

Sistemas de transporte nos animais

CITAÇÃO

Moreira, C. (2013)
Sistemas de transporte nos animais,
Rev. Ciência Elem., V1(01):010.
doi.org/10.24927/rce2013.010

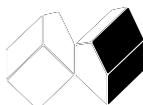
EDITOR

José Ferreira Gomes,
Universidade do Porto

COPYRIGHT

© Casa das Ciências 2019.
Este artigo é de acesso livre,
distribuído sob licença Creative
Commons com a designação
[CC-BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/), que permite
a utilização e a partilha para fins
não comerciais, desde que citado
o autor e a fonte original do artigo.

rce.casadasciencias.org



Catarina Moreira

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
catarolina@gmail.com

Os seres vivos necessitam de realizar trocas de substâncias com o meio envolvente. Esta troca de substâncias químicas decorre a nível celular. Para as substâncias atravessarem as membranas celulares a estratégia mais eficaz é quando as substâncias se encontram dissolvidas, implicando que as células estejam embebidas num meio líquido, o fluído intersticial.

Os animais mais simples são aquáticos, como a hidra e não possuem um sistema de transporte especializado. A parede corporal é fina, formada apenas por duas camadas de células, que estão em contacto direto com o meio, permitindo que o oxigénio se difunda diretamente da água para as células e os produtos resultantes do metabolismo sejam igualmente libertados das células para o meio. Os nutrientes difundem-se no interior da cavidade gastrovascular para as células da camada interna.

Em grupos de animais um pouco mais complexos, como os Platelminthes e os Nematelmintes, a difusão dos nutrientes e produtos metabólicos é realizada sem que exista um sistema de transporte especializado.

A difusão, em organismos de maiores dimensões torna-se um processo demasiado lento e inoperante devido ao elevado número de células. À medida que o grau de complexidade dos animais aumenta, surgem sistemas de transporte mais especializados com órgãos também especializados, que estabelecem a ligação entre as células e os sistemas digestivo, respiratório e excretor. O sistema circulatório garante a chegada de nutrientes e oxigénios a todas as células e a eliminação de substâncias tóxicas resultantes do metabolismo. Um sistema de transporte, tipicamente inclui:

- um fluido circulante, sangue ou outro fluido, que garante o transporte de nutrientes, a circulação de substâncias reguladoras, e o transporte de resíduos azotados. Este fluido pode também transportar gases respiratórios.
- um órgão propulsor do líquido circulante, nos animais, geralmente o coração.
- um sistema de vasos ou de espaços por onde o fluido circula entre os diferentes órgãos e

tecidos do organismo, permitindo o contacto entre o líquido circulante e o líquido intersticial de todas as células.

Sistemas de transporte nos invertebrados

Sem sistema circulatório

Os animais pertencentes aos filo Porífera, Cnidaria, Platelminthes e Nematelminthes não possuem sistema circulatório, e as trocas são feitas por difusão direta entre o meio e as células.

Nos Cnidaria, a difusão direta ocorre ou através da camada de células interna que reveste a cavidade gastrovascular – a endoderme, ou através da camada celular externa – ectoderme que contacta diretamente com o exterior. Os percursos que as substâncias têm de percorrer são suficientemente pequenos para o processo ser eficaz.

A estrutura dos Platelminthes já é um pouco mais complexa. A cavidade gastrovascular é extremamente ramificada estendendo-se por todo o organismo, garantindo uma grande proximidade às células. As trocas efetuam-se via o fluido intersticial que embebe as células, sendo facilitado por movimentos do corpo do animal.

Com sistema circulatório

Os sistemas circulatórios podem ser designados por abertos ou lacunares e fechados.

sistemas circulatórios abertos: o sangue, ou líquido circulante, abandona os vasos condutores e passa para os espaços – as lacunas – fluindo diretamente entre as células. As cavidades cheias de fluido que estão em contacto com as células que constituem o hemocélio. Neste tipo de sistemas não existe diferença entre o líquido circulante e o líquido intersticial que banha as células, tomando uma única designação de hemolinfa. Num sistema circulatório aberto a hemolinfa circula mais lentamente do que num sistema fechado e os animais possuem, em regra movimentos lentos e taxas metabólicas mais baixas (os insetos são a exceção).

Exemplos de animais com sistemas abertos:

Nos Artrópodes o sistema circulatório é constituído por um vaso dorsal, cuja contração impulsiona a hemolinfa para a aorta dorsal na região anterior do corpo, e desta flui para as artérias e depois para as cavidades do corpo, as lacunas. O vaso dorsal forma o coração tubular, e possui aberturas laterais, os ostíolos, providos de válvulas que impedem o retrocesso da hemolinfa. Quando o vaso dorsal contrai, os ostíolos fecham e a hemolinfa é impulsionada para a aorta, e depois para as lacunas. Quando o vaso dorsal relaxa e os ostíolos abrem, há uma redução da pressão no seu interior, e o líquido é forçado a sair das lacunas através dos ostíolos regressando ao coração tubular.

sistemas circulatórios fechados: o fluido circulante, sangue, só circula através dos vasos, não se misturando com o líquido intersticial.

Os sistemas circulatórios fechados oferecem grandes vantagens em relação aos sistemas abertos.

1. o transporte de oxigênio e nutrientes para os tecidos e o transporte para fora das células dos resíduos metabólicos é mais célere.
2. o sangue pode ser direcionado para tecidos específicos dos organismos.
3. os componentes celulares e moléculas de maiores dimensões que atuam no sistema vascular são mantidos no interior do sistema, com perdas reduzidas, como por exemplo, os glóbulos vermelhos e outras moléculas que auxiliam na distribuição de hormonas e nutrientes.
4. permitem taxas metabólicas mais elevadas, com particular importância em animais de grandes dimensões.

Os Anelídeos (a minhoca) são um exemplo de um sistema circulatório fechado muito simples. Existem dois vasos principais: um vaso ventral que transporta o sangue no sentido anterior-posterior e um vasos dorsal que transporta o sangue no sentido oposto. Em cada segmento do corpo da minhoca, pequenos vasos ramificam-se a partir dos vasos dorsal e ventral num rede de capilares que transporta o sangue para os tecidos. É ao nível dos capilares que ocorrem as trocas gasosas, de nutrientes e resíduos metabólicos entre o sangue e os fluidos intercelulares. Na parte anterior existem cinco pares de vasos que ligam o vaso ventral ao vaso dorsal que completam o sistema. Estes vasos, denominados corações laterais ou arcos aórticos, ao contraírem impulsionam o sangue para o vaso ventral, permitindo uma contínua circulação. A direção do sangue nos vasos é mantida por válvulas unidirecionais existentes no vaso dorsal e nos corações laterais, impedindo que o sangue retroceda.

Sistemas de transporte nos vertebrados

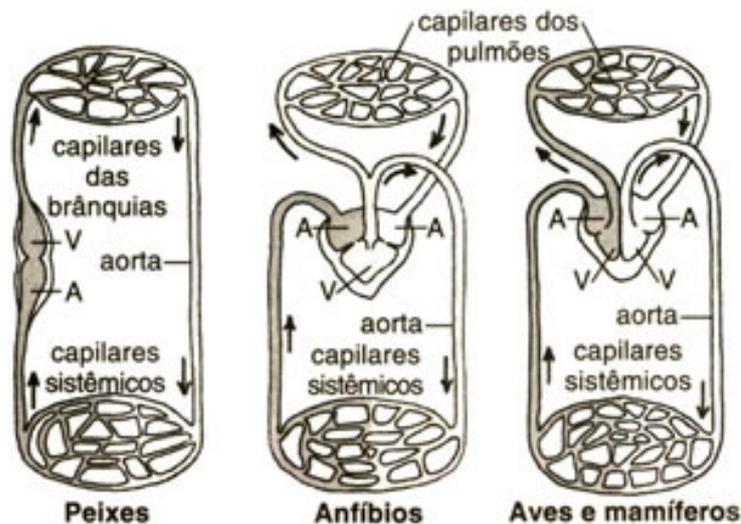
Todos os vertebrados possuem sistemas circulatórios fechados e corações com cavidades, denominando-se geralmente por sistema cardiovascular (do grego kardía, coração e do latim vas, vaso). Os corações com cavidades possuem válvulas que impedem que o sangue retroceda quando o coração contrai, fazendo com que o sangue siga unidirecionalmente. Os diferentes grupos de animais têm corações com diferente número de cavidades, evoluindo no sentido de uma gradual separação da circulação sanguínea em dois circuitos distintos, um pulmonar (ao nível dos pulmões) e o outro sistémico (no resto do corpo).

Os sistemas circulatórios fechados incluem artérias que transportam o sangue do coração, que se ramificam em vasos de cada vez menor calibre, as arteríolas e depois os capilares, ao nível dos quais ocorrem as trocas de substâncias e gases com o líquido intersticial dos diferentes tecidos. As vénulas, veias de menor calibre fazem a ligação capilar – veia de retorno ao coração. Os peixes têm circulação simples, ou seja, o sangue é bombeado do coração para as guelras, seguindo para os tecidos do corpo e daí regressa ao coração – por cada circulação completa o sangue só passa uma vez no coração; os outros vertebrados possuem circulação dupla – o sangue percorre dois circuitos diferentes passando duas vezes pelo coração – o sangue é bombeado do coração para os pulmões e daí regressa ao coração – circulação pulmonar - e do coração segue depois para o resto do corpo tornando a regressar ao coração – circulação sistémica. A circulação dupla é mais eficiente que a simples, é mais rápida e assegura um maior fluxo de sangue para os diferentes órgãos.

Circulação simples

Peixes

O coração do peixe tem duas cavidades, uma menos musculada que recebe o sangue venoso vindo do resto do corpo, a aurícula que bombeia o sangue para o ventrículo, uma cavidade mais musculada, que irá impulsionar o sangue pelo cone arterial para as brânquias. Nas brânquias efetuam-se trocas gasosas – hematose branquial – sendo o sangue oxigenado. Das brânquias o sangue segue para a artéria aorta dorsal, que se ramifica em artérias e arteríolas de menor calibre, espalhando-se em capilares pelos vários órgãos e tecidos. As trocas de oxigênio e dióxido de carbono e nutrientes dão-se ao nível dos capilares. O sangue venoso regressa via vénulas e veias até ao coração. A pressão com que o sangue sai do ventrículo é dissipada pela elevada resistência do fluxo através das brânquias, entrando na aorta com muito baixa pressão.



Circulação dupla e incompleta

Anfíbios

O coração dos anfíbios tem três cavidades: um ventrículo e duas aurículas. Do ventrículo sai sangue para os pulmões onde é oxigenado e liberta dióxido de carbono e sai também sangue para o resto do corpo, transportando o oxigênio para os tecidos e recolhendo o dióxido de carbono resultante do metabolismo celular. A aurícula direita recebe o sangue venoso e a aurícula esquerda o sangue arterial proveniente dos pulmões. Embora as duas aurículas impulsionem o sangue para um só ventrículo, o sangue arterial e o sangue venoso praticamente não se misturam devido à estrutura anatômica do ventrículo, que tende a dirigir o sangue arterial vindo da aurícula esquerda para a aorta e o sangue venoso vindo da aurícula direita entra no ventrículo passando para o cone arterial, no qual existe uma prega espiral que o encaminha para a artéria pulmonar. O facto de as aurículas não bombearem o sangue em simultâneo assegura a não mistura do mesmo no ventrículo. Considera-se assim que nos anfíbios existem dois circuitos: a circulação pulmonar e a sistêmica. Como

pode ocorrer alguma mistura dos dois tipos de sangue, venoso e arterial, diz-se que os anfíbios têm circulação incompleta.

Répteis

À exceção dos crocodilos, cujo coração tem quatro cavidades, os outros répteis têm corações com três cavidades. O coração possui duas aurículas e um ventrículo dividido parcialmente por um septo incompleto. Uma característica interessante dos répteis é que conseguem alterar a distribuição do sangue que vai para os pulmões e para o resto do corpo. Dado que estes animais podem ter longos períodos de inatividade com taxas metabólicas extremamente baixas (mais baixas que as aves e os mamíferos), quando a taxa de respiração é muito baixa eles têm a capacidade de alterar a circulação do sangue desviando-o do circuito pulmonar para o sistêmico. Quando o animal está a inalar ar, o sangue segue preferencialmente do lado direito do ventrículo para o circuito pulmonar (em vez de seguir o circuito sistêmico) porque a resistência pulmonar é inferior e devida à ligeira assincronia da contração ventricular que facilita o impulsionar do sangue no lado direito do ventrículo ligeiramente antes do do lado esquerdo. Quando o sangue oxigenado no lado esquerdo do ventrículo inicia a circulação sente resistência do vaso pulmonar uma vez que esta se encontra cheia de sangue, seguindo então para a via sistêmica. Quando os animais param de inalar ar, os vasos pulmonares sofrem uma forte contração e a resistência no circuito pulmonar aumenta o suficiente para forçar a saída do sangue dos dois lados do ventrículo para uma das aortas, seguindo apenas o circuito sistêmico e não o pulmonar. Os crocodilos, embora possuam o septo ventricular completo dividindo o ventrículo em duas cavidades independentes, não perderam esta capacidade de redirecionamento da circulação sanguínea. Possuem uma aorta com origem no ventrículo direito e outra no ventrículo esquerdo, com um pequeno vaso comunicante entre as duas à saída do coração. Quando o animal está a respirar a pressão no ventrículo esquerdo e respetiva aorta é superior do que no ventrículo direito, bloqueando a passagem de sangue do ventrículo direito para a aorta. Assim o sangue que circula em ambas as aortas é proveniente do ventrículo esquerdo, e o sangue do ventrículo direito segue a sua rota comum da circulação pulmonar. Quando o animal não respira, a contração dos vasos ao nível do circuito pulmonar faz com que a resistência à circulação sanguínea aumente bastante. Este aumento de pressão faz com que a válvula que liga o ventrículo direito à respetiva aorta abra, permitindo que o sangue de ambos os ventrículos circule em ambas as aortas e complete a circulação sistêmica, com consequente redução do fluxo pulmonar.

Circulação dupla e completa

Aves e Mamíferos

Os corações das aves e dos mamíferos têm quatro cavidades bem delimitadas: duas aurículas e dois ventrículos, impedindo qualquer mistura entre sangue venoso e arterial, exceto nos casos de alguma patologia do organismo. Diz-se, portanto, que estes animais têm circulação completa, sendo o lado direito do coração atravessado apenas por sangue

venosos e o lado esquerdo por sangue arterial. O sangue venoso chega à aurícula direita vindo dos diferentes tecidos pelas veias cavas, passa para o ventrículo direito e deste para a artéria pulmonar, que o conduz aos pulmões. O sangue arterial entra na aurícula esquerda via veias pulmonares e passa para o ventrículo esquerdo. A contração do ventrículo impulsiona o sangue para a artéria aorta que à saída do coração se curva – crossa da aorta – para a direita nas aves e para a esquerda nos mamíferos.

A separação das circulações pulmonar e sistêmica tem grandes vantagens para os animais:

- os sangues venoso e arterial não se misturam, logo o circuito sistêmico recebe sempre o sangue altamente oxigenado
- as trocas gasosas são maximizadas porque o sangue com maior teor de dióxido de carbono e menor teor de oxigênio é enviado para os pulmões, onde é oxigenado.
- a separação das duas circulações permite que funcionem a pressões diferentes aumentando a eficácia: como as aves e os mamíferos têm requisitos nutricionais e energéticos elevados, possuem uma rede de capilares bem desenvolvida mas que representa um aumento da resistência ao fluxo de sangue. Assim o sangue na circulação sistêmica necessita de uma grande pressão para manter o fluxo enquanto que ao nível da circulação pulmonar não só a rede de capilares não é tão extensa como a pressão necessária ao fluxo pode ser inferior.
- maior capacidade na produção de calor corporal que é uniformemente distribuído pelo corpo, permitindo manter a temperatura constante – animais homeotérmicos.

Circulação sanguínea humana

Tal como todos os outros mamíferos o ser humano tem um coração com quatro cavidades (duas aurículas e dois ventrículos) e uma circulação dupla e completa.

vasos sanguíneos

Os vasos sanguíneos apesar de terem uma aparência semelhante apresentam diferenças estruturais. As paredes das veias e artérias são constituídas por três camadas de diferentes tecidos – as túnicas:

- **túnica externa:** tecido conjuntivo elástico muito fibroso que confere elasticidade ao vaso.
- **túnica média:** formada por uma camada de tecido muscular liso e por uma camada de tecido conjuntivo rico em fibras elásticas. Esta túnica é mais desenvolvida nas artérias do que nas veias, dado o sangue circular com maior pressão nas primeiras.
- **túnica interna:** constituída por um tecido epitelial de revestimento, o endotélio, e pela membrana basal, uma camada não celular rica em proteínas e polissacáridos que liga o endotélio às restantes túnicas. As artérias têm ainda fibras elásticas extra.

A parede das artérias é tão espessa que ela própria é irrigada por vasos sanguíneos. Os vasos capilares têm um parede muito fina constituída por uma única camada de células, o endotélio, que facilita a troca de substâncias entre o sangue e os tecidos. A saída e entrada de substâncias nos capilares é feita através de pequenos poros na parede e é regulada pela pressão sanguínea e pelas diferenças de pressão osmótica no sangue e no fluido intersticial. Grande parte do fluido intersticial volta a entrar no sistema vascular no extremo venoso dos capilares, dado a pressão já ser mais baixa e o sangue se encontrar hipotônico em relação ao fluido intersticial depois das trocas.

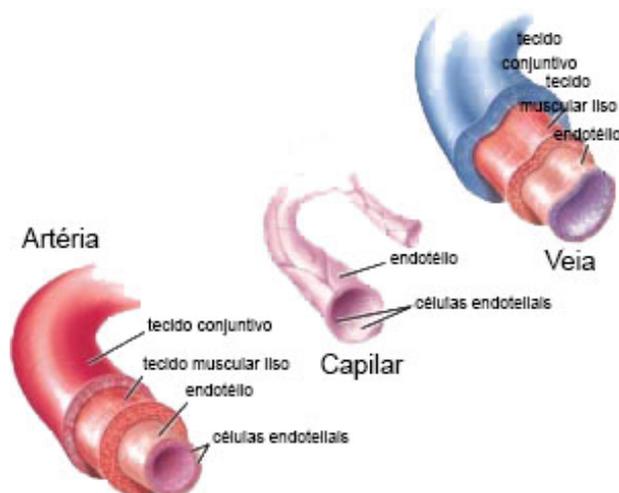
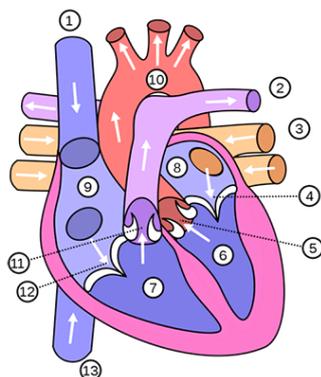


FIGURA 1. Figura 1. Um dos grandes ícones da Chapada Diamantina, vista do Morro do Pai Inácio. Empilhamento sub-horizontal de rochas sedimentares do Proterozoico Médio, moldadas pela conjugação da tectônica e dos agentes de meteorização.

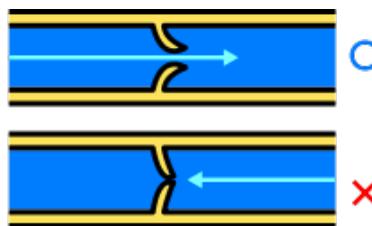
O coração

O coração é formado por uma parede de tecido muscular cardíaco, o miocárdio. O miocárdio é mais fino ao nível das aurículas e bastante desenvolvido ao nível dos ventrículos, porque o sangue é impulsionado a partir destas cavidades com maior pressão. O ventrículo esquerdo possui o miocárdio mais espesso que o direito uma vez que o sangue bombeado sai para a artéria aorta para a circulação sistêmica, enquanto que o sangue do ventrículo direito sai para a circulação pulmonar mais curta via artéria pulmonar. O músculo cardíaco é altamente irrigado pelas ramificações das artérias coronárias a partir da base da aorta e regressa à aurícula direita via veia coronária.



1. veia cava superior
2. artéria pulmonar esquerda
3. veias pulmonares superior e inferior esquerdas
4. válvula mitral ou bicúspide
5. válvula semilunar da aorta
6. ventrículo esquerdo
7. ventrículo direito
8. aurícula esquerda
9. aurícula direita
10. aorta
11. válvula semilunar
12. válvula tricúspide
13. veia cava inferior

O sangue sai sob pressão do coração para as artérias, ligadas aos ventrículos. O sentido da corrente sanguínea no coração é controlado pelas válvulas existentes nos orifícios de ligação entre as aurículas e os ventrículos: válvula bicúspide ou mitral no lado esquerdo e tricúspide no lado direito. O sangue pode passar no sentido aurícula-ventrículo do mesmo lado mas fica impedido de regressar à aurícula a partir do ventrículo. À saída do coração para as grandes artérias – pulmonar e aorta – também existem válvulas semilunares ou sigmoides que impedem o refluxo do sangue para o coração. Nas veias também existem válvulas venosas que impedem o refluxo do sangue nesse vasos, garantido que a circulação do sangue se faz sempre no mesmo sentido.



O coração tem movimentos rítmicos de contração, as sístoles, e de relaxamento, as diástoles que provocam diferenças de pressão responsáveis pela circulação do sangue. A sequência de sístoles e diástoles denomina-se ciclo cardíaco, com as seguintes fases:

- diástole geral: relaxamento do miocárdio, as válvulas sigmoides estão fechadas e as válvulas aurículo-ventriculares abertas. O sangue flui continuamente das veias para as aurículas, e passivamente das aurículas para os ventrículos do mesmo lado.
- sístole auricular: a parede das aurículas contrai e força a passagem do sangue para os ventrículos.
- sístole ventricular: a parede dos ventrículos contrai, fecham-se as válvulas aurículo-ventriculares, devido ao aumento da pressão intraventricular, impedindo que o sangue regresse às aurículas. O aumento da pressão sanguínea provoca a abertura das válvulas semilunares e o sangue sai para as artérias exercendo uma pressão nesses vasos, designada pressão arterial.

Os músculos das paredes ventriculares vão descontraindo, e as válvulas sigmoides fecham, as válvulas aurículo-ventriculares tornam a abrir e inicia-se novo ciclo cardíaco com a diástole geral. Um ciclo cardíaco dura em média 0.8 segundo, sendo a diástole geral a fase mais longa, isto é, o coração está mais tempo em relaxamento do que em contração.

Circulação sanguínea – mecanismo de fluxo do sangue nos vasos sanguíneos

O calibre das artérias e das veias é maior do que o dos capilares, mas a rede de capilares é muito mais extensa, sendo a área capilar total muito superior à das artérias ou veias (ver fig). Nos capilares arteriais, devido ao reduzido diâmetro a resistência oferecida à passagem do sangue é superior à oferecida pelas arteríolas e a desta superior à das artérias e veias, fazendo com que o sangue flua mais lentamente nestes vasos.

A resistência ao fluxo nos capilares favorece o intercâmbio de substâncias entre o sangue e o líquido intersticial por difusão e osmose, como a saída do plasma para o líquido intersticial. A pressão é máxima nas artérias, diminuindo ao longo das arteríolas e dos capilares e com valores quase nulos na veia cava. O valor máximo (cerca de 120 mmHg) registrado nas artérias corresponde ao momento da sístole ventricular e o valor mínimo (cerca de 80 mmHg) ao da diástole ventricular.

O ventrículo esquerdo ao contrair injeta o sangue, sob pressão, na aorta o que provoca um aumento da pressão ao nível das artérias que oferecem mais resistência ao fluxo. Diz-se que as artérias são, por isso, reservatórios de pressão. As paredes elásticas das artérias tendem a contrair-se durante a diástole, mas como os ventrículos contraem novamente antes de o sangue passar totalmente às arteríolas, a pressão torna a aumentar. A pressão sanguínea é controlada pela pressão dos ventrículos em sístole e pela resistência oferecida pela rede de arteríolas à passagem do sangue. Se as paredes das arteríolas se contraírem aumentam ainda mais a resistência e a pressão a nível das artérias que as antecedem. O contrair e dilatar das arteríolas e músculos circulares – os esfíncteres – que existem em alguns capilares regulam a distribuição de sangue pelos órgãos. O fluxo de sangue nos diferentes órgãos é controlado pela abertura ou fecho dos esfíncteres. Quando um músculo está ativo todos os esfíncteres da rede de capilares local podem-se abrir, permitindo um eficiente transporte de oxigênio e nutrientes e remoção de resíduos metabólicos.

Quando o sangue atinge as veias a sua pressão já é bastante reduzida. Diz-se que as veias são reservatórios de sangue (por oposição às artérias que são reservatórios de pressão), contendo 50 a 60% do volume total de sangue. Para o sangue regressar ao coração proveniente das veias existem vários mecanismos e adaptações:

- as veias são vasos de baixa resistência, com diâmetro superior ao das artérias correspondentes e com uma camada muscular das paredes menos espessa
- a ação de músculos esqueléticos que envolvem as veias que quando contraem as comprimem exercendo pressão no sangue e obrigando-o a circular
- as válvulas venosas impedem o retrocesso do sangue
- os movimentos respiratórios de inspiração e expiração: durante a inspiração a pressão baixa na caixa torácica provocando uma expansão da veia cava inferior e de outras veias próximas do coração, e um fluxo de sangue para as veias mais afastadas.
- a quebra de pressão nas aurículas durante a diástole também favorece o movimento do sangue