

Por onde circula o sangue?

Metas da aula

- Apresentar os compartimentos líquidos do organismo.
- Introduzir a organização geral e as funções do aparelho circulatório, como um todo, e de cada um de seus componentes.

objetivos

Esperamos que, após o estudo do conteúdo desta aula, você seja capaz de:

- identificar os compartimentos líquidos do corpo humano;
- a partir do peso corporal, calcular o volume total de água e os de cada compartimento líquido, destacando o compartimento vascular;
- compreender a relação entre os vários compartimentos líquidos do organismo;
- descrever as funções exercidas pelo aparelho circulatório e a sua importância;
- identificar na circulação sistêmica e pulmonar; o sentido do fluxo sanguíneo e o seu valor e a pressão média na raiz da aorta, veias cavas, artérias e veias pulmonares;
- descrever a relação que existe entre a estrutura da parede dos vasos sanguíneos com as suas respectivas funções;
- compreender os efeitos da arborização da árvore vascular sobre a área de secção transversa, a velocidade de transito do sangue e o perfil de pressão ao longo da árvore vascular;
- identificar, no circuito vascular, os seguintes segmentos:
 - o de maior capacidade de armazenamento de sangue;
 - o local onde há maior queda de pressão sanguínea;
 - os de menor e maior áreas de secção transversa total;
 - os de maior e menor velocidade de trânsito de sangue.

Pré-requisitos

Para acompanhar esta aula, você vai precisar de alguns conceitos fundamentais de química (conceito de concentração), transporte de substâncias nos seres vivos e organização geral do corpo de metazoários, aparelho circulatório e excretor. Caso você encontre alguma dificuldade, você poderá recorrer à aula sobre soluções de Elementos de Química Geral, aula sobre transportes através de membrana de Biologia Celular I e as aulas sobre os aparelhos circulatório e excretor nos metazoários, particularmente mamíferos, da Introdução a Zoologia.

INTRODUÇÃO

Nesta aula vamos estudar a organização geral do aparelho circulatório, começando por identificar o sangue, como um dos compartimentos líquidos do organismo, ou seja um dos locais em que se situa a água no organismo. Ouvimos com frequência que a água é um componente essencial para a vida. Qual a razão disto? Se você respondeu que é porque pelas suas propriedades, a água é o solvente universal, no qual elementos fundamentais para a vida estão dissolvidos, e constitui o ambiente onde muitas reações vitais acontecem, você acertou. Este tema foi bem discutido no curso de Bioquímica I. Por esta razão, a água é também o constituinte majoritário da massa corporal dos animais como você aprendeu no seu curso de Introdução à Zoologia.

A ÁGUA NO ORGANISMO

Você sabe que porcentagem do peso corporal do animal é constituído por água? (Você sabe quantos porcentos do peso corporal de um animal é representado por água?) Varia muito; animais como a medusa (Hydra) têm cerca de 95% do seu peso representada pela água. No outro extremo, está a broca do feijão, que tem apenas metade do seu peso constituído por água.

No homem adulto, a água representa cerca de 60% do peso corporal, percentual este que varia com alguns fatores como idade, sexo e quantidade de tecido adiposo. Como água e gordura não se misturam, o tecido adiposo contém menos água do que os demais. Por isto, quanto mais gorda a pessoa, menor a fração do seu peso representada por água.

O corpo das mulheres, normalmente com um percentual de gordura superior ao do homem, tem uma fração menor de água, cerca de 55% do peso corporal. Esta proporção varia também com a idade. A água nos recém-nascidos representa cerca de 75% do peso corporal, diminuindo para aproximadamente 60% ao final do primeiro ano de vida.

Assim, pode-se estimar o volume de água na composição do corpo humano. Pense num homem com 70 kg: aproximadamente 42 kg corresponderá à água (fazendo a conta, 60% do peso corporal: $70 \text{ kg} \times 0,6 = 42 \text{ kg}$ ou 42 L).

ONDE FICA A ÁGUA NO NOSSO CORPO?

Se você perguntar ao seu vizinho onde podemos encontrar água no corpo humano, ele provavelmente responderá que é no sangue e nas veias! Certamente, esta é uma das formas como se apresenta a água. A propósito, quando um leigo diz “veias” ele provavelmente está se referindo aos vasos sanguíneos de maneira geral e não especificamente às veias. Porém, onde mais tem água?

Outras formas lembradas por você podem ser o conteúdo do aparelho digestivo e da bexiga urinária. Cuidado, lembre-se de que estes espaços não são parte do meio interno no sentido com que este termo é utilizado na fisiologia, mas externos. A luz do tubo digestivo e da bexiga têm comunicação direta com o ambiente externo, sem uma barreira.

Como você pode acompanhar na **Figura 24.1**, que mostra os comportamentos líquidos do organismo, no corpo de todos os organismos pluricelulares, a água se situa em dois compartimentos: o intracelular, maior, representado pela água que compõe as células e corresponde a cerca de $2/3$ do volume total, e o extracelular, que representa o $1/3$ restante.

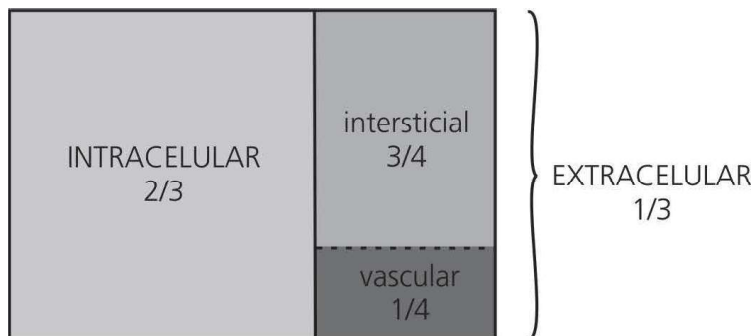


Figura 24.1: Os compartimentos líquidos do organismo. compartimento intracelular e extracelular. O compartimento extracelular compreende o compartimento vascular e o líquido intersticial. Há troca de água entre os compartimentos intra e extracelular através da membrana plasmática e entre o compartimento intersticial e o vascular, através do endotélio capilar.

O compartimento extracelular, como o próprio nome diz, refere-se a todos os líquidos que não estão localizados dentro de células. Inclui: 1. o sangue (plasma), representando o compartimento vascular e 2. o fluido contido na matriz extracelular que circunda a maior parte das células do nosso corpo, chamado fluido intersticial respondendo por quase $\frac{3}{4}$ do líquido extracelular. É neste compartimento que praticamente todas as células do organismo (exceto as células sanguíneas maduras) estão mergulhadas e por isto este compartimento é também referido como o meio interno. É do líquido intersticial que elas recebem as substâncias de que necessitam e para onde excretam o que produzem. Por isso é fundamental que a composição deste líquido seja permanentemente controlada para garantir o funcionamento celular normal. Esta constância do meio interno é referida como **HOMEOSTASE**.

HOMEOSTASE

Constância da composição do meio interno.

O sangue, que circula pelo aparelho circulatório e costuma ser o primeiro componente líquido lembrado, constitui a menor fração, $\frac{1}{4}$ do compartimento extracelular ou $\frac{1}{12}$ do volume total de água corporal.

Também fazem parte do compartimento extracelular líquidos localizados em alguns espaços específicos: o humor aquoso do olho, o fluido cérebro-raquidiano que se encontra nos espaços ao longo de todo o sistema nervoso central (canal espinhal e ventrículos cerebrais, cerebelares etc) e o líquido sinovial nas articulações. O volume destes líquidos é em geral ignorado nos cálculos de volumes de líquidos corporais por representar uma fração pequena, mas cada um destes fluidos tem função importante para o corpo.

ATIVIDADE

1. Calcule o volume aproximado de água na composição do seu corpo. Vamos, a seguir, estimar o volume de plasma sanguíneo e do líquido intersticial, desprezando os volumes do líquido sinovial, do fluido cérebro-raquidiano e do humor aquoso.



RESPOSTA COMENTADA

A primeira informação de que você precisa para fazer essa atividade é saber o seu peso. Se você for homem o percentual de água é em torno de 60% e se for mulher, 55%. Lembre-se das porcentagens do volume total que cabe a cada um dos compartimentos: intracelular (2/3 do total) e extracelular (1/3). Este último por sua vez inclui os compartimentos vascular (1/12 do total, isto é, $\frac{1}{4} \times \frac{1}{3}$), e intersticial, 3/12 do valor total). Verifique se você fez os cálculos adequados, relendo o final da Introdução desta aula.

Os cálculos que fizemos fornecem apenas uma estimativa dos volumes dos vários compartimentos líquidos. Estes volumes podem ser determinados experimentalmente em uma pessoa.

Como determinar o volume de um compartimento se não posso esvaziá-lo e, se, além disso, não apresenta uma forma geométrica definida? Uma técnica muito utilizada em biologia baseia-se no princípio da diluição. Vamos entender como é isso.

Você aprendeu em Química que a concentração de uma substância em solução representa a quantidade dessa substância presente em uma unidade de volume da solução. Isto se expressa assim:

Concentração = massa/volume, ou seja: $C = m/vol$. Se você conhecer dois dos três parâmetros - concentração, massa e volume - poderá calcular o terceiro efetuando uma única operação. Dessa forma, você poderia calcular a quantidade de uma determinada substância contida em um certo volume de uma solução fazendo: $m = C$ (concentração da substância na solução) \times volume (da solução).

Vamos então determinar o volume total de água no sangue de uma pessoa. Como proceder? Precisamos apenas encontrar alguma substância que possa ser injetada em quantidade conhecida na circulação, sem causar nenhum dano, e que seja capaz de se distribuir homogêneo por todo o seu sangue, e também que não saia do compartimento vascular. Um método utilizado em laboratório consiste em retirar uma amostra de sangue da pessoa, marcar (as hemácias) com uma substância radioativa (por exemplo crômio-51) e medir a concentração (C_1) da radioatividade dessa amostra. A seguir, reinjetar na veia do paciente um volume conhecido (V_1) deste sangue marcado, aguardar alguns minutos para que as hemácias marcadas se distribuam homogêneo por todo o compartimento vascular (isto é, pelo volume total de sangue da pessoa), retirar uma nova amostra do sangue e medir a radioatividade (C_2) nessa nova amostra.

Como toda a radioatividade presente no sangue desta pessoa provém da amostra injetada, e as hemácias não atravessam a parede dos capilares, permanecendo confinadas ao compartimento vascular, podemos dizer que:

$$V_1 \cdot C_1 = C_2 \cdot V_s, \text{ onde } V_s \text{ representa o volume total de plasma do indivíduo.}$$

$V_1 \times C_1$ representa a quantidade de radioatividade injetada e $C_2 \cdot V_s$ indica a quantidade de radioatividade contida no sangue total da pessoa. Pelo que foi dito anteriormente, essas quantidades são iguais e por isso podemos escrever a igualdade acima. Como V_1 , C_1 e C_2 são conhecidos, é só fazer as contas:

$$V_s = (V_1 \times C_1) / C_2$$

Observe que para utilizar este método é fundamental que o marcador utilizado não seja tóxico, que não interfira no volume a ser medido, que fique confinado ao espaço cujo volume se quer determinar e que ele não seja secretado nem removido do compartimento em estudo, isto é, que todo o marcador injetado, e somente este permaneça no compartimento em questão durante os procedimentos necessários para a medida.

SOLUTO E SOLVENTE

Em uma solução, o soluto é a substância que está dissolvida no líquido, que é o solvente.

OSMOSE

Fluxo passivo de solvente entre dois compartimentos separados por uma *barreira semipermeável* (barreira que impede o *fluxo de um soluto* mas não de solvente). Este fluxo do solvente é governado pela diferença de *concentração do solvente* nos dois compartimentos. O solvente passa do compartimento em que ele se encontra em maior concentração (portanto o lado que contém menos soluto) para aquele em que ele se encontra em menor concentração (onde há mais soluto). Este assunto será estudado mais detalhadamente em Biofísica.

O compartimento intracelular é separado do extracelular pela membrana plasmática, cujas características e propriedades você conhece. Ela é constituída basicamente por uma dupla camada lipídica na qual se encontram mergulhadas moléculas de proteínas. Algumas delas atravessam toda a espessura da bicamada, podendo formar ambientes que, seletivamente, permitem que determinadas substâncias atravessem a bicamada. Os canais iônicos, que você conheceu em Biologia Celular, constituem um grupo destas proteínas. O canal de água, a aquaporina, que permite fluxo de água através da membrana plasmática é uma delas, bem caracterizada somente na década de 1990. A água e os íons passam, portanto, por caminhos diferentes para atravessar a membrana plasmática.

O fluxo de água através da membrana plasmática ocorre passivamente por **OSMOSE**, porque existem no citoplasma muitas substâncias, como as proteínas, que não conseguem atravessar a membrana plasmática, que se comporta como uma membrana semipermeável. Observe que estamos falando em *fluxo de água*, o **SOLVENTE**. O *fluxo passivo* de **SOLUTOS**, ou seja, das substâncias que estão dissolvidas na água ocorre por **DIFUSÃO**.

DIFUSÃO

Fluxo passivo de soluto (moléculas dissolvidas) do local em que está em maior concentração (maior energia química) para aquele em que está com menor concentração (menor energia química). Esse fluxo decorre do movimento browniano. Também este tema é visto em detalhe na Biofísica.

ATIVIDADE



2. Pesquise na Internet a história da descoberta da aquaporina. Você entenderá como acontece uma descoberta científica. Redija um pequeno texto para colocar no espaço-virtual da disciplina e, desse modo, compartilhar seus achados com seus colegas. Se preferir, complemente ou discuta o material apresentado por outro colega.

A barreira entre o compartimento vascular e o intersticial é a parede dos vasos. A troca de líquidos entre estes dois compartimentos ocorre através da parede capilar, local em que há, em condições normais, livre trânsito de água e pequenas moléculas aí dissolvidas: íons inorgânicos (como sódio, potássio, cálcio, magnésio, bicarbonato, cloreto, fosfato), glicose, gases etc, mas não de moléculas maiores como a albumina (proteína encontrada em maior concentração no plasma sanguíneo). Na Aula 25, você conhecerá a estrutura desta parede. Observe que aqui falamos de *fluxo de solução* que passa do compartimento com maior energia potencial para aquele de menor energia potencial. A natureza dessa energia potencial será detalhada na Aula 29. Quando a solução passa do compartimento vascular para o interstício, este fluxo é chamado **FILTRAÇÃO** e quando é o inverso, do interstício para o compartimento vascular, fala-se em **REABSORÇÃO**.

Graças a esse permanente fluxo de líquido entre os compartimentos vascular e intersticial, a composição do líquido intersticial é semelhante à do plasma, exceto no que se refere às proteínas retidas no compartimento vascular.

FILTRAÇÃO

Fluxo passivo de solução do compartimento vascular para o interstício.

REABSORÇÃO

Fluxo passivo de solução do interstício para o compartimento vascular.



ATIVIDADE

3. Ocorre trânsito de água entre os compartimentos líquidos do organismo? Há consumo direto de energia metabólica nesse transporte?

RESPOSTA COMENTADA

Existe uma contínua troca de líquidos entre os vários compartimentos através de mecanismos passivos, havendo fluxo de água dos compartimentos em que ela se encontra com maior energia para aquele com menor energia. Não há consumo direto de energia metabólica nesse processo. O fluxo de água entre o compartimento intra e extracelular se dá por osmose e entre o compartimento intravascular e intersticial, acontece por filtração e reabsorção.

Observa-se, assim, que, embora a água no organismo se localize em vários compartimentos separados por barreiras bem definidas, há uma ampla troca de líquidos entre eles. Estas trocas são fundamentais para a manutenção da vida já que são elas que garantem os constantes aporte e remoção de substâncias às células.

Nos metazoários, organismos multicelulares, o aparelho circulatório, responsável pela circulação do sangue por todo o corpo, é um sistema essencial para manter o meio interno adequado para a vida das células, como veremos a seguir.

PARA QUÊ APARELHO CIRCULATÓRIO?

A troca de substâncias com o meio é um processo essencial para todos os organismos, pois eles recebem do meio substâncias de que necessitam e que não conseguem produzir e cedem para este mesmo meio, o que produzem. Minimamente captam substrato para a “produção de energia metabólica”, oxigênio e elementos constitutivos, e liberam produtos de sua atividade metabólica como o gás carbônico.

No organismo unicelular que tem vida livre em um meio aquoso, esta troca é realizada diretamente com o ambiente externo. Assim, entram na célula substâncias que estão na sua imediata vizinhança e saem produtos gerados pelo seu metabolismo.

Se uma determinada substância é consumida pelo organismo, ela gradativamente se tornará escassa ao redor dele ficando sua concentração aí, mais baixa do que em pontos mais distantes como mostra a **Figura 24.2 A-a**. Como consequência, cria-se, por difusão, um fluxo efetivo (indicado pelas setas) desta substância de regiões mais afastadas em direção à célula. Este processo permite a reposição da substância consumida na proximidade da célula. Já, se uma substância é produzida pelo organismo, a situação se inverte. A concentração da substância é grande nas proximidades da célula e quase nula em pontos mais distantes. Cria-se então um fluxo desta substância (mostrada pelas setas na **Figura 24.2.A.b**) no sentido oposto. Como o volume do meio ambiente é infinitamente maior do que o da célula, a difusão é suficiente para que a composição do meio em torno da célula seja mantida dentro dos valores adequados para a vida.

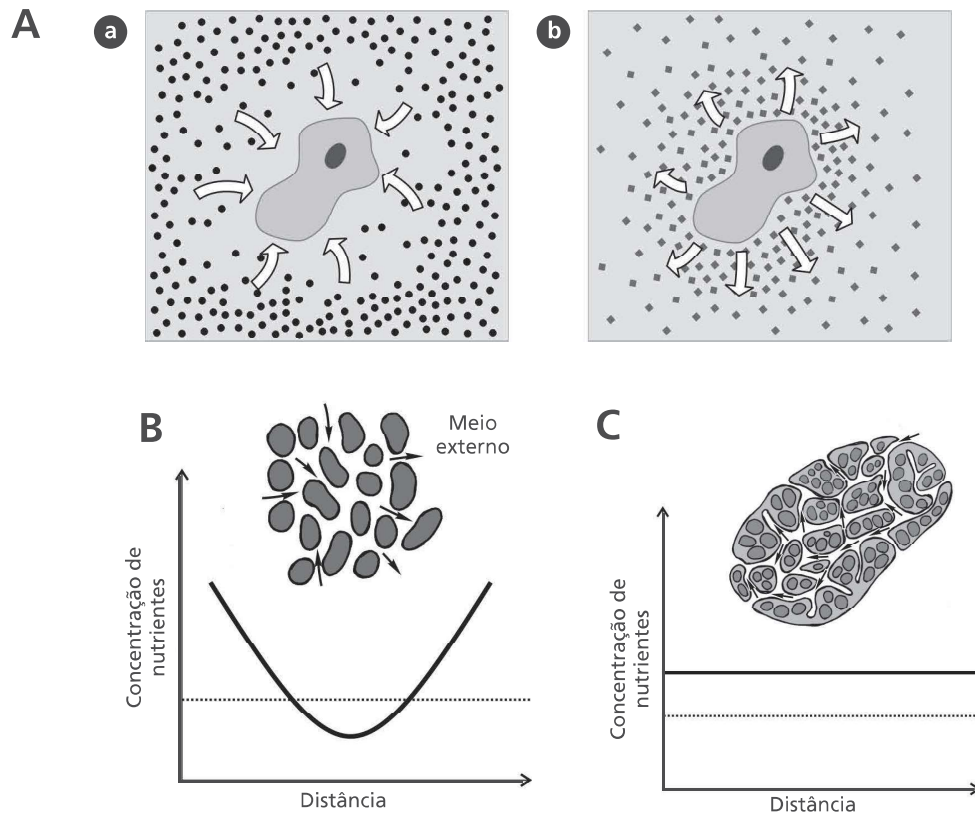


Figura 24.2. A: Organismo unicelular livre em meio aquoso: (a), a concentração de substância consumida pelo organismo diminui no seu entorno; (b), substância produzida ou excretada pelo organismo; quanto mais perto maior a sua concentração. As setas indicam o sentido do fluxo, dos locais de maior concentração para os de menor concentração, por difusão. **B:** Numa colônia constituída por muitos seres unicelulares há pouca renovação do meio na região central, pois a difusão através dos estreitos espaços entre os indivíduos é lenta. Isto pode inviabilizar a vida dos indivíduos situados no centro da colônia, devido à escassez de nutrientes, como mostrado pela linha grossa no gráfico da figura. A linha pontilhada indica o nível mínimo de nutrientes necessários no meio para a manutenção das células. **C:** Esquema de um tecido com uma rede de capilares no espaço entre as células, mantendo as concentrações de nutrientes em nível adequado no tecido todo.

O processo de renovação do ambiente químico em torno da célula por difusão livre é suficiente para manter a vida de organismos unicelulares isolados e também de colônias com poucos indivíduos (Figura 24.2-A). Este processo, no entanto, não atende às necessidades de uma colônia com maior número de indivíduos ou de organismos multicelulares, pois a composição do meio na região central da colônia muda mais rapidamente do que podem ocorrer as trocas com o meio ambiente livre. Observe o gráfico na parte inferior da Figura 24.2-B. A concentração de nutrientes diminui progressivamente da periferia, onde existe em abundância, na direção da região central, onde é inferior ao mínimo requerido (indicado pela linha tracejada). Isto acontece porque a taxa com que os nutrientes são consumidos, retirados do meio, é maior do que a taxa de reposição, que ocorre por difusão. A difusão não é suficiente neste caso por que, se dá através dos estreitos canalículos que circundam os indivíduos da colônia, o que a torna muito lenta. Esta é uma situação que inviabiliza a vida das células na região central da colônia.

A mesma situação se coloca com os metazoários. Enquanto o número de células não é grande, a difusão dá conta deste processo. Como essa questão foi resolvida à medida que os organismos multicelulares mais complexos apareceram?

Foi com o surgimento de um conjunto de sistemas destinados à manutenção da composição química do meio interno. O aparelho circulatório é um desses sistemas, mostrado na sua forma mais elementar na **Figura 24.2-C**, como uma rede de canalículos interligados, possibilitando um fluxo permanente de substâncias até às proximidades das células. Assim, como você pode verificar no gráfico na parte inferior da **Figura 24.2-C**, o nível dos nutrientes pode ser mantido uniforme em todo o organismo e acima do mínimo necessário, indicado pela linha tracejada.

FUNÇÕES DO APARELHO CIRCULATÓRIO

A função fundamental do aparelho circulatório é a de transportar substâncias e energia por todo o corpo. Participa do transporte dos gases respiratórios (oxigênio e gás carbônico), de nutrientes, dos produtos do metabolismo celular, hormônios e de células de defesa. Participa, também, do controle da temperatura corpórea e juntamente com os sistemas nervoso e endócrino, da coordenação e integração das várias funções do corpo, transportando hormônios dos locais onde são produzidos até os locais onde são utilizados.

Atuando em conjunto com os aparelhos digestório, respiratório e urinário que constituem sistemas capazes de captar substâncias do meio externo e/ou eliminar produtos do seu metabolismo, o aparelho circulatório participa do provimento às células, de oxigênio, nutrientes e remoção de produtos do metabolismo celular (exemplos: gás carbônico, uréia etc.).

Em resumo, pela sua função básica de transporte, o aparelho circulatório tem papel fundamental na preservação de um meio interno compatível com a vida, ou seja, a manutenção da homeostase.

**ATIVIDADE**

4. Levando em conta as principais funções do aparelho circulatório, comente duas conseqüências na vida de uma pessoa, cuja função circulatória tenha sido reduzida abaixo do seu nível normal.

RESPOSTA COMENTADA

Se a pessoa tiver uma vida sedentária, com pouca atividade física e a redução da função circulatória não for muito grande, ela pode não perceber nada de anormal na sua vida cotidiana. Mas ao fazer um esforço físico, como subir uma escada mais rapidamente do que o habitual, correr ou carregar uma sacola de mercado um pouco mais pesada aparecerão sinais como: 1. sensação de cansaço aos menores esforços; 2. sensação de falta de ar. Se o comprometimento funcional for maior, esses sinais podem ocorrer mesmo em repouso. Estes sintomas estão relacionados com o déficit de nutrientes nas células e a falta de oxigênio nos tecidos.

Observe que neste caso, de nada adiantará a pessoa se alimentar mais nem respirar oxigênio puro, porque muito provavelmente não há desnutrição nem falta de oxigênio nos pulmões e nem no sangue arterial. O que há é uma redução do transporte dos nutrientes e oxigênio até as células por diminuição do fluxo sangüíneo para os tecidos devido ao comprometimento do aparelho circulatório que não está sendo capaz de bombear sangue na taxa necessária. Por isto, se for feita uma análise do sangue venoso, serão observados diminuição tanto dos nutrientes como do oxigênio, e aumento dos produtos excretados.

A situação só poderá ser revertida melhorando a função circulatória.

COMO ESTÁ ORGANIZADO O APARELHO CIRCULATÓRIO

O aparelho circulatório humano é constituído por um órgão propulsor de sangue (bomba), o coração, e uma rede de distribuição e coleta de sangue, constituída pelos vasos sangüíneos.

Nesta aula, nos restringiremos à análise da organização geral do sistema como um todo, abordando os aspectos funcionais, falando apenas o mínimo necessário sobre os aspectos morfológicos. Estes serão abordados com maior profundidade na Aula 25, que trata da morfologia macroscópica e microscópica do coração e dos vasos.

O aparelho circulatório no homem é do tipo fechado, não havendo extravasamento de sangue para fora deste sistema, apenas troca de líquidos nos capilares, com uma pequena perda de líquido para o interstício. Esta fração perdida é continuamente devolvida para o compartimento vascular sanguíneo por uma segunda rede de vasos: o sistema linfático, como você verá nas Aulas 25 e 29.

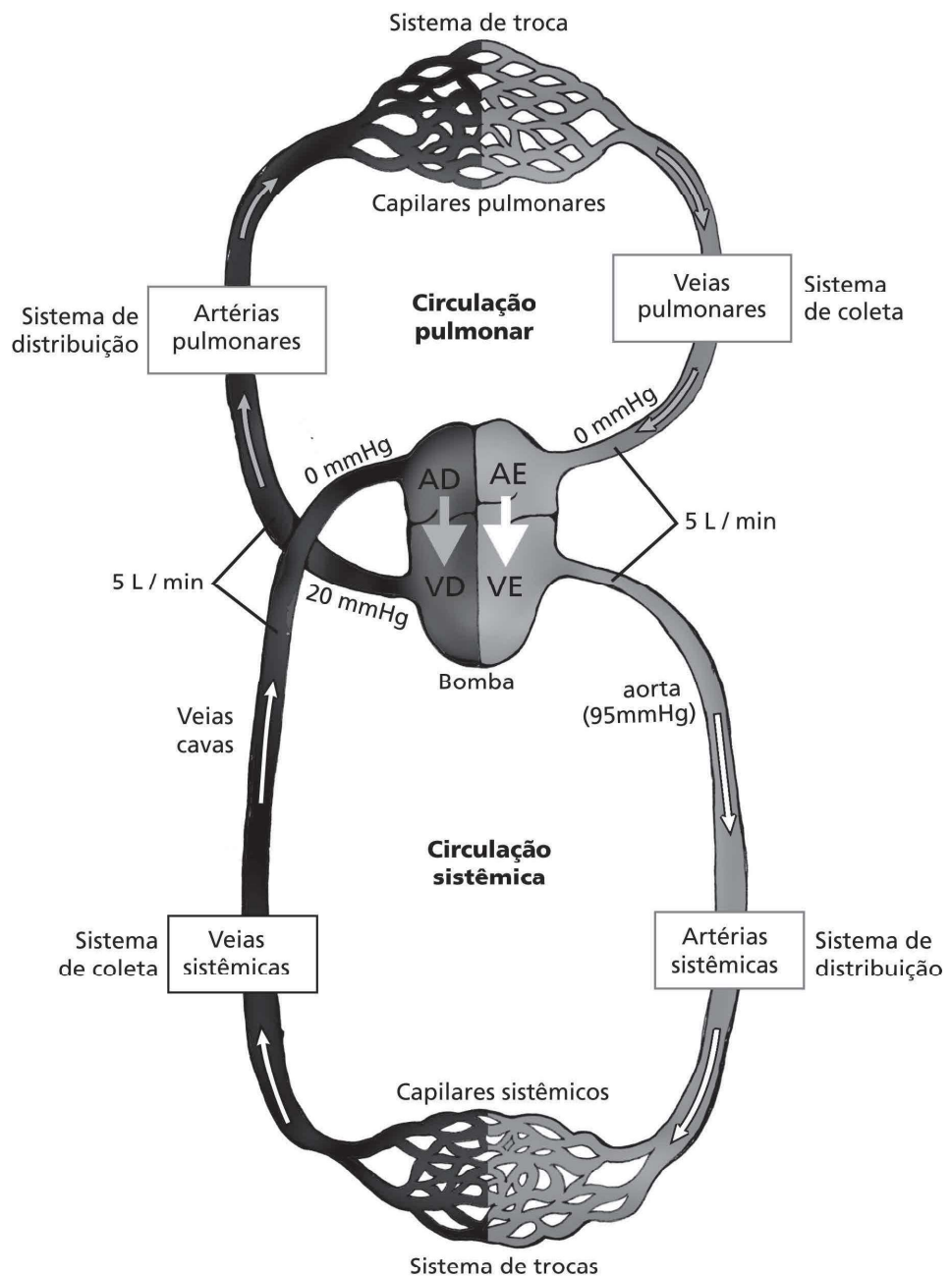


Figura 24.3: Esquema mostrando o coração e as duas redes de vasos, a circulação pulmonar e a circulação sistêmica. AD, átrio direito; AE, átrio esquerdo; VD, ventrículo direito; VE, ventrículo esquerdo.

Vamos agora analisar o sistema formado pelo coração e pelos vasos sanguíneos esquematizado na **Figura 24.3**. O sentido normal do fluxo de sangue dentro do coração, é dos átrios para os ventrículos; não há comunicação entre o lado direito e esquerdo. Assim, os lados direito e esquerdo do coração funcionam como duas bombas separadas. O direito bombeia sangue para a **CIRCULAÇÃO PULMONAR** e o esquerdo, para a **CIRCULAÇÃO SISTÊMICA**.

QUAL É A FUNÇÃO DO CORAÇÃO?

O coração funciona como uma bomba impulsionando o sangue para as artérias. Como o coração faz isso?

Graças à contração coordenada das suas câmaras, o coração cria um gradiente de energia, responsável pelo movimento do sangue ao longo da árvore vascular. Essa *energia* é representada no sistema circulatório pela *pressão*, tendo como referência a pressão atmosférica. Assim, quando falamos que a **PRESSÃO MÉDIA** na aorta é de 95 mmHg, estamos dizendo que a pressão do sangue na aorta é de 95 mmHg acima da pressão atmosférica e, quando dizemos que a pressão no átrio direito se torna negativa, estamos dizendo que fica menor do que a pressão atmosférica.

Durante a **DIÁSTOLE** a pressão nas cavidades cardíacas fica muito baixa, podendo atingir valores abaixo da pressão atmosférica. Isto ajuda a volta do sangue para o coração. Átrio e ventrículo direitos recebem e acomodam o sangue venoso proveniente da periferia (de todos os órgãos do corpo), enquanto o átrio e o ventrículo esquerdos acomodam o sangue proveniente da circulação pulmonar. Terminada a diástole, o coração contrai, entrando na **SÍSTOLE**.

Vamos primeiro acompanhar, (na **Figura 24.3**) o que acontece no lado direito do coração, embora ambos os lados contraíam e relaxem simultaneamente. Durante a contração, a pressão do ventrículo direito (VD) pode chegar a 25 mmHg, bombeando sangue para a circulação pulmonar, levando a pressão média, na artéria pulmonar, para 20 mmHg. Essa pressão média vai diminuindo à medida que o sangue passa pelas artérias pulmonares (sistema de distribuição pulmonar), dissipada na forma de calor devido à resistência ao fluxo oferecida pelos vasos. No nível dos capilares alveolares, o sangue passa por um ambiente rico em oxigênio e pobre em gás carbônico característico do interstício alveolar. Durante esta passagem, o sangue perde parte do gás carbônico e recebe oxigênio, por difusão (sistema de trocas). Assim, o sangue que volta para

CIRCULAÇÃO PULMONAR

Circuito que leva o sangue venoso para os pulmões e traz sangue arterial de volta para o coração.

CIRCULAÇÃO SISTÊMICA

Circuito que leva o sangue arterial para todas as partes do corpo e traz de volta, o sangue venoso.

PRESSÃO MÉDIA

Valor de pressão que faz o mesmo trabalho feito pela pressão arterial que é pulsátil. Veja mais detalhes abaixo.

DIÁSTOLE

Fase de relaxamento dos ventrículos. Às vezes definido também como a fase em que o coração não está ejetando sangue.

SÍSTOLE

Fase de contração dos ventrículos. Às vezes é também definida como a fase em que os ventrículos ejetam sangue.

o lado esquerdo do coração através das veias pulmonares (sistema de coleta pulmonar) é arterial, e sua pressão média é próxima de 0 mmHg, configurando uma queda de pressão de 20 mmHg, ao longo deste circuito que constitui a circulação pulmonar.

Do lado esquerdo, seqüência similar acontece (acompanhe na **Figura 24.3**): o sangue arterial chega durante a diástole, de volta dos pulmões para o ventrículo esquerdo (VE). Este é uma bomba propulsora bem mais potente do que o VD. A contração do VE confere energia suficiente para bombear sangue para todos os locais do corpo, sob uma pressão média de cerca de 95 mmHg na raiz da aorta. O sangue arterial é ejetado para a aorta que vai emitindo ramificações para os diferentes órgãos ao longo do seu percurso. Cada ramo da aorta vai se ramificando em artérias cada vez mais finas (sistema de distribuição sistêmico), arteríolas e finalmente capilares (microcirculação), formando assim verdadeiras redes em cada tecido (sistema de trocas sistêmico). Na microcirculação, o sangue recebe substâncias “produzidas” pelos vários tecidos e cede outras, pouco disponíveis no interstício, como o oxigênio e nutrientes, consumidos pelas células, transformando-se em sangue venoso. Daqui prossegue o seu caminho em direção às vênulas, veias e finalmente às veias cavas (sistema de coleta sistêmico) e coração direito. Este circuito constitui a circulação sistêmica. Neste percurso, o sangue vai progressivamente perdendo energia devido a resistência ao fluxo oferecida por essa enorme rede vascular. Chega às veias cavas com pressão média próximo a 0 mmHg - uma queda de cerca de 95 mmHg, portanto, 5 vezes maior do que a queda de pressão registrada na circulação pulmonar.

Observe que o fluxo de sangue é o mesmo nos dois circuitos, já que eles estão organizados em série, isto é, o sangue que passa por um circuito (pulmonar), obrigatoriamente passa pelo outro (sistêmico). Pode-se, portanto dizer que a resistência do circuito sistêmico é 5 vezes maior do que a da circulação pulmonar, já que a queda de pressão ao longo da árvore vascular é devida exatamente a resistência do circuito. Isto tem conseqüência na massa muscular dos dois ventrículos como você verá na Aula 25.

Num homem adulto de 70 kg, cada ventrículo bombeia cerca de 5 litros de sangue a cada minuto e este fluxo é chamado **DÉBITO CARDÍACO**. Nesta altura, você já sabe que o débito cardíaco pode ser calculado multiplicando o volume ejetado em cada sístole, **VOLUME SISTÓLICO**, pela frequência cardíaca, não é mesmo? E o fluxo de sangue que chega de volta a cada minuto para o coração direito é chamado **RETORNO VENOSO**.

DÉBITO CARDÍACO (DC)

Volume de sangue ejetado pelo VE para a aorta (ou pelo VD para a artéria pulmonar) em uma unidade de tempo (em geral, um minuto).

VOLUME SISTÓLICO (VS)

Volume ejetado pelo ventrículo esquerdo em uma contração.

RETORNO VENOSO (RV)

Volume de sangue que chega de volta para o átrio direito numa unidade de tempo (em geral, um minuto).

Por definição, o débito cardíaco (usualmente expresso em L/min) pode ser calculado multiplicando-se o volume sistólico pela frequência cardíaca, comumente expressa em batimentos por minuto (bpm):

$$DC = VS \times fc$$

O débito cardíaco representa o fluxo de sangue no sistema circulatório como um todo, razão pela qual o débito cardíaco é igual ao retorno venoso ($RV = DC$) e o fluxo na circulação sistêmica exatamente igual ao da circulação pulmonar.



ATIVIDADE

5. O débito cardíaco deve ser um parâmetro constante ao longo do dia (24 horas) de uma pessoa? Justifique sua resposta utilizando situações do seu dia-a-dia como exemplos.

RESPOSTA COMENTADA

O débito cardíaco deve se ajustar, a cada momento, às necessidades do seu corpo. Portanto, não deve ser um parâmetro constante. Se você está correndo, ele deve estar maior do que quando você está sentado tranquilamente conversando com seu amigo, por exemplo.

QUAL É A FUNÇÃO DOS VASOS?

Será que os vasos sanguíneos funcionam apenas como os canos num sistema hidráulico, conduzindo sangue por todo o corpo? De fato uma das funções dos vasos sanguíneos é exatamente esta, a de servir de condutos para distribuição e coleta de sangue do e para o coração, como mostrado na **Figura 24.3**. Mas os vasos sanguíneos têm outras funções muito importantes e particulares para cada segmento e essas funções estão intimamente relacionadas com a natureza da sua parede.

A **Figura 24.4** mostra esquematicamente a composição da parede dos diferentes segmentos vasculares: aorta, artéria, arteríola, capilar, vênula e veia. Na Aula 25, você verá estas estruturas em detalhe.

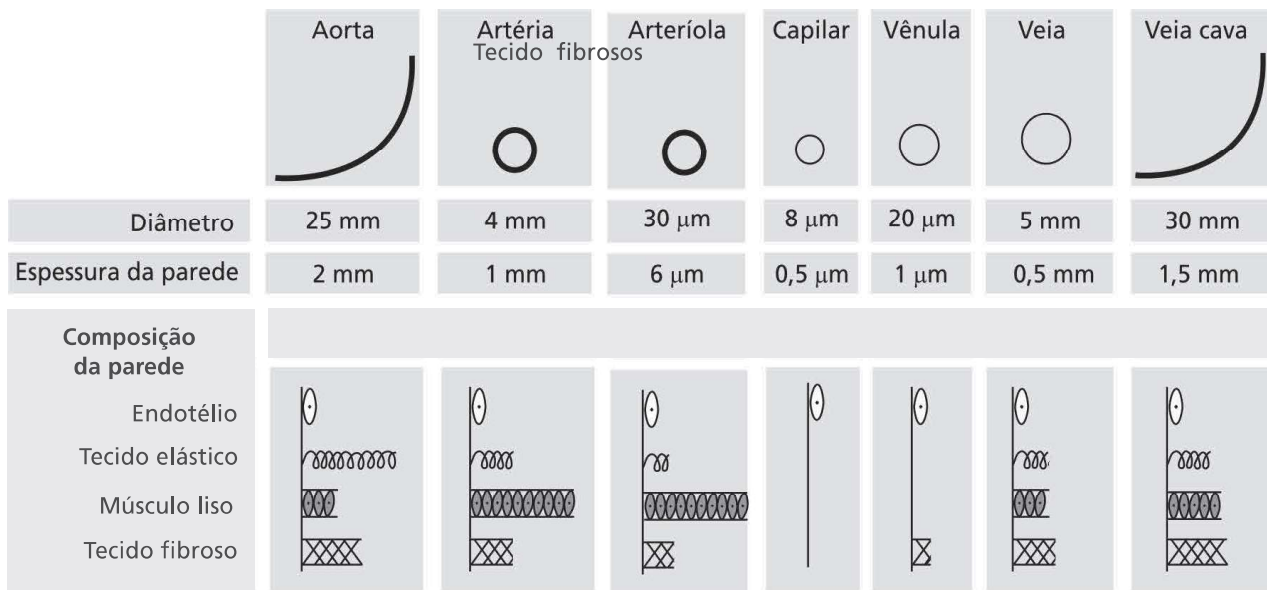


Figura 24.4: Representação esquemática da composição da parede e das dimensões de vários segmentos da árvore vascular, destacando algumas regiões em particular: aorta, artérias, arteriola, capilar, vênula, veia e veia cava.

A parede dos vasos sanguíneos é constituída por diferentes tecidos, dispostas em camadas, da luz para a periferia na seguinte seqüência: o endotélio, o tecido elástico, a camada muscular e mais externamente, o tecido fibroso. Os diferentes segmentos vasculares apresentam particularidades em relação à participação de cada uma destas camadas. Observe na **Figura 24.4** que, na aorta, a camada mais proeminente é a elástica, ao passo que nas artérias e arteríolas, a camada mais espessa é a camada muscular. Isto faz com que a aorta seja muito elástica e que, nas artérias e arteríolas, o tônus da parede vascular possa ser regulado variando o grau de contração da sua camada muscular. Nos capilares, a parede é constituída por uma única camada de células endoteliais com sua membrana basal, tornando-a permeável à água e substâncias nela dissolvidas.

Nas vênulas, temos apenas a camada endotelial e uma fina camada fibrosa, razão pela qual ela não oferece muita resistência à sua distensão, permitindo acomodar volumes variáveis de sangue, sendo em alguns locais também permeável a água. Na parede das veias não se observa predominância de nenhuma das quatro camadas e no geral, ela é mais fina do que nas artérias de mesmo nível. Além disso, as veias apresentam muito menos tecido elástico e muscular do que as artérias de mesmo calibre, tornando-as mais flácidas. Estas características permitem que as veias comportem volumes maiores de sangue sem aumento significativo da pressão no seu interior.

ARTÉRIAS

Qual é a principal função do sistema arterial? A cada contração, o ventrículo esquerdo lança para a aorta um jato de sangue a uma pressão que atinge 120 mmHg ou mais. Isso provoca a distensão da parede da aorta que é elástica e cria um gradiente de energia que promove o escoamento do sangue para a periferia. Durante a diástole, a parede da aorta gradualmente retrai em direção ao seu estado de repouso. Com isto, devolve a energia armazenada durante a sístole, e, com a válvula aórtica fechada, o sangue continua fluindo para a periferia.

Neste processo, a pressão na aorta cai gradativamente até cerca de 80mmHg no final da diástole. Assim, as artérias, além de se constituírem em condutos para a circulação do sangue, têm papel importante como **reservatório** de pressão, transformando o fluxo pulsátil do sangue que sai do VE durante a sístole, em um fluxo contínuo durante todo o ciclo cardíaco.

A pressão de 120 mmHg, valor máximo alcançado durante a sístole ventricular, é chamada **PRESSÃO SISTÓLICA (PS)** ou máxima, e os 80 mmHg alcançados ao final da diástole, é chamada **PRESSÃO DIASTÓLICA (PD)** ou mínima. Verifica-se, assim, que a pressão sangüínea na aorta oscila ciclicamente entre esses dois valores. Esse perfil pulsátil de pressão persiste em parte da árvore arterial, podendo alcançar amplitudes maiores em alguns segmentos como a artéria femoral. A partir deste nível, é progressivamente atenuado de modo que nos capilares a pressão não mais oscila ficando estável ao longo do tempo. Assim, o sangue chega aos capilares sistêmicos com uma pressão estável (não pulsátil) de cerca de 30 mmHg e um fluxo contínuo (não intermitente), diferente portanto, do que acontece na raiz da aorta, o que torna a troca de fluidos nos capilares um processo estável e contínuo.

Outro papel muito importante das artérias é representado pelo segmento arteriolar, principal local de regulação da pressão arterial, devido a sua capacidade de variar o diâmetro da luz e, portanto, a resistência oferecida ao fluxo de sangue.

PRESSÃO SISTÓLICA (PS)

Também chamada pressão máxima, é o maior valor que a pressão arterial alcança durante o ciclo cardíaco, coincidindo com o pico da sístole ventricular.

PRESSÃO DIASTÓLICA (PD)

Também chamada pressão mínima, é o menor valor de pressão arterial e coincide com o final da diástole.

CAPILARES

A principal função dos capilares é permitir as trocas de fluidos e substâncias nela dissolvidas, entre o sangue e o interstício, que é o objetivo do sistema circulatório. A parede do capilar, constituída por uma monocamada de células endoteliais, permite passagem de água e de grande parte de íons e moléculas dissolvidos ou suspensos em ambos os sentidos, através dos espaços existentes entre estas células. A molécula de albumina, principal proteína do plasma, fica retida no sangue porque é maior do que os espaços intercelulares do endotélio capilar. Tampouco as células sangüíneas passam passivamente para o interstício em condições normais, mas células que participam de mecanismos de defesa (alguns tipos de leucócitos), podem atravessar ativamente o endotélio capilar pelos espaços intercelulares.

Após a passagem pelo leito capilar, o sangue agora com nova composição é drenado para o sistema venoso onde chega a uma pressão aproximada de 15 mmHg.

VEIAS

Qual é a função do sistema venoso, além de servir de conduto para a volta do sangue para o coração? Lembrem-se de que a parede das veias é mais fina, com menor participação de tecido muscular e elástico. Nas vênulas, estas duas camadas praticamente não existem. O que podemos inferir disto? O compartimento venoso é capaz de conviver com grandes variações de volume sem alterações significativas de pressão. Por isto o leito venoso, que é um compartimento de baixa pressão (abaixo de 15 mmHg), funciona como um **reservatório de volume**, acomodando parcela importante da **VOLEMIA**. Quando há necessidade de um aumento no débito cardíaco, há um aumento do tônus da camada muscular das veias, diminuindo a capacidade do segmento venoso, e mobilizando volume adicional de sangue na circulação.

VOLEMIA

Volume total de sangue de uma pessoa. Em um homem de 70 kg de peso, a volemia é de aproximadamente 5 litros.



ATIVIDADES

6. Uma característica importante da aorta e artérias de maior calibre é a sua elasticidade. Discuta as conseqüências sobre o trabalho do VE, e sobre as pressões sistólica e diastólica na aorta, se houver uma diminuição da elasticidade da aorta.

RESPOSTA COMENTADA

Você se lembra que é a elasticidade da parede da aorta e das grandes artérias que confere a elas a função de reservatório de pressão? O sangue ejetado pelo VE, estira suas paredes e acomoda o volume sistólico com um aumento de pressão de cerca de 40 mmHg ($PS-PD=120-80= 40$ mmHg). Durante a diástole, à medida que o sangue flui, a parede da aorta volta gradualmente para a sua posição de repouso, devolvendo gradualmente a energia armazenada na forma de deformação elástica, energia está responsável pela manutenção do fluxo de sangue através da árvore vascular. Com a parede mais rígida, em conseqüência da perda de elasticidade, o VE precisará fazer mais força para ejetar o mesmo volume sistólico. Além disto, com a parede menos elástica, a pressão aórtica sofrerá um maior aumento ao receber um mesmo VS. Portanto, a perda da elasticidade da parede da aorta e das artérias leva a um maior trabalho do VE e maior pressão sistólica na aorta. Esta é a situação de pacientes com **ATEROSCLEROSE**.

ATEROSCLEROSE

Lesão e espessamento de parede de artérias que trazem como conseqüências diminuição da elasticidade das paredes e também diminuição da luz do vaso.

7. De que forma a estrutura da parede das veias interfere na sua função?

RESPOSTA COMENTADA

As veias constituem o reservatório de volume, permitindo acomodar grandes volumes de sangue sem grandes alterações na sua pressão, graças à grande complacência de suas paredes finas, pobre em fibras elásticas e com pouco tecido muscular.

EFEITOS DA ARBORIZAÇÃO DOS VASOS SANGÜÍNEOS

A Figura 24.5 mostra na sua parte superior, a área de secção transversa total nos vários segmentos da árvore vascular. Observe que a partir da aorta, ela aumenta à medida que se aproxima do capilar, onde alcança o seu valor máximo. Do lado venoso, progressivamente diminui à medida que se aproxima do coração.

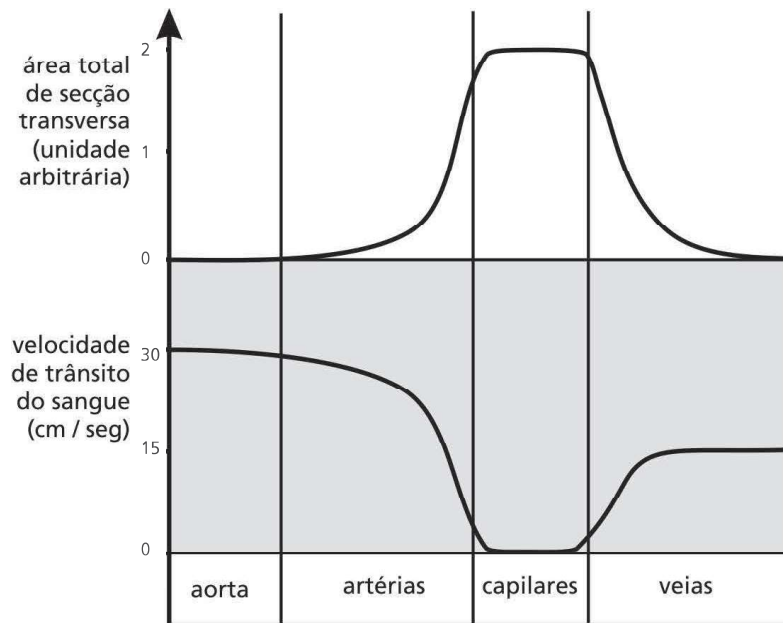


Figura 24.5: O gráfico superior mostra a área de secção transversa total da árvore vascular. O gráfico inferior mostra a velocidade linear do sangue em cada segmento. Observe que a velocidade é mínima nos capilares, onde a área de secção transversa é máxima. Isto ocorre porque o fluxo é o mesmo em todos os segmentos.

Esse perfil da área de secção transversa ao longo da árvore vascular tem uma consequência importante: a velocidade de trânsito do sangue muda com o segmento considerado. Veja na parte inferior da **Figura 24.5**. A velocidade é *maior* nos segmentos de *menor* área de secção transversa (raiz da aorta e veias cavas) e mínima no de maior área de secção transversa, capilares.

Isto é exatamente o que ocorre com a velocidade da água em um rio. A água, em um cânion, onde o rio fica muito estreito, corre rapidamente, ficando até turbulento e nos locais em que o rio se espria entre margens muito distantes, a água corre tranquilamente, sem qualquer ruído!



ATIVIDADE

8. Construir uma maquete com massinha ou papel maché representando um canal estreito e fundo que ramifica em vários braços de mesma profundidade e diâmetros variáveis e que depois juntam e dão origem novamente a um único canal, com um diâmetro maior do que o inicial. Dê uma pequena inclinação à sua maquete, com o canal mais estreito na parte mais alta e alimente com água proveniente de uma torneira.

a. Observe a velocidade de escoamento da água nos vários pontos e anote onde a velocidade é maior e onde é menor.

b. Observe o fluxo nos diferentes ramos e identifique: a. o(s) trecho(s) de maior fluxo b. os de menor fluxo. Existe alguma relação entre os fluxos destes dois segmentos?

c. Faça uma analogia com o sistema vascular.

RESPOSTA COMENTADA

a. A velocidade de deslocamento da água é maior no canal inicial mais estreito e mais lento nos canalículos. Por quê? Porque a soma da área de secção transversa de todos os canalículos é maior apesar de cada canalículo, isoladamente, ser mais fino do que o canal inicial.

b. O fluxo é máximo nos canais inicial e final. Os fluxos dos canalículos são frações do fluxo do canal inicial (ou final) e a soma dos fluxos dos canalículos é igual ao fluxo dos canais inicial e final. Os canalículos estão dispostos em paralelo entre si enquanto os canais inicial, final e o conjunto dos canalículos estão em série.

c. O canal inicial pode representar a aorta; os canalículos, a microcirculação e o canal final, as veias cavas.

Conclusão: a velocidade de deslocamento do sangue depende inversamente da área de secção transversa total do segmento considerado. O fluxo total é o mesmo ao longo de todo o trajeto se considerarmos, em todos os segmentos, todos os caminhos pelos quais o sangue se distribui.

Em um homem em repouso, a velocidade de trânsito do sangue na aorta é de cerca de 30 a 35 cm/seg e nos capilares, de 0,02 a 0,03 cm/seg. Esta velocidade com que o sangue passa pelos capilares favorece as trocas entre sangue e líquido intersticial.

Será que quanto mais devagar o sangue percorrer os capilares, melhor? Não! Os tecidos consomem continuamente substâncias trazidas pelo sangue e produzem outras que devem ser removidas por serem prejudiciais às células. Existe uma faixa de velocidade ideal para otimizar o processo: nem tão depressa que resulte em desperdício de energia, nem tão devagar, que ocorra déficit de nutrientes e oxigênio e acúmulo de metabólitos que podem se tornar prejudiciais se acumulados no interstício.

QUAL O FLUXO DE SANGUE QUE CHEGA PARA CADA ÓRGÃO?

Isto depende da atividade metabólica e da função do órgão. No repouso, enquanto a musculatura esquelética, que representa cerca de 45% do peso corporal, recebe 20% do débito cardíaco, a circulação do coração (circulação coronariana) e do cérebro (circulação cerebral) recebem respectivamente 5% e 15% do débito cardíaco, apesar de o peso desses órgãos representar apenas 0,5% e 2%, respectivamente, do peso corporal. A aparente superirrigação desses dois órgãos é justificada pela sua alta atividade metabólica. Já os rins cujo peso representa cerca de 0,5% do peso corporal, recebem cerca de 25% do débito cardíaco, um fluxo certamente muito maior do que o necessário para o seu consumo. Este alto fluxo nos rins é fundamental para o organismo, já que os rins constituem um dos principais locais de depuração do sangue, eliminando substâncias originadas do metabolismo de todo o corpo.



ATIVIDADE

9. A porcentagem do débito cardíaco que irriga os diferentes órgãos deve ser fixa ou variável? Justifique sua resposta utilizando exemplos e situações do seu cotidiano.

RESPOSTA COMENTADA

A porcentagem do fluxo que irriga cada órgão varia constantemente dependendo da sua atividade, seu comportamento, estado emocional, etc. Exemplo: se você está terminando um lauto almoço, a fração que irriga o leito vascular do seu tubo digestivo e fígado deve aumentar e a que irriga o músculo da perna diminuir. Se você está com muito calor, deve aumentar a fração que irriga a pele em detrimento do fluxo que vai para outras partes e assim por diante.

COMO VARIA A PRESSÃO SANGÜÍNEA AO LONGO DA ÁRVORE VASCULAR

Para fins práticos de estudo de fluxo, define-se, para cada segmento vascular um valor único de pressão que represente a pressão arterial pulsátil. Esse valor único de pressão é chamado **PRESSÃO MÉDIA**, atingindo cerca de 95 mmHg na aorta.

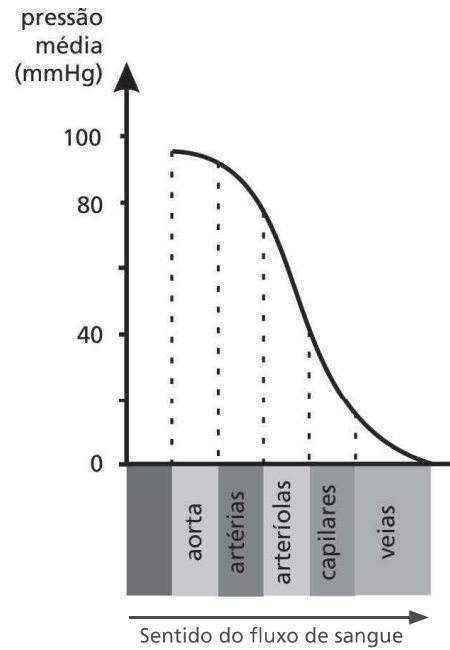
O que acontece com a pressão média à medida que o sangue flui pelo leito vascular? Se você respondeu que ela vai caindo à medida que o sangue escoar pelos vasos, você acertou (lembra-se da **Figura 24.3?**). Esta queda reflete a dissipação de energia ao longo do trajeto, devido à resistência ao fluxo de sangue. Quanto maior a resistência oferecida por um dado segmento, maior a queda de pressão observada. Na **Figura 24.6** você pode acompanhar como a pressão média diminui ao longo da árvore vascular. Observe que a pressão diminui muito pouco na aorta, até chegar às artérias, onde ocorre uma queda importante, principalmente nas pequenas artérias. Mas a maior diminuição de pressão média ocorre ao longo das arteríolas, significando que é neste nível que existe maior resistência ao fluxo de sangue.

O sangue chega aos capilares com uma pressão de 30 mmHg, caindo 15 mmHg ao atravessar a rede capilar, de modo que entra no circuito venoso com apenas 15 mmHg. A partir daqui, a pressão vai progressivamente diminuindo em direção às grandes veias, onde chega praticamente a 0. (Lembre-se de que nos capilares a pressão já não é mais oscilante, como era nas artérias.) Assim, a diminuição da pressão ao longo do lado arterial é de cerca de 65 mmHg, 15 mmHg no leito capilar e 15 mmHg de queda do lado venoso. Por isto, o leito arterial é referido também como leito de alta pressão e o venoso, de baixa pressão.

PRESSÃO MÉDIA

Valor de pressão que faz o mesmo trabalho feito pela pressão arterial que é pulsátil. Na faixa de frequência cardíaca normal, a pressão média (PM) pode ser calculada da seguinte forma:
 $PM = (PS + 2PD) / 3$
 onde PS = pressão sistólica, PD, pressão diastólica. Isto, porque a diástole dura aproximadamente 2/3 do ciclo cardíaco e a sístole, 1/3.

Figura 24.6: Pressão média ao longo do leito vascular sistêmico. Observe os valores mais altos de pressão no lado arterial, com uma queda relativamente pequena nas grandes artérias, mais significativa nas pequenas artérias e maior no segmento arteriolar. Compare com os níveis bem mais baixos de pressão no lado venoso, onde também a queda de pressão é mínima.



ATIVIDADE

10. Por que quando queremos injetar algum medicamento na circulação ou retirar amostras de sangue, punciona-se a veia e não a artéria?

RESPOSTA COMENTADA

Punciona-se as veias por elas serem locais de baixa pressão (de 5 -10 mmHg). Nas artérias, onde a pressão média é de cerca de 90 mmHg, os riscos de uma hemorragia são muito maiores.

COMO O SANGUE SE DISTRIBUI NOS VÁRIOS SEGMENTOS DO APARELHO CIRCULATÓRIO?

Até agora, todo o nosso raciocínio foi feito com o sangue circulando: falamos em fluxo, velocidade de trânsito, resistência. Vimos, na primeira parte desta aula, que todo indivíduo tem um certo volume de sangue que fica dentro do aparelho circulatório. Como se distribui o sangue nas diferentes partes do aparelho circulatório? (Isto equivale a perguntar: se em um dado momento parasse a circulação do sangue, como ele estaria distribuído?)

O coração contém nas suas cavidades, cerca de 5% do volume total de sangue, quando em diástole. O restante se distribui na proporção aproximada de 2/3 na circulação sistêmica e 1/3 na circulação pulmonar. Esta proporção é mantida por uma série de fatores reguladores. Na circulação sistêmica, observa-se que a maior parte do sangue está no segmento venoso (vênulas e veias) que comporta cerca de 75%, cabendo ao segmento arterial apenas 15% e aos capilares os 10% restantes. Por isto diz-se que as veias são o reservatório de volume no aparelho circulatório. Alguns órgãos, como o fígado e baço, constituem-se também em reservatórios de sangue importantes.

Na circulação pulmonar, as veias também contêm um volume maior de sangue, mas esta diferença é menor: 65% nas veias, 30% nas artérias e 5% nos capilares.



ATIVIDADE

11. Quando você doa sangue em um banco de sangue são retirados 500 mL de sangue. Diga qual desses segmentos - veias, artérias ou capilares - terá seu volume diminuído nos primeiros momentos após a doação?

RESPOSTA COMENTADA

O segmento que terá seu volume diminuído nos primeiros momentos após a doação, é o venoso, pois as veias constituem o reservatório de sangue.

CONCLUSÃO

O aparelho circulatório formado pelo coração e vasos tem como função principal transportar substâncias como nutrientes, gases respiratórios, produtos para excreção, mensagens químicas (hormônios), calor, etc, de um local para outro dentro do corpo. Por isso, é fundamental para a manutenção da homeostasia do meio interno. Esperamos que esta aula tenha permitido que você perceba como a sua organização permite que o aparelho circulatório exerça esta sua função de forma eficiente.

ATIVIDADES FINAIS

Estas questões resumem e integram vários aspectos importantes sobre o funcionamento básico do aparelho circulatório que você acaba de estudar. Se você conseguir responder corretamente estas questões, mesmo tendo de consultar a aula para isso, você alcançou os objetivos propostos para esta aula.

1. Faça um esquema do aparelho circulatório semelhante ao indicado na **Figura 24.3**, mas dividindo a circulação sistêmica em três circuitos: 1. circulação para os rins, 2. circulação para os músculos esqueléticos e 3. todos os demais tecidos. Vamos supor que o débito cardíaco seja de 6L/min. Feito o esquema, agora vamos às perguntas:

Identifique:

1. a circulação sistêmica e a pulmonar;
2. o reservatório de volume;
3. o reservatório de pressão;
4. o local de menor velocidade de transito do sangue.

Indique:

5. o sentido do fluxo de sangue nos vasos e dentro do coração;
6. o valor do fluxo de sangue na raiz da aorta, na artéria e veia pulmonar e no átrio direito;
7. o valor do fluxo em cada um dos três circuitos sistêmicos que você desenhou;
8. a pressão média na raiz da aorta, nos capilares sistêmicos e na veia cava.