

SISTEMA EXCRETOR

Excretas nitrogenadas

Os animais podem extrair a necessária energia química de uma série de compostos orgânicos. No caso de serem utilizados carboidratos ou lipídios como fonte de energia, os resíduos que se formam na respiração aeróbica completa são o CO_2 e a água: ambos os resíduos são eliminados pelo mecanismo respiratório.

Quando se utilizam proteínas, formam-se, além do CO_2 e água, produtos nitrogenados, como a **amônia**, a **ureia** ou o **ácido úrico**.

Isso se deve ao fato de o nitrogênio participar da composição química das proteínas. Vejamos, então, cada um dos excretas nitrogenados produzidos pela ingestão de proteínas.

A amônia: Dos excretas nitrogenados, o mais tóxico é a amônia. De fato, a toxicidade da amônia é tal que praticamente deve ser eliminada à medida que vai sendo produzida. O processo de eliminação é facilitado, por ser esta substância bastante solúvel em água.

Porém, ao produzir e eliminar grande quantidade de amônia, o animal perde também grande quantidade de água, o que implica em perigo de desidratação. Entende-se, portanto, por que os animais cujo principal excreta nitrogenado é a amônia são seres aquáticos ou de ambientes onde a disponibilidade de água é alta.

A uréia: Em certos animais, como os mamíferos, o excreta nitrogenado predominante é a ureia. Esta substância é menos tóxica que a amônia e pode permanecer na circulação por tempo bem maior.

Não sendo necessária a rápida eliminação deste excreta — e a excreção ocorre ainda com menor perda de água — são evidentes as vantagens de economia hídrica para este animal.

O ácido úrico: Insetos, répteis e aves apresentam o ácido úrico como excreta nitrogenado predominante. O ácido úrico é pouco tóxico e praticamente insolúvel em água. Isso indica que o animal pode acumular este excreta no organismo por um tempo consideravelmente longo. Quando o elimina, a perda de água é mínima. Logo, devido à elevada economia hídrica, o ácido úrico contribui de forma marcante para a adaptação do animal à vida terrestre.

O ácido úrico permite, ainda, a oviparidade, isto é, o desenvolvimento embrionário dentro de um ovo fechado: um embrião morreria intoxicado rapidamente, caso produzisse amônia ou uréia.

Nos excrementos de aves verifica-se a presença de fezes normalmente de coloração castanho-escura, além de uma porção de urina semissólida de coloração esbranquiçada e portadora de uma suspensão de cristais de ácido úrico.

Excreção nos animais

Nos organismos unicelulares, nos poríferos e nos celenterados os excretas são eliminados para o meio externo através da superfície do corpo, por difusão simples.

Estes animais não apresentam um sistema excretor especializado.

Nos protozoários dulcícolas, embora os resíduos do metabolismo sejam expulsos sobretudo através da membrana plasmática, podemos reconhecer o vacúolo contrátil ou vacúolo pulsátil, orgânulo que, além de contribuir para a excreção, participa ativamente na regulação osmótica do fluido intracelular: por meio de pulsações ritmadas, o vacúolo contrátil promove a eliminação para o meio externo do excesso de água e de alguns resíduos metabólicos.

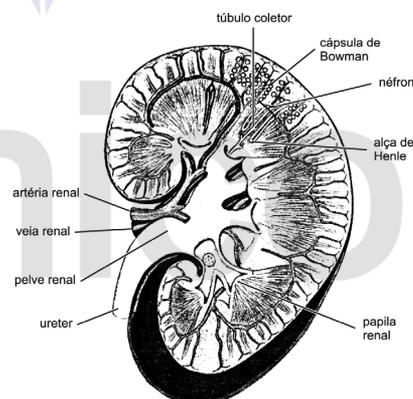
Os rins

Nos vertebrados, os rins são as estruturas encarregadas da excreção. Existem três tipos de rim nos vertebrados: metanefro, mesonefro e pronefro.

Metanefro: Ocorre nos répteis, nas aves e nos mamíferos adultos, localizando-se na posição posterior ou abdominal do organismo. Os rins do tipo metanefro constituem-se de numerosas unidades morfofuncionais denominadas néfrons, onde existem os glomérulos de Malpighi que retiram do plasma sanguíneo os excretas que devem ser eliminados para o meio externo.

Mesonefro: Ocorre nos ciclóstomos, nos peixes e anfíbios adultos, em embriões de répteis, de aves e de mamíferos. A estrutura desse tipo de rim é a de nefrídios abertos e associados a glomérulos. Sua posição é geralmente torácica.

Pronefro: Ocorre apenas em ciclóstomos adultos e nos embriões de todos os vertebrados. A estrutura desse tipo de rim também se constitui apenas de nefrídios abertos e localiza-se na posição cefálica ou anterior.



Esquema de rim humano.

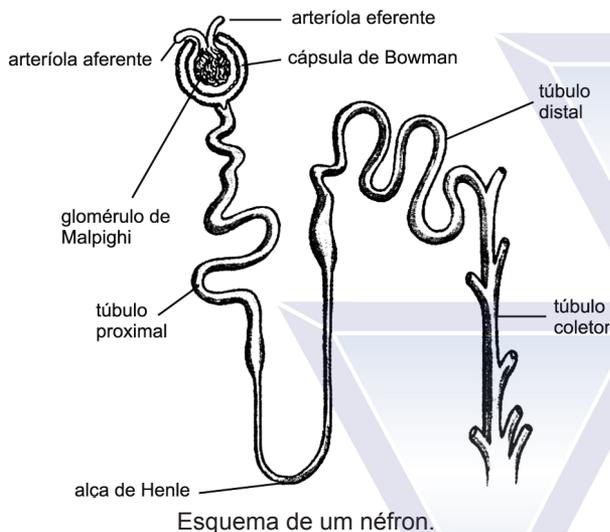
Excreção humana

Na espécie humana, os rins localizam-se na região dorsal da cavidade abdominal, um de cada lado da coluna vertebral. Apresentam uma coloração vermelho-escura, têm forma de grão de feijão e medem cerca de 10 cm de comprimento. Pela parte côncava do rim (hilo renal) penetra a artéria renal (ramificação da aorta), transportando o sangue que deve ser purificado. O sangue drenado sai do rim também por essa região, através da veia renal.

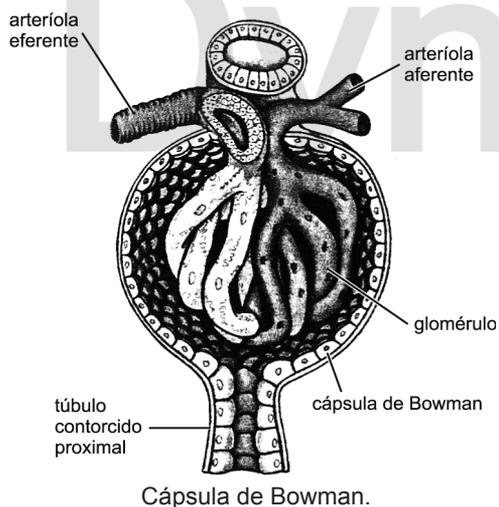
A constituição do rim humano

Cada rim humano é formado por uma infinidade de néfrons. Cada néfron, por sua vez, inicia-se por uma cápsula de Bowman (estrutura em forma de cálice), por onde penetra a arteríola aferente (ramificação da artéria renal).

No interior da cápsula, a arteríola ramifica-se e organiza um emaranhado de vasos denominado glomérulo de Malpighi. Desse emaranhado emerge a arteríola eferente, que abandona o glomérulo.



Pela figura pode-se perceber que a cápsula de Bowman está ligada a um longo túbulo contorcido denominado túbulo proximal. Este, por sua vez, desemboca numa estrutura em forma de U chamada alça de Henle, a partir da qual se estende o contorcido túbulo distal. Vários túbulos distais, de vários néfrons, mergulham num túbulo coletor.



A formação da urina

A formação da urina – líquido de excreção que se forma no interior do rim – obedece a duas etapas: filtração glomerular e reabsorção renal.

Filtração glomerular

A pressão desenvolvida pelo plasma sanguíneo no interior dos capilares de glomérulo de Malpighi é suficiente para que um quinto do plasma de extravase para a cápsula de Bowman. Esse fenômeno denomina-se filtração glomerular; ao líquido que extravasa dá-se o nome de filtrado. Calcula-se que, em todos os néfrons, cerca de 120 mililitros de plasma extravasam por minuto, o que corresponde à formação de 7 litros de filtrado por hora.

É evidente que a maior parte do filtrado deve retornar ao sangue, pois do contrário o indivíduo morreria em curto período de tempo.

A análise química do filtrado presente no interior da cápsula de Bowman revela que ele não contém células sanguíneas nem macromoléculas, tais como proteínas de alto peso molecular. O filtrado contém moléculas relativamente pequenas, passíveis de filtração no nível dos glomérulos. Assim, apresenta em sua constituição: água, sais diversos, aminoácidos, vitaminas, glicéris, ácidos graxos, ureia, ácido úrico e outras substâncias.

Como você deve ter percebido, existem no filtrado diversas substâncias que devem ser recuperadas pelo sangue, e outras, tais como a uréia, que devem ser expulsas para o exterior através da urina. Dessa maneira, o filtrado passa da cápsula de Bowman para o interior do túbulo contorcido proximal, onde se inicia a reabsorção renal, isto é, o retorno ao sangue das substâncias úteis.

Reabsorção renal

Como vimos, é imprescindível que o sangue recupere a maior parte de seus componentes extravasados na filtração glomerular. Assim, a arteríola eferente – isto é – a arteríola que emerge da cápsula de Bowman – envolve os túbulos renais (túbulo proximal, alça de Henle, túbulo distal e túbulo coletor), de modo a capturar os nutrientes desejáveis ao organismo e que se encontram no filtrado. A esse processo dá-se o nome de reabsorção renal.

No corpo humano adulto existem cerca de 3 litros de plasma. Como a cada 25 minutos extravasam-se nas cápsulas de Bowman dos néfrons cerca de 3 litros de plasma, pode-se dizer que os rins que constituem laboratórios que “analisam” todo o nosso plasma sanguíneo a cada 25 minutos. Isso corresponde aproximadamente a cinquenta “análises” por dia.

No túbulo proximal, cerca de 85% da água presente no filtrado retorna ao sangue. As moléculas de glicose, os aminoácidos e os íons Na^+ , entre outras substâncias, retornam aos capilares sanguíneos através de um mecanismo de transporte ativo, ou seja, com gasto de energia. De fato, as células que compõem o túbulo proximal dependem grande quantidade de energia no processo de reabsorção dessas substâncias.

Por sua vez, as moléculas protéicas de baixo peso molecular são recuperadas por micropinocitose. Se houver excesso de glicose no filtrado, a absorção ocorre de forma incompleta. Isso significa que parte da glicose

mantem-se no filtrado e é expelida com a urina. Esse fenômeno denomina-se glicosúria.

A presença de glicose na urina verifica-se de forma particularmente marcante nos indivíduos portadores de diabetes melito. Essa doença caracteriza-se pela falta do hormônio insulina, que por sua vez determina a hiperglicemia, isto é, altas taxas de glicose no sangue e, conseqüentemente no filtrado.

Na alça de Henle, em sua porção ascendente, verifica-se uma absorção acentuada de Na^+ , por transporte ativo. Seguindo o gradiente elétrico, ocorre um considerável fluxo de Cl^- do filtrado para o sangue. Assim, o sangue readquire uma razoável quantidade de NaCl , fazendo com que a concentração do filtrado, ao atingir o túbulo distal, seja hipotônica em relação ao sangue.

Portanto, no túbulo distal, com o sangue mais concentrado, deve ocorrer um fluxo osmótico de água para o interior dos capilares sanguíneos. Acontece, porém, que a permeabilidade da parede do túbulo distal depende da presença do ADH, isto é, hormônio antidiurético, liberado pela neurohipófise. Esse hormônio tem a propriedade de aumentar a permeabilidade do túbulo distal e, assim, determinar maior reabsorção de água.

Bebidas alcoólicas costumam aumentar o volume de urina. Isso acontece porque o álcool etílico bloqueia a liberação de ADH no sangue. Assim, perdendo mais água do que deve, a pessoa sente mais sede que o normal, sintoma conhecido como "ressaca".

Em situação onde a ingestão de água é muito baixa, a neurohipófise promove uma grande liberação de ADH no sangue. Disso resulta uma alta reabsorção de água no túbulo distal, uma vez que suas paredes têm a permeabilidade aumentada. Em conseqüência, a urina se torna escassa e concentrada, determinando, assim, uma acentuada economia hídrica para o indivíduo.

Em situação inversa, isto é, quando a ingestão de líquido é alta, a liberação de ADH diminui, acarretando uma baixa reabsorção de água no túbulo distal e a formação de urina volumosa e diluída.

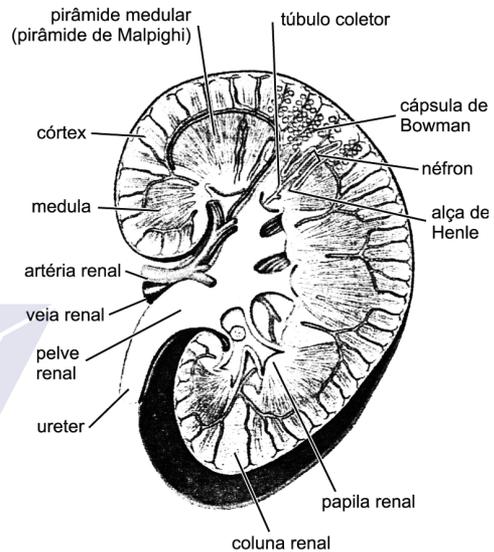
Em determinados casos, a produção de ADH é muito reduzida, como acontece no diabetes insípido. Os portadores dessa doença apresentam urina volumosa (poliúria) e muito diluída, devido à grande perda de água não reabsorvida no nível dos túbulos distais. Nesses casos, os indivíduos chegam a eliminar 7 litros – ou mais – de urina por dia, em vez do habitual 1,5 litro diário.

O líquido que resta no túbulo distal passa, então, para o interior dos túbulos coletores, onde a reabsorção de água continua. Após a reabsorção da água restante, o líquido presente no túbulo coletor constitui a urina.

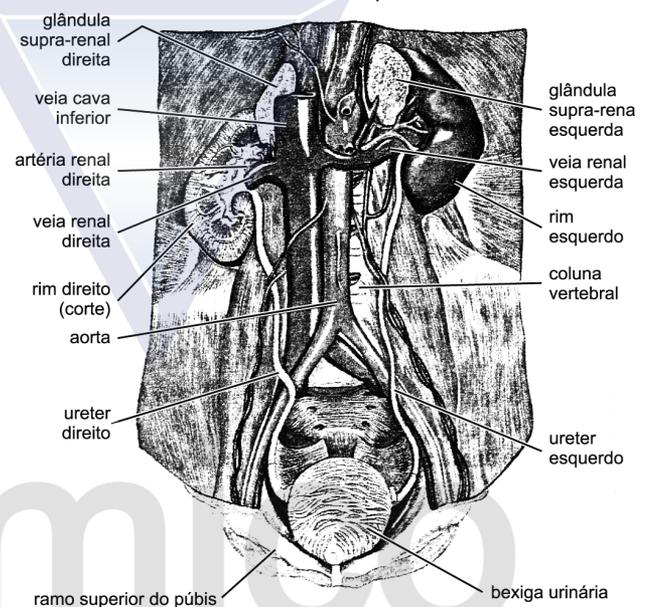
Dos 120 ml/min de filtrado extravasado nas cápsulas de Bowman, resta apenas cerca de 1 ml/min de urina do túbulo coletor. Isso significa que mais de 99% do plasma extravasado é reabsorvido pelo sangue, o que dá uma idéia nítida da impressionante atividade das células componentes dos néfrons. A concentração de ureia é maior na urina do que no filtrado glomerular porque a uréia não é reabsorvida pelos túbulos renais. Mas a maior parte da água contida no filtrado é reabsorvida à medida que a urina se forma.

O aparelho urinário

Antes de estudar este ponto, analise as figuras a seguir:



Corte do rim esquerdo.



Maquete do aparelho urinário masculino.

Perceba que os rins são envolvidos por uma cápsula fibrosa de tecido conjuntivo. Apresentam, basicamente, em seu interior duas regiões:

- **o córtex renal**, onde se localizam os glomérulos de Malpighi;
- **a medula renal**, onde se localizam as pirâmides de Malpighi (em número de 10 a 15).

Nas pirâmides de Malpighi encontram-se túbulos coletores, que transportam a urina até os cálices renais (situados no vértice das pirâmides). Os cálices se abrem no bacinete renal, uma região dilatada que se comunica com o ureter. O ureter é um canal que coleta a urina a urina do bacinete, transportando-a até a bexiga. A urina é então armazenada na bexiga e daí expelida para o meio externo através de um canal denominado uretra.