de la sangre dentro de los límites normales de 7,3 a 7,4, el riñón debe producir orina cuyo pH descienda hasta 4,5 o se eleve hasta 8,5.

Aunque la formación de la orina en el hombre ocurre fundamentalmente de acuerdo con el mecanismo descrito de filtración y reabsorción, también incluye un mecanismo auxiliar. Este consiste en la **excreción tubular.** Las células de los túbulos sustraen ciertas sustancias de la sangre presente en los capilares adyacentes. Estas sustancias son luego excretadas directamente en el interior de los túbulos y sumadas a la orina.

16-7 MECANISMOS DE ELIMINACION

El proceso de formación de orina prosigue incesantemente. Cuando la orina abandona el túbulo distal se dirige hacia un conducto colector que atraviesa la médula. El tubo colector drena la orina proveniente de varios nefrones y la lleva hacia la pelvis del riñón (Fig. 16-4). Luego la orina desciende del riñón a la vejiga por medio de un conducto, denominado **uréter.** La vejiga es un órgano de paredes musculosas, hueco que se dilata a medida que la orina fluye en su interior, procedente de los riñones. Cuando la vejiga se llena de orina, el esfínter muscular que guarda su salida se relaja y permite la salida de la orina a través de la **uretra.** En los niños la relajación del esfínter ocurre de manera automática. En las personas adultas el esfínter se halla, por lo general, bajo control consciente.

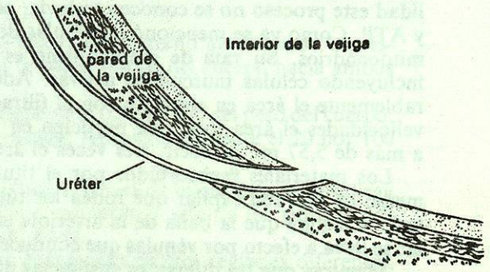

Fig. 16-6

La presión en el interior de la vejiga cierra los extremos de los uréteres por lo cual la orina se acumula en ellos.

Los dos uréteres penetran a la vejiga de tal manera que sus salidas se cierran cuando comienza a desarrollarse presión en el interior de la vejiga (Fig. 16-6). Si la expulsión de la orina es retardada por algún tiempo, la orina comienza a acumularse en el interior de los uréteres y aun en las pelvis de los riñones. Cuando la vejiga finalmente se vacía, esta acumulación puede descender. Por este motivo, después de una expulsión demorada de la orina se presenta inmediatamente la necesidad de una segunda expulsión.

CAPILLA ALFONSINA

16-8 OTROS ORGANOS DE EXCRECION EN EL HOMBRE

En cumplimiento del proceso de mantener constante la composición química del medio interno, los riñones eliminan muchos productos de desecho del metabolismo. En esta función los riñones son auxiliados por otros cuatro órganos.

(1) La **piel.** Debido a la acción de las glándulas sudoríparas, la piel actúa como un órgano de excreción. Estas glándulas extraen el agua, la urea y algunas sales de la sangre, las que liberan en la superficie de la piel. La excreción del agua por las glándulas sudoríparas forma parte del mecanismo de regulación de la temperatura del cuerpo. El sudor se produce cuando ejercicios musculares vigorosos, temperaturas externas altas, o ambos factores tienden a elevar la temperatura de la sangre. La evaporación del sudor refresca la piel y ayuda el cuerpo a mantener una temperatura interna constante. Los detalles de este mecanismo homeostático se considerará en el Capítulo 29.

La excreción de la urea y de las sales por medio de las glándulas sudoríparas es de importancia secundaria con respecto a la excreción del agua. En efecto la eliminación de sal por este método puede socavar seriamente las reservas del cuerpo. Se recomienda por ello a las personas cuyo trabajo les obliga a sudar profusamente ingerir cantidades adicionales de sal en su dieta.

(2) Los **pulmones.** Son también órganos de excreción en cuanto eliminan el bióxido de carbono y el agua. Esto último puede ser fácilmente demostrado si se respira frente al vidrio de una ventana. Sin embargo, al igual de la piel, la eliminación de agua es consecuencia inevitable de otro proceso. Los alvéolos de los pulmones deben permanecer húmedos para poder funcionar como órganos de intercambio gaseoso. Sin embargo, el flujo constante de aire seco produce una pérdida constante de la humedad. Para los animales que viven en ambientes desérticos la pérdida de agua del cuerpo por los pulmones puede ser un factor crítico de su supervivencia.

(3) El **intestino.** Ciertas sales (por ejemplo, las de hierro y calcio) son excretadas directamente en la cavidad del intestino por las células epiteliales que lo tapizan. Estas sales abandonan el cuerpo con los excrementos. Por supuesto, los materiales alimenticios no digeridos (y los bacterios) que conforman la mayor parte de los excrementos no son de modo alguno producto de excreción. El alimento no digerido es material que nunca participó en el metabolismo de nuestras células. El término correcto para designar la eliminación de este material es el de **egestión,** no excreción.

(4) El **hígado** es también un órgano de excreción. Este fabrica los pigmentos biliares durante el proceso de descomposición de la hemoglobina a partir de los restos de los glóbulos rojos. Los pigmentos biliares penetran en el intestino mediante los conductos biliares comunes. Junto con las sales metálicas mencionadas son los únicos componentes de los excrementos que pueden ser considerados desechos metabólicos propiamente dichos.