

FISIOLOGIA DO SISTEMA URINÁRIO

Márcio Roberto Viana dos Santos
Lucindo José Quintans Júnior

META

Oferecer ao aluno os meios necessários para o entendimento das funções do sistema urinário.

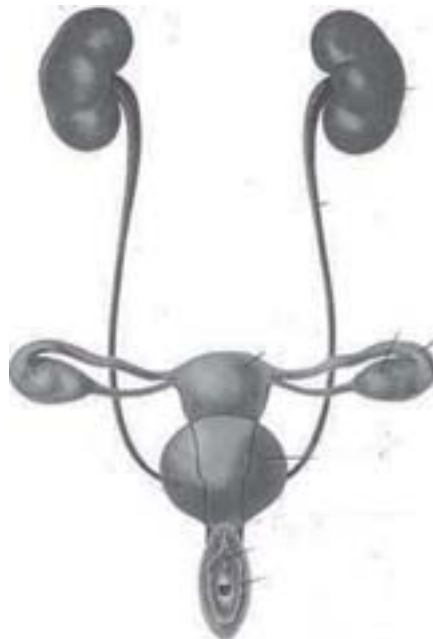
OBJETIVOS

Ao final desta aula, o aluno deverá:

- descrever as funções e os componentes do sistema urinário;
- descrever a anatomia fisiológica dos rins e do néfron;
- compreender as etapas de formação de urina pelos rins;
- descrever a etapa de filtração glomerular;
- descrever a estrutura da membrana do capilar glomerular;
- entender as etapas de reabsorção e secreção tubular;
- citar e descrever os principais mecanismos de regulação da formação de urina pelos rins.

PRÉ-REQUISITO

Biologia celular.



(<http://www.colegiosaofrancisco.com.br>).

INTRODUÇÃO

Como comentado anteriormente (ver aula 1), a manutenção do equilíbrio entre os líquidos corporais (intracelulares, intersticiais e sanguíneos) e os solutos é essencial para o desempenho adequado das funções dos tecidos. Além disso, o controle fino da concentração de produtos de metabolismo, nocivos ou não ao nosso corpo, é de suma importância para a manutenção da vida. Nesta aula, você compreenderá o importante papel do sistema urinário na manutenção destes equilíbrios.

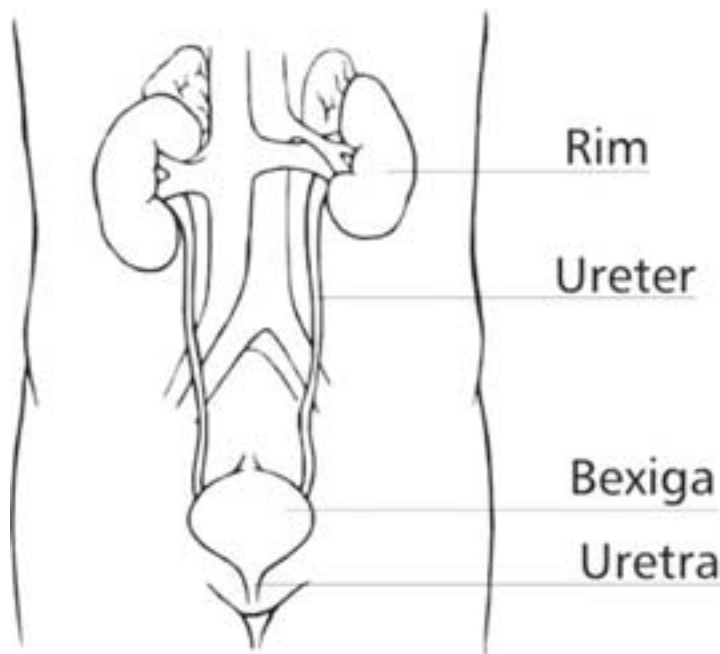
FUNÇÕES GERAIS DO SISTEMA URINÁRIO

A função principal do sistema urinário é de excreção de metabólitos nocivos ao corpo ou produtos que se encontram em excesso. Além dessa importante função, o sistema urinário ainda desempenha as funções de regulação da osmolalidade, das concentrações de solutos e água nos líquidos corporais, do pH e da pressão arterial. Estas funções são desempenhadas graças a sua capacidade de promover a filtração do plasma e formar urina.

ANATOMIA FISIOLÓGICA DO SISTEMA URINÁRIO

Como demonstrado na Figura 10.1, o sistema urinário é formado por um par de rins, dois longos ductos, denominados de ureteres, a bexiga urinária e a uretra. Depois de formada nos rins, a urina é transportada pelos ureteres até a bexiga, onde é armazenada. A bexiga, que é uma bolsa elástica muscular, é capaz de armazenar em torno de 200 a 300 mL de urina. O enchimento da bexiga e conseqüente estiramento da suas paredes ativam um mecanismo reflexo coordenado que culmina com a excreção da urina pela uretra. Este processo é denominado de micção.

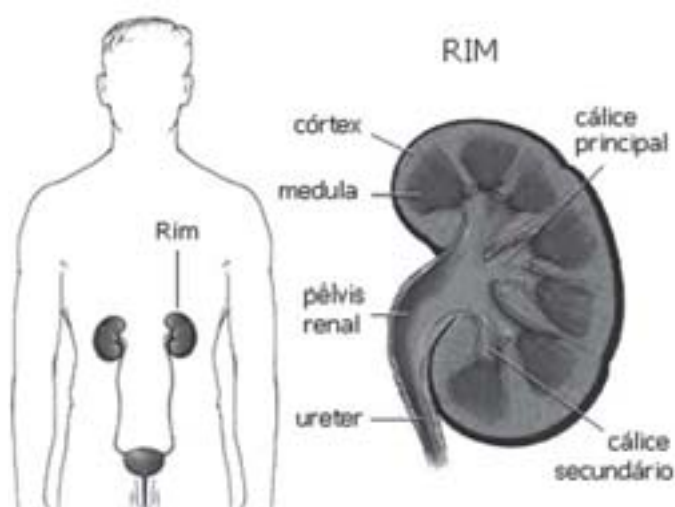
A seguir iremos compreender a anatomia fisiológica básica dos rins e sua unidade funcional, o néfron.



ANATOMIA FISIOLÓGICA BÁSICA DOS RINS

Os rins são órgãos em forma de feijão localizados na parede posterior do abdômen, fora da cavidade peritoneal e ao lado da coluna vertebral. Cada rim humano pesa aproximadamente 150g e apresenta o tamanho de um punho fechado. Na margem medial de cada rim encontramos uma depressão, denominada de hilo renal, por onde passam suprimentos sanguíneo, nervoso e o ureter. (Figura 10.2).

Através de um corte frontal, podemos observar que o rim é formado por duas massas distintas de tecido. A região mais central é denominada de medula, enquanto que a mais periférica é denominada de córtex. A medula por sua vez é subdividida em porções de tecido em forma de pirâmide, denominadas de pirâmides renais. A base da pirâmide faz margem com o córtex, enquanto que o ápice, denominado de papila, está direcionada para pequenos cálices. Estes cálices, chamados de cálices menores, recolhem a urina formada nos néfrons e a transporta para cálices cada vez maiores até desaguiarem na pelve renal. Da pelve, a urina segue para os ureteres até a bexiga.



NÉFRON

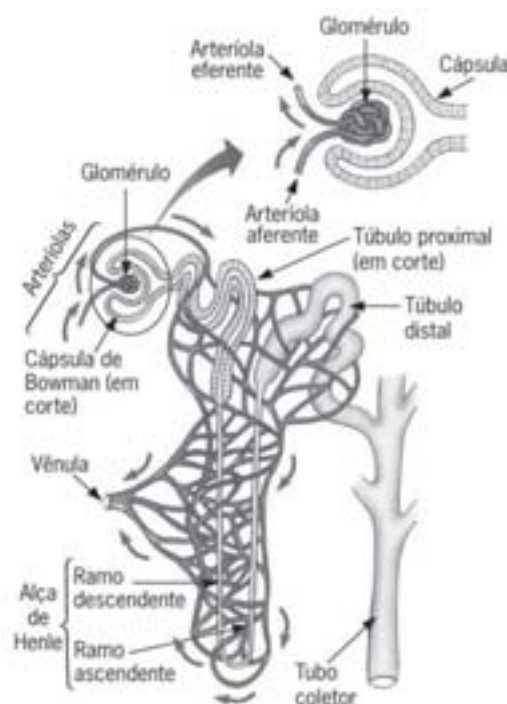
Como mencionado anteriormente, o néfron é a unidade funcional dos rins. Cada rim é constituído por aproximadamente um milhão de néfrons. De uma maneira geral, eles (Figura 10.3) são associações de vasos sanguíneos e túbulos renais que tem a função de filtrar o sangue.

Anatomicamente, cada néfron é constituído por duas partes principais: o glomérulo, onde ocorre a filtração de grande quantidade de líquido, e um longo túbulo onde este líquido é modificado até formar a urina.

O glomérulo é formado por uma rede enovelada de capilares glomerulares que tem sua origem na arteríola aferente. Este novelo de capilares é envolvido pela cápsula de Bowman que, por sua vez, dá seguimento aos túbulos renais. Cada túbulo renal é subdividido em 4 porções: túbulo proximal, alça de Henle (que inclui os ramos descendente e ascendente), túbulo distal e ducto coletor. A função principal destes túbulos é promover a reabsorção e secreção de água e solutos.

O suprimento sanguíneo para cada néfron tem sua origem na artéria renal. Após ramificações progressivas, cada pequeno ramo forma uma arteríola, denominada de arteríola aferente. Como mencionado anteriormente, esta arteríola se ramifica para formar os capilares glomerulares. As extremidades distais de cada capilar se reúnem para formar uma nova arteríola, denominada de arteríola eferente. Após sair do glomérulo, a arteríola eferente se ramifica novamente para dar origem a um outro leito de capilares, denominados de capilares peritubulares, os quais circundam os túbulos renais. Estes capilares participam ativamente do processo de reabsorção e secreção tubular.

Diferentemente do que ocorre em outros leitos, a pressão sanguínea nos capilares glomerulares é ligeiramente mais elevada, aproximadamente 60 mmHg. Isto favorece o processo de filtração.



FORMAÇÃO DE URINA PELOS RINS

Etapas da formação de urina pelos rins

A formação de urina pelos rins ocorre em 3 etapas descritas a seguir:

- Filtração Glomerular – É a 1º etapa na formação da urina. Nesta etapa ocorre filtração de grande quantidade de líquido através da membrana do capilar glomerular para a cápsula de Bowman;
- Reabsorção Tubular – Nesta etapa, água e alguns solutos são reabsorvidos dos túbulos para o sangue;
- Secreção Tubular – Nesta última etapa ocorre a secreção de substâncias do sangue para os túbulos.

Portanto, baseado no que foi visto acima, você pode inferir que a intensidade de excreção urinária (IE) de uma substância qualquer é resultante da relação entre estas três intensidades: filtração glomerular (IF), reabsorção tubular (IR) e secreção tubular (IS), sendo representada pela seguinte fórmula:

$$IE = IF - IR + IS$$

A seguir descreveremos cada uma destas etapas.

FILTRAÇÃO GLOMERULAR

Esta primeira etapa ocorre nos capilares glomerulares onde parte do sangue que chega ao glomérulo é forçado a passar sob pressão por uma barreira filtrante. Esta barreira é denominada de membrana de filtração do glomérulo.

A membrana de filtração do glomérulo (Figura 10.4) é constituída por 3 camadas, sendo duas delas próprias do capilar (membrana basal e endotélio), e uma formada por células epiteliais da cápsula de Bowman.

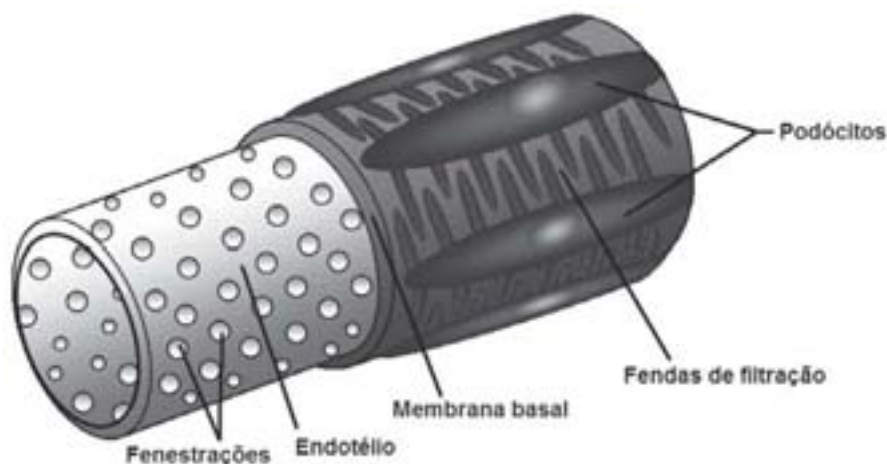
A camada endotelial, como nos demais capilares, apresenta milhares de poros denominados de fenestrações. Estes poros permitem a passagem de todo o plasma, exceto as células sanguíneas. Já a membrana basal é formada por um emaranhado de fibras protéicas que impedem a passagem das proteínas maiores.

Por fim, a camada mais externa é formada pelas células epiteliais da cápsula de Bowman que se projetam sobre a membrana basal. Estas células são chamadas de podócitos, uma vez que suas projeções se assemelham á pés. Entre os podócitos adjacentes encontramos fendas formadas pelas interdigitações de extensões das membranas plasmáticas

(ver Figura 10.4). Estas fendas também têm a função de filtração, impedindo a passagem de proteínas de menor peso molecular.

Embora a membrana de filtração do glomérulo apresente inúmeros poros e fendas de filtração, a mesma também demonstra seletividade. Esta seletividade é determinada por pelo menos dois fatores principais, o peso molecular e a carga elétrica da substância. Por exemplo, a água, substância de baixo peso molecular, tem passagem livre pela membrana do capilar. Por outro lado, a albumina, uma proteína de alto peso molecular, apresenta filtrabilidade próximo a zero. Já com relação à carga elétrica, moléculas carregadas negativamente são menos facilmente filtradas do que aquelas com o mesmo peso molecular, porém carregadas positivamente. Essa seletividade é dada pela presença de glicoproteínas carregadas negativamente presentes na membrana basal.

Apesar desta seletividade, o processo de filtração ocorre em alta intensidade. Neste processo, grande quantidade de água e soluto é filtrado em poucos minutos. A depender da pressão arterial, que efetivamente chegue aos capilares glomerulares, a taxa de filtração glomerular é relativamente alta. Em média essa taxa gira em torno de 125 mL/min, o que corresponde a uma formação de aproximadamente 180 L de filtrado glomerular por dia.



REGULAÇÃO DA INTENSIDADE DE FILTRAÇÃO GLOMERULAR

Como todo processo fisiológico, a filtração glomerular também sofre regulação. Essa regulação pode ser desempenhada tanto por mecanismos intrínsecos, como a auto-regulação renal, quanto por mecanismos extrínsecos, como os desempenhados pelo sistema nervoso autônomo, hormônios e autácóides.

A auto-regulação renal, por exemplo, mantém a intensidade de filtração glomerular estável mesmo durante variações importantes da pressão arterial. Mesmo na ausência de influências nervosas ou humorais, os rins conseguem manter uma taxa de filtração glomerular praticamente normal durante oscilações de pressão de até 80 mmHg.

Já os mecanismos extrínsecos lançam mão de fatores externos aos rins para o controle da intensidade de filtração glomerular. Estes mecanismos atuam principalmente alterando o diâmetro da arteríola aferente e eferente, e conseqüentemente o fluxo sanguíneo renal.

Mecanismos que diminuem o diâmetro destas arteríolas, como ativação do sistema nervoso simpático, noradrenalina, endotelina e outras substâncias vasoconstritoras reduzem a intensidade de filtração glomerular. Já aqueles que aumentam o diâmetro destas arteríolas, como o óxido nítrico e as prostaglandinas vasodilatadoras elevam a filtração glomerular.

REABSORÇÃO E SECREÇÃO TUBULAR

Estas duas últimas etapas ocorrem nos túbulos renais e modificam a composição do filtrado glomerular para formarem a urina. Nestas etapas, a água e alguns solutos são reabsorvidos dos túbulos para o sangue, enquanto que quantidades em excesso de alguns outros solutos são ainda secretadas do sangue para o lúmen tubular.

Embora aproximadamente 180 L de filtrado glomerular sejam formados por dia, o volume urinário diário raramente ultrapassa de 2 L, ou seja, aproximadamente 1% do que foi filtrado. Desta forma, a maior parte da água (178 L) e de alguns solutos filtrados voltam para a corrente sanguínea através do processo de reabsorção tubular. Esta grande capacidade de reabsorção de água e solutos somente é possível porque a membrana luminal das células epiteliais que revestem os túbulos apresenta grandes quantidades de microvilosidades. Estas microvilosidades aumentam demasiadamente a superfície de contato com o filtrado glomerular, o que favorece o processo de reabsorção. No entanto, esta característica não está presente em todas as células epiteliais. À medida que se distancia do glomérulo, as quantidades de microvilosidades vão reduzindo de modo que nos túbulos distal e coletor, praticamente não encontramos mais estas estruturas. Assim sendo, sem a interferência de mecanismos auxiliares, a capacidade de reabsorção nestas últimas porções é extremamente reduzida.

Tanto os processos de reabsorção como o de secreção tubular podem ocorrer por diferentes vias e mecanismos de transporte. Entre as vias de reabsorção e secreção podemos citar a via transcelular, em que as substâncias para serem reabsorvidas ou secretadas precisam atravessar as membranas luminal e baso-lateral da célula epitelial, ou a via paracelular, em que as substâncias são reabsorvidas ou secretadas através de espaços

entre as junções fechadas presentes entre duas células epiteliais adjacentes. Já com relação aos mecanismos de transporte, podem ser citados os transportes ativos (primário e secundários), passivos (osmose, difusão simples e facilitada) e pinocitose. Para revisão ver aula 1.

Como já mencionado anteriormente, apenas alguns solutos filtrados voltam para circulação. Estes solutos são aqueles que ainda interessam ao corpo. Eles podem ser ou parcialmente ou totalmente reabsorvidos. Como exemplo de elementos que são parcialmente reabsorvidos, podemos citar a água e íons. Grande quantidade de água e íons é filtrada, no entanto, aproximadamente 99% é reabsorvido ao longo do túbulo. Já solutos como a glicose e os aminoácidos são totalmente reabsorvidos, de modo que, em condições normais, nenhuma quantidade deve estar presente na urina.

Já aqueles elementos que não são mais de interesse para o corpo, já que seus acúmulos podem favorecer a instalação de doenças, não são reabsorvidos, a exemplo do ácido úrico e da creatinina. Uma exceção a essa regra é a uréia, que em grandes concentrações no sangue pode ser danosa ao corpo humano, no entanto, aproximadamente 50% dela é reabsorvida para o corpo. Este processo é essencial, pois ele favorece a reabsorção de água por osmose em determinadas porções do túbulo.

Alguns solutos, os quais precisam ser eliminados mais rapidamente, a exemplo dos íons H^+ , aditivos alimentares e metabólitos de fármacos, além de não serem reabsorvidos ainda são secretados.

Vale ressaltar que praticamente todo o processo de reabsorção e secreção é dependente do Na^+ . Por exemplo, a reabsorção deste íon gera gradiente osmótico para o transporte da água, fornece energia eletroquímica para o transporte ativo secundário e auxilia na secreção de ácidos através do trocador Na^+/H^+ . Os mecanismos de transporte ativo secundário são essenciais, pois eles são responsáveis pela reabsorção de glicose e aminoácidos,

Ao longo do túbulo, existem variações nas intensidades de reabsorção de água e solutos. No entanto é fato que pelo menos 65% da água e íons, e 100% da glicose e aminoácidos são reabsorvidos já no túbulo proximal. As demais quantidades são reabsorvidas ao longo das outras porções.

Após o processo de intensa reabsorção no túbulo proximal, as demais porções reabsorvem cada vez menos água e solutos, a exemplo dos túbulos distal e coletor, que praticamente são impermeáveis à água. Nesta porção, a absorção de água e Na^+ é comandado principalmente pelos hormônios antidiurético (ADH) e aldosterona, respectivamente. Eles agem em células epiteliais diferenciadas denominadas de células principais. Estas células possuem receptores tanto para o ADH como para a aldosterona. A ativação dos receptores para o ADH induz a formação de canais para água que amplificam a reabsorção de água em várias vezes. Estes canais são formados a partir da combinação de sub-unidades protéicas denominadas de aquaporinas. Por outro lado, a ativação dos receptores para

aldosterona ativam a bomba de Na^+/K^+ , amplificando o processo de reabsorção de Na^+ . Estes mecanismos em conjunto são capazes de controlar a diluição e a concentração de Na^+ da urina.

REGULAÇÃO DA REABSORÇÃO E SECREÇÃO TUBULAR

Como a manutenção do equilíbrio entre os líquidos corporais e os solutos é essencial para a manutenção da vida, a regulação apenas da filtração glomerular não garante um controle fino deste balanço. Portanto, a regulação conjunta da filtração glomerular, da reabsorção e secreção tubular é de fundamental importância para a manutenção deste equilíbrio.

Semelhante ao que ocorre na regulação da filtração glomerular, a regulação da reabsorção também pode ser desempenhada tanto por mecanismos intrínsecos, como o balanço glomerulotubular, quanto por mecanismos extrínsecos, como aqueles desempenhados pelo sistema nervoso autônomo, hormônios e autacóides. Estes mecanismos trabalham em conjunto para garantir que o volume de urina excretado e a concentração de solutos sejam estritamente o necessário.

A regulação desempenhada pelo balanço glomerulotubular permite que os túbulos aumentem a sua intensidade de reabsorção à medida que a intensidade de filtração glomerular também aumente. Este fenômeno é um mecanismo básico e fundamental no controle da reabsorção.

Entre os mecanismos extrínsecos temos aquele desempenhado pelo sistema nervoso autônomo, principalmente o simpático. Já é de seu conhecimento que a ativação do sistema nervoso simpático leva a uma vasoconstrição das arteríolas aferente e eferente. Este efeito, por sua vez, induz uma redução no fluxo sanguíneo e conseqüente redução da pressão nos capilares peritubulares. Esta diminuição de fluxo e pressão favorece o movimento da água e de solutos dos túbulos para o sangue, aumentando assim a reabsorção.

Enquanto a regulação desempenhada pelo balanço glomerulotubular e pelo sistema nervoso simpático não distingue solutos, ou seja, é um balanço global, a regulação por hormônios e autacóides permite uma regulação mais precisa da reabsorção e secreção de diferentes solutos independente uns dos outros. Este mecanismo é desempenhado basicamente pelos hormônios aldosterona, angiotensina II e ADH. Um resumo dos mecanismos de regulação hormonal está mostrados na tabela 10.1

A aldosterona, secretada pelo córtex da supra-renal, atua principalmente nas células principais dos túbulos distal e coletor aumentando a reabsorção de Na^+ e água, ao mesmo tempo em que secreta K^+ . Sua ação é mediada pela bomba de Na^+/K^+ .

Por sua vez, a angiotensina II, que parece ser o mais poderoso dos hormônios, é capaz de promover reabsorção de Na^+ por ao menos três vias distintas. Ela pode atuar diretamente sobre os túbulos proximais, reabsorvendo Na^+ e secretando H^+ . Mecanismo este mediado pelo trocador Na^+/H^+ . Ela pode atuar semelhante ao sistema nervoso simpático promovendo vasoconstrição arteriolar e conseqüentemente aumentar a reabsorção de Na^+ e água, e além destes dois, a angiotensina II também pode atuar por uma via indireta através da estimulação da secreção de aldosterona nas células do córtex da supra-renal. Por fim, como já explicado anteriormente, o ADH acelera a reabsorção de água através da formação de canais para água.

CONCLUSÃO

Diante do que foi visto nessa aula, você pode concluir que o sistema urinário desempenha um papel fundamental na manutenção da homeostasia corporal e alterações na sua função podem comprometer o desempenho da atividade de vários tecidos.

RESUMO

A função principal do sistema urinário é de excreção de metabólitos nocivos ao corpo ou produtos que se encontram em excesso. Além disso, o sistema urinário ainda desempenha as funções de regulação da osmolalidade, das concentrações de solutos e água nos líquidos corporais, do pH e da pressão arterial. Estas funções são desempenhadas graças a sua capacidade de promover a filtração do plasma e formar urina. A urina é formada pelos rins. Que são constituídos por milhares de unidades básicas funcionais, os néfrons. Os néfron são formados por duas partes principais, o glomérulo, constituído pela associação dos capilares glomerulares com a cápsula de Bowman, e o túbulo renal. A formação da urina ocorre em três etapas: filtração glomerular, reabsorção e secreção tubular. Na primeira etapa, ocorre filtração de grande quantidade de líquido através da membrana do capilar glomerular para a cápsula de Bowman; Na segunda etapa, a água e alguns solutos são reabsorvidos dos túbulos para o sangue; e por fim na última etapa ocorre a secreção de substâncias do sangue para os túbulos. A regulação destas três etapas ocorre tanto por mecanismos intrínsecos de auto-regulação, quanto por mecanismo extrínsecos mediados pelo sistema nervoso simpático, hormônios e autacóides.



AUTO-AVALIAÇÃO

1. Quais são as funções do sistema urinário?
2. Descreva a anatomia fisiológica dos rins?
3. Cite e descreva as partes principais do néfron.
4. Como ocorre o suprimento sanguíneo para cada néfron?
5. Quais as etapas de formação de urina pelos rins?
6. Quais as características da membrana de filtração do glomérulo?
7. Quais os fatores que interferem na filtrabilidade de uma substância pela membrana de filtração do glomérulo?
8. Cite e descreva os mecanismos de regulação da filtração glomerular?
9. Quais são as vias e mecanismos de reabsorção e secreção tubular?
10. Cite e descreva os mecanismos de regulação da reabsorção e secreção tubular?

REFERÊNCIAS

- COSTANZO, L. S. **Fisiologia**, 3 ed. Rio de Janeiro-RJ: Elsevier, 2007.
FOX, S. I. **Fisiologia Humana**, 7 ed. Baurueri-SP: Manole, 2007.
GUYTON, A. C., HALL, J. E. **Fisiologia Humana e Mecanismos das Doenças**, 6 ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1998.