

SISTEMA CIRCULATÓRIO

Meta

Nesta aula serão apresentadas as principais características e adaptações do sistema circulatório dos vertebrados.

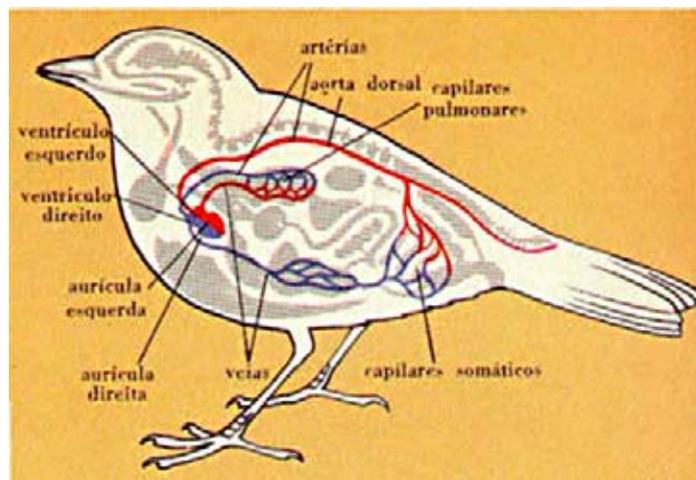
Objetivos

Ao final desta aula, o aluno deverá:

Ser capaz de identificar as estruturas que formam o sistema circulatório dos vertebrados, e entender suas principais adaptações. .

Pré-requisitos

É importante que o aluno tenha entendido os termos utilizados em Anatomia que foram revisados na primeira aula. Algumas informações fornecidas nas aulas referentes aos sistemas muscular e respiratório ajudarão também no entendimento do sistema de tubos responsável pelo transporte dos gases, nutrientes, resíduos metabólicos, hormônios e anticorpos nos vertebrados.



(Fonte: www.criadourosemeiar.com.br)

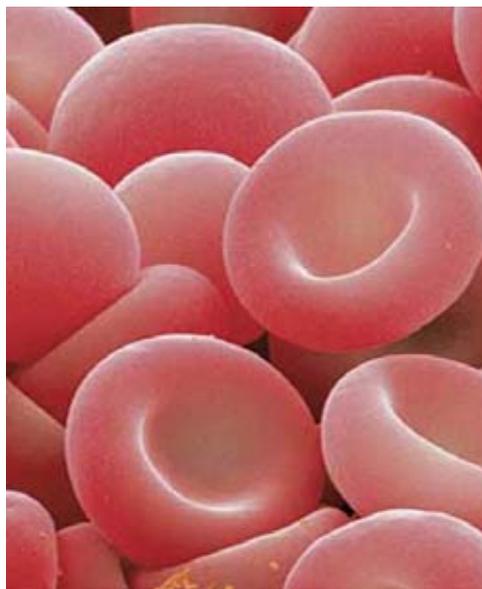
INTRODUÇÃO

Para um bom funcionamento, os organismos necessitam adquirir certos elementos e eliminar outros. Além disso, estes elementos precisam chegar aos locais corretos onde serão utilizados ou mesmo descartados. Com o aumento do tamanho, a aquisição de um sistema de transporte interno foi necessária. Entre os elementos carreados podemos citar os gases, nutrientes, resíduos metabólicos, hormônios e anticorpos. O conjunto de estruturas que realiza o transporte interno nos organismos recebe o nome de sistema circulatório.

Além da tradicional função de transporte, o sistema circulatório, em conjunto com os rins e alguns outros órgãos, contribui para a homeostase dos animais. Ele participa da remoção de substâncias tóxicas e patogênicas, além de colaborar quando associado aos músculos e ao tegumento, com a termorregulação. Cabe também a este sistema reparar ferimentos, compensar danos sofridos e responder rapidamente aos diferentes requisitos do momento.

O sistema circulatório dos vertebrados é composto de dois componentes: o sistema vascular sanguíneo e o sistema linfático. O primeiro é representado pelo coração, vasos sanguíneos e o sangue, e o segundo pelos vasos, seios e corações linfáticos e a linfa.

Nesta aula daremos ênfase ao sistema vascular sanguíneo. Trataremos principalmente da evolução do coração, artérias e veias, chamando a atenção para as adaptações morfológicas, próprias de cada grupo, para o meio em que vive e as suas demandas metabólicas.

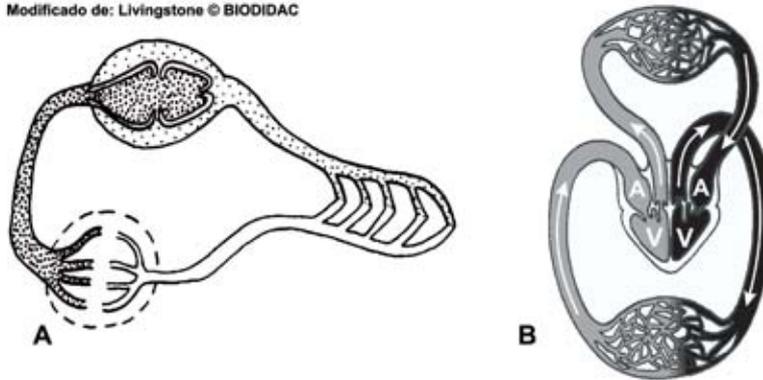


(Fonte: <http://1.bp.blogspot.com>)

SISTEMA CIRCULATÓRIO

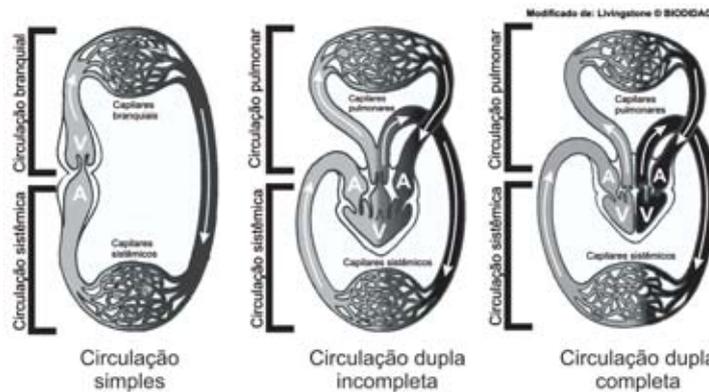
Algumas classificações são normalmente utilizadas quando falamos de sistema circulatório e de circulação. Este sistema pode ser classificado, por exemplo, em aberto (artrópodes, moluscos não-cefalópodes e tunicados), quando parte do trajeto do sangue é feito fora de vasos, em cavidades (seios ou lacunas), antes de voltar ao coração. Pode ser também fechado (vertebrados, cefalópodes, anelídeos), neste caso todo o trajeto do sangue é realizado no interior de vasos.

Modificado de: Livingstone © BIODIDAC



Sistemas circulatórios aberto (A) e fechado (B).

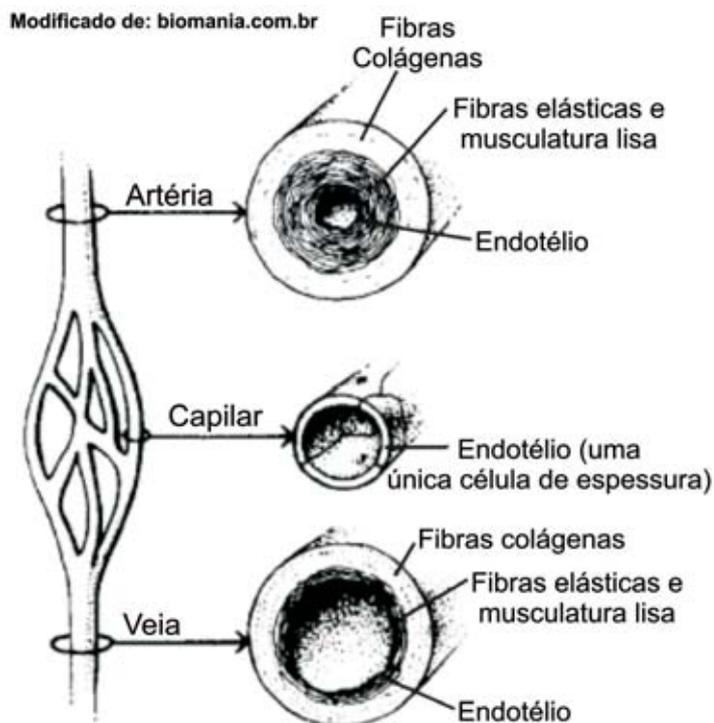
Já a circulação pode ser do tipo simples (peixes), onde o sangue passa uma única vez no coração, sendo encaminhado para as brânquias, para sua oxigenação, e de lá segue para os tecidos, antes de retornar ao coração. O outro tipo de circulação é conhecido como dupla (tetrápodes). Neste caso são estabelecidos dois ciclos, o primeiro leva o sangue do coração para os pulmões para ser oxigenado, este sangue retorna então ao coração e só depois é distribuído para o corpo. Alguns autores ainda dividem a circulação dupla em: incompleta, quando não há a total divisão do ventrículo, e completa, presença de dois ventrículos independentes.



Tipos de circulação em vertebrados.

TIPOS DE VASOS

Os vasos responsáveis por conduzir o sangue e a linfa pelo corpo podem ser classificados em: 1) artérias, responsáveis por levar o sangue do coração aos tecidos, são vasos de parede espessa, rica em fibras musculares lisas e elásticas, resistentes às altas pressões de quando deixam o coração; 2) veias, drenam o sangue dos tecidos para o coração, estes vasos possuem parede mais delgada que a das artérias, com presença de muito colágeno e fibras elásticas, porém com poucas fibras musculares; 3) capilares, são vasos de parede mais fina, formada na verdade por uma única camada de células. Estes diminutos vasos unem pequenas artérias (arteríolas) e veias (vênulas), sendo também o local onde ocorrem as trocas de substâncias (e.g. gases, nutrientes, hormônios) entre o sangue e os tecidos que o cercam; 4) vasos linfáticos, são ductos, com fundo cego, responsáveis por drenar o líquido que extravasa dos capilares sanguíneos. Em seu interior forma o que chamamos de linfa. A linfa mantém uma grande quantidade de células de defesa como linfócitos e macrófagos, que podem ser recrutadas quando necessário. Se não houvesse esta drenagem, os líquidos se acumulariam nos tecidos provocando inchaços. Depois de filtrada, a linfa drenada de todo o corpo, é recolhida pelo ducto torácico, um calbroso vaso linfático, e acaba retornando ao sangue. Os vasos linfáticos do intestino recebem o nome de lácteos.

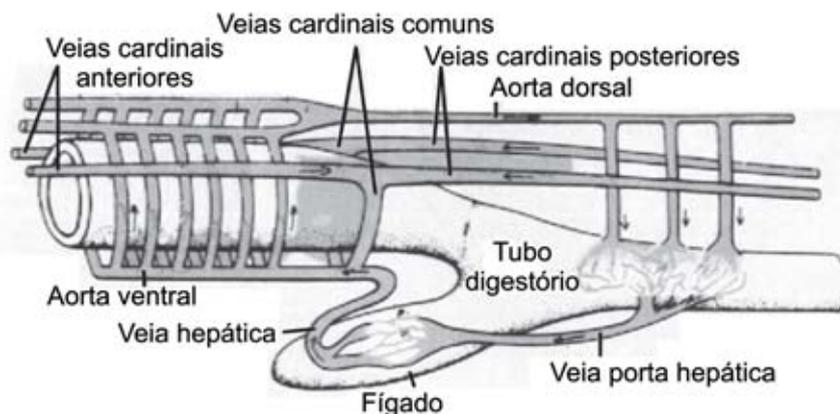


Tipos de vasos.

CORACÃO – EVOLUÇÃO

De todos os sistemas presentes nos vertebrados, o circulatório é o primeiro a se tornar funcional. Sendo assim desde cedo ele passa a contribuir para o transporte interno do embrião em desenvolvimento. O miocárdio, músculo do coração, é formado por fibras musculares estriadas e ramificadas, com núcleos centrais e discos intercalares. Como já foi comentado na aula sobre sistema muscular, estas fibras são de ação involuntária.

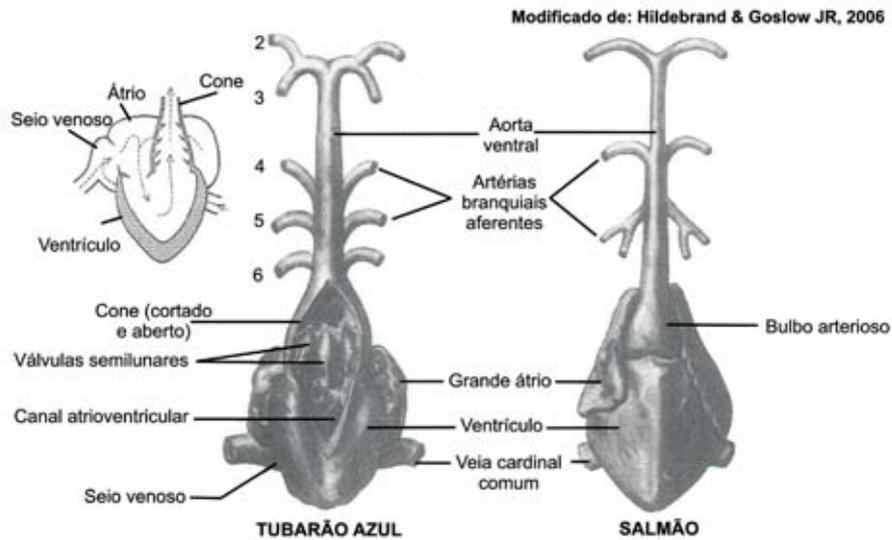
Os primeiros cordados não possuíam um coração, porém um vaso contrátil que provavelmente assumia o papel do bombeamento, como observado atualmente nos anfióxos. A estrutura do coração ancestral pode ser inferida a partir do coração embrionário de seus descendentes. Possivelmente era constituído por um tubo quase reto, dividido em quatro câmaras, que se contraíam sequencialmente. Como nos atuais peixes, o fluxo bombeado pelo coração dos vertebrados ancestrais seria de sangue não oxigenado, que era propelido para a região anterior do corpo.



Sistema circulatório de um Cephalochordata.

De forma hipotética o coração do vertebrado ancestral possuía um seio venoso, de paredes finas, que recebia o sangue proveniente de grandes veias, enviando-o para o átrio, estrutura separada da primeira por uma válvula sino-atrial. As paredes do átrio também são finas, mas musculares. Sua contração projeta o sangue do átrio para o ventrículo, através de uma ou mais fileiras de válvulas átrio-ventriculares. Dando continuidade, o sangue segue seu caminho passando do ventrículo para o cone, que é provido de várias fileiras de válvulas semilunares. O cone pode receber outros nomes como: cone arterioso, em peixes cartilaginosos, ou bulbus cordis (bulbo arterioso), nos Osteichthyes.

Cordados I

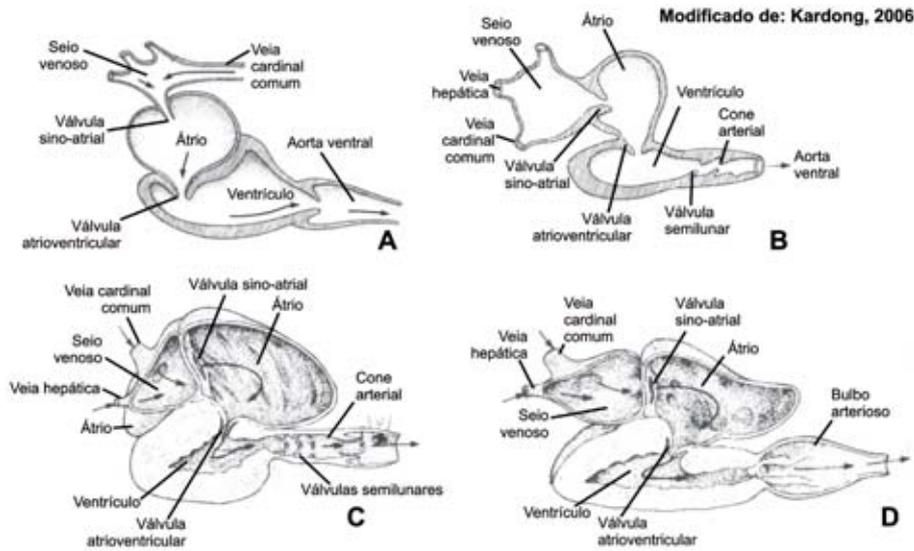


Corações de um tubarão e de um salmão e vasos associados.

Apesar de haver diferenças quanto à estrutura detalhada do coração, os peixes não se afastam muito do padrão ancestral geral. Os corações destes animais são relativamente pequenos, apresentando-se um pouco maior em espécies mais ativas.

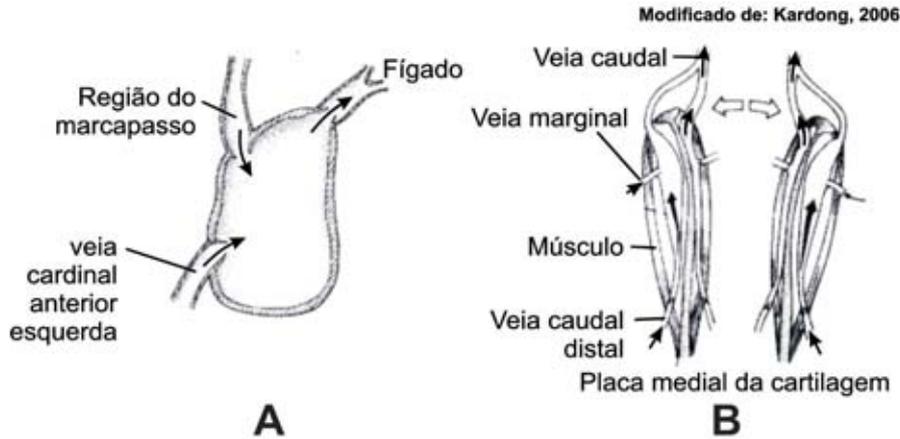
O coração dos peixes fica posicionado em uma região mais cranial, sob as brânquias mais posteriores. A primeira câmara, o seio venoso, pode variar de pequeno (Agnatha) a grande (maioria dos tubarões). O átrio é relativamente grande, e normalmente se encontra deslocado para uma posição dorsal em relação ao ventrículo. O ventrículo se apresenta bastante esponjoso internamente, podendo assumir uma forma cônica com seu ápice voltado para trás nos teleósteos. O cone pode estar virtualmente ausente (agnatas e teleósteos) ou ser longo e ativo, funcionando como uma região bombeadora (peixes cartilagosos, *Polypterus*, “bownfin”). Esta estrutura evita o refluxo do sangue para o interior do ventrículo. O bulbo arterioso dos teleósteos é formado por musculatura lisa e não cardíaca e apresenta grande elasticidade.

O sistema circulatório dos agnatos é considerado parcialmente aberto, havendo grandes seios sanguíneos. O coração das feiticeiras apresenta três câmaras (seio venoso, átrio e ventrículo) e o das lampreias quatro (seio venoso, átrio, ventrículo e cone arterioso). *Chondrichthyes* e *Osteichthyes* também possuem um padrão de quatro câmaras, sendo elas: seio venoso, átrio, ventrículo e, como já comentado anteriormente, bulbo arterioso em peixes ósseos e cone arterioso nos cartilagosos.



Corações :feiticeira (A), lampreia (B), tubarão (C) e peixe ósseo (D).

Corações acessórios também podem estar presentes em algumas espécies de peixes, como os observados em agnatos. Abaixo seguem dois exemplos de corações acessórios dos agnatos, um coração portal e outro caudal.



Corações acessórios de agnatos: portal (A) e caudal (B).

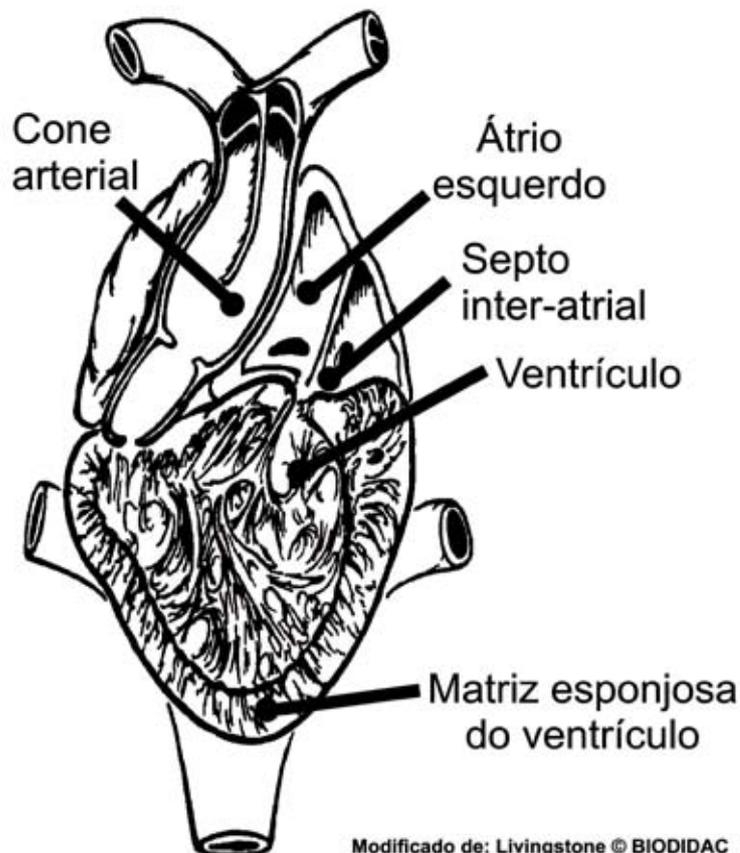
CORAÇÕES INTERMEDIÁRIOS E FACULTATIVOS

Foi comentado em um tópico acima que o coração da maioria dos peixes bombeia apenas sangue não oxigenado. Se compararmos o padrão anterior (peixes), com o observado em aves e mamíferos, veremos que este último bombeia duas correntes distintas de sangue: uma oxigenada e outra não oxigenada. Entre esses dois extremos encontramos animais que não apresentam uma separação completa das duas correntes, podendo haver

uma pequena mistura sob certas condições. Os animais que apresentam este padrão intermediário são os peixes de nadadeiras lobadas (carnosa), os anfíbios e os répteis.

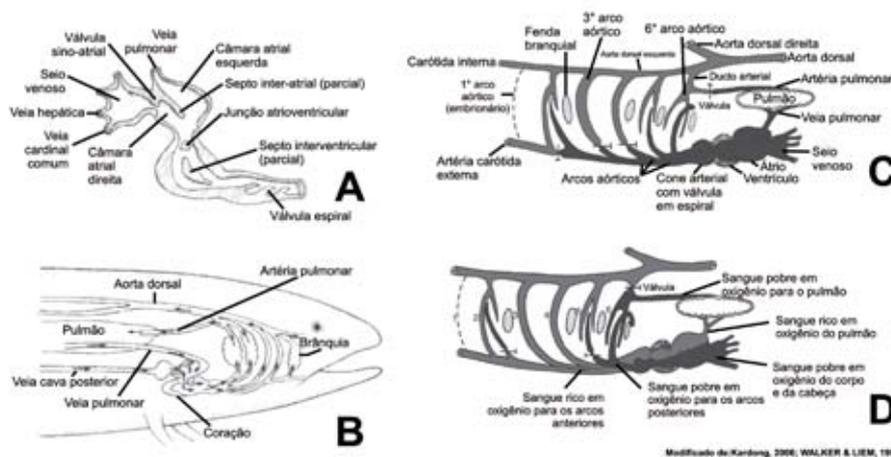
Direcionar sangue para os pulmões para ser oxigenado é interessante, porém em alguns animais esta estrutura pode cessar temporariamente seu funcionamento. Nestas ocasiões, é melhor para o organismo desviar o fluxo de sangue a ser oxigenado para outros locais, onde seja possível a realização das trocas gasosas. Entre estes locais podemos citar as brânquias, nos peixes pulmonados, e a pele de anfíbios e serpentes marinhas, quando submergidos, e a cloaca das tartarugas durante o mergulho.

Uma outra interpretação para a mistura de sangue no ventrículo de alguns animais pode também ser feita. A maior parte do ventrículo dos peixes pulmonados, anfíbios e répteis é formada por uma matriz esponjosa. Grande parte dos representantes destes grupos não apresenta coronárias para suprir de oxigênio o coração. Desta forma, o sangue oxigenado que chega ao ventrículo pode contribuir para a manutenção da referida matriz. Abaixo temos a representação de um coração de anfíbio evidenciando a matriz esponjosa da parte interna do ventrículo.



Morfologia interna do coração de um anfíbio evidenciando a matriz esponjosa do ventrículo.

Nos peixes pulmonados, encontramos a seguinte situação. O átrio e o ventrículo são parcialmente divididos pelos septos interatrial e interventricular, respectivamente. A câmara direita do átrio recebe sangue não oxigenado proveniente do seio venoso, e a esquerda, sangue oxigenado das veias pulmonares. A mistura dos dois tipos de sangue é relativamente baixa nestes peixes. O cone é relativamente grande e também parcialmente dividido por uma válvula espiral. A maior parte do sangue não oxigenado é direcionada para o quinto e sexto arcos aórticos, que se responsabilizam por enviar o sangue até as brânquias mais caudais e ao pulmão. O sangue oxigenado é enviado para o terceiro e quarto arcos que o direcionam para o corpo. A figura seguinte apresenta um desenho esquemático da estrutura do coração de um peixe pulmonado e dos caminhos tomados pelo sangue quando o animal está realizando as trocas gasosas com a água (C) ou com o ar atmosférico (D). Note que na primeira situação (C), apenas sangue não oxigenado passa pelo interior do coração, e na segunda (D) os dois fluxos estão presentes. Os peixes pulmonados marcam o início da completa separação entre a circulação pulmonar e sistêmica.

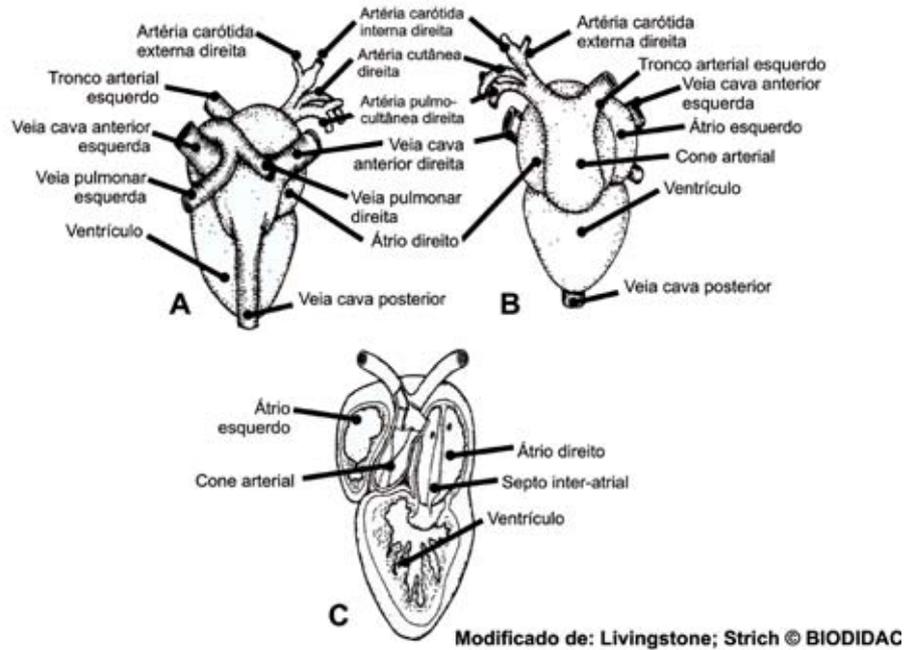


Estrutura (A) e posição ocupada (B) pelo coração de um peixe pulmonado. Vista lateral do coração e arcos aórticos de um peixe pulmonado: caminhos tomados pelo sangue quando o animal está realizando as trocas gasosas com a água (C) ou com o ar atmosférico (D)

O coração dos anfíbios é formado por dois átrios completamente divididos e um ventrículo. O sangue oxigenado nos pulmões chega ao átrio esquerdo. O átrio direito recebe sangue não oxigenado proveniente do corpo e oxigenado vindo da pele. Apesar do ventrículo não ser dividido, a mistura de sangue neste local é mínima. No cone está presente um dobra espiral que, em geral, direciona o sangue não oxigenado pelo lado direito, para os pulmões e pele, e o sangue oxigenado pelo lado esquerdo, para o arco sistêmico direito do qual partem artérias que irrigam a cabeça e os

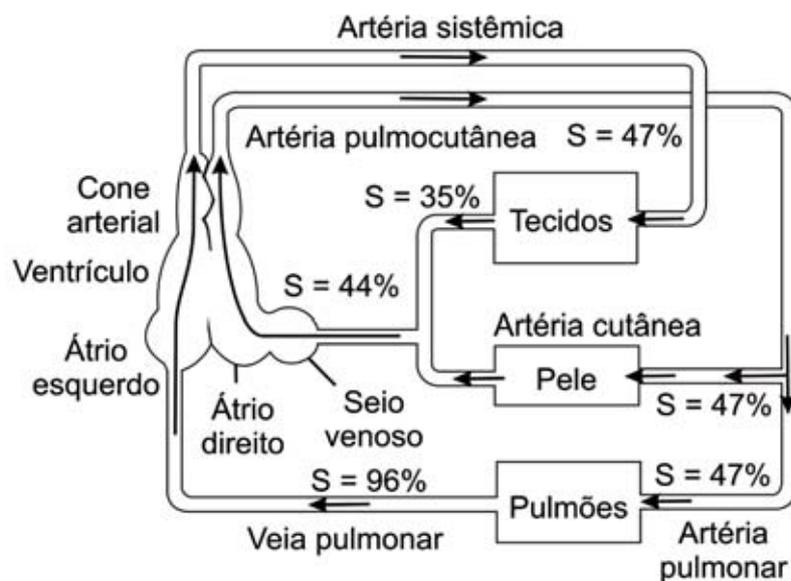
Cordados I

membros anteriores. O arco sistêmico esquerdo pode manter os dois tipos de sangue.



Coração de um anfíbio: visão dorsal (A), ventral (B) e interna (C).

A próxima figura mostra os caminhos tomados pelo sangue de um anfíbio anuro e os graus de saturação de oxigênio do mesmo em cada trecho.

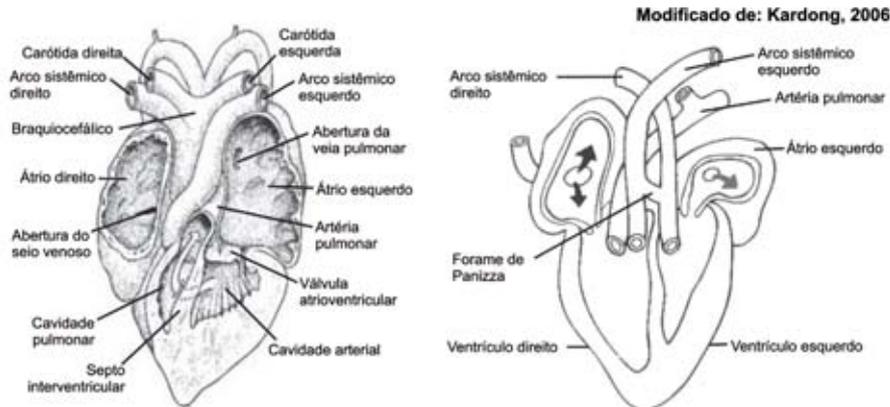


Circulação de uma rã e grau de saturação do sangue.

Nos répteis, o cone se divide em três **troncos**, um pulmonar e dois sistêmicos (direito e esquerdo) independentes. O seio venoso varia em tamanho podendo ser grande ou pequeno ou até mesmo vestigial, e encontra-se sempre fixo ao átrio direito. O ventrículo dos répteis não crocodilianos é parcialmente dividido por um septo horizontal (interventricular). O septo interventricular é completo nos crocodilianos, porém uma pequena conexão ainda é mantida por um forame (forame de Panizza) localizado na base dos dois troncos sistêmicos.

Tronco

É o nome dado a uma divisão do cone.



Corações de répteis: generalizado e de crocodilianos.

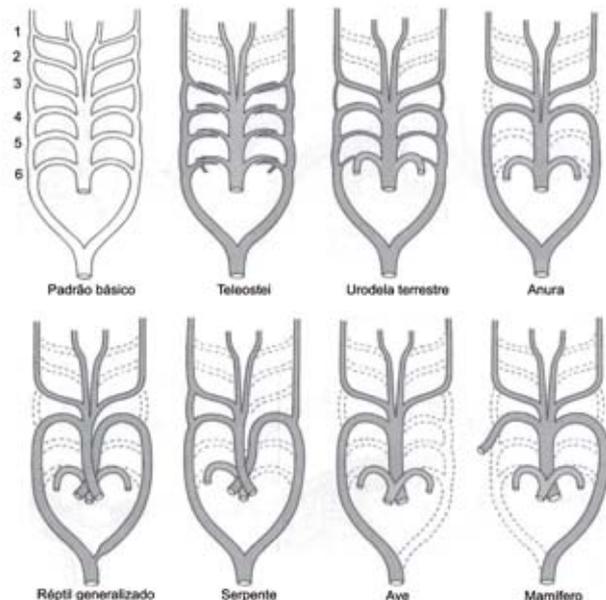
A completa e definitiva separação dos ventrículos ocorre nas aves e nos mamíferos, estabelecendo um circuito pulmonar de baixa pressão, do lado direito do coração, e um circuito sistêmico de alta pressão no lado esquerdo. Por conta disso, o ventrículo esquerdo é desproporcionalmente mais forte que o direito. O seio venoso torna-se vestigial nas aves e ausente nos adultos dos mamíferos. Durante o desenvolvimento embrionário o seio venoso dá origem ao nódulo sino-atrial, que regula a frequência dos batimentos cardíacos. O cone também se divide nestes grupos, originando um tronco pulmonar unido ao ventrículo direito e outro sistêmico associado ao ventrículo esquerdo. Outra importante modificação nestes dois grupos é a permanência de apenas um arco sistêmico (direito nas aves e esquerdo nos mamíferos), que acaba por determinar a curvatura da artéria aorta.

Não sei se ficou claro para você, mas a artéria conhecida como aorta é representada exatamente pelo arco sistêmico que é mantido. Como nas aves o arco que permanece é o direito, a aorta é voltada para o lado direito. A mesma correspondência é válida para os mamíferos, cuja aorta é voltada para o lado esquerdo. A figura da próxima página foi esquematizada de forma “desdobrada” para facilitar o entendimento, estando localizados na parte superior os vasos originados a partir dos ventrículos (direito e esquerdo), e na inferior, os que chegam aos átrios (direito e esquerdo). Lembre-se de que as representações dos corações são como uma imagem em espelho. Estando você de frente para o desenho, o que seria o seu lado esquerdo,

EVOLUÇÃO DAS ARTÉRIAS ANTERIORES (CRANIAIS)

Em gnatostomados, os embriões normalmente apresentam seis pares de arcos aórticos, porém o primeiro (arco mandibular), é sempre perdido ou permanece sob a forma vestigial nos adultos. Nos agnatas verificamos uma grande aorta ventral e de oito a mais arcos aórticos. Já a aorta dorsal pode ser única em lampreias ou par nas feiticeiras. Peixes cartilaginosos, dipnoicos e condrôsteos mantêm o segundo arco para a manutenção da hemibrânquia do arco hióideo. No restante dos peixes, o segundo par pode ser modificado ou perdido. Em geral os peixes cartilaginosos apresentam cinco artérias branquiais aferentes e os peixes de nadadeiras raiadas quatro, sendo uma para cada holobrânquia. Os peixes pulmonados mantêm artérias pulmonares que se ramificam a partir dos segmentos eferentes do sexto arco. Nos peixes, as aortas dorsais pares se estendem para frente, na forma de artérias carótidas internas.

Nos tetrápodes não encontramos o primeiro e segundo arco aórtico nos adultos. Eles apresentam um sistema carotídico característico, responsável por levar sangue à cabeça. Este sistema é formado por: 1) artérias carótidas comuns; 2) artérias carótidas externas, que suprem a garganta e parte ventral da cabeça; 3) artérias carótidas internas, que irrigam o encéfalo e grande parte da cabeça. São derivadas do terceiro arco aórtico e das projeções craniais das aortas dorsais pares.

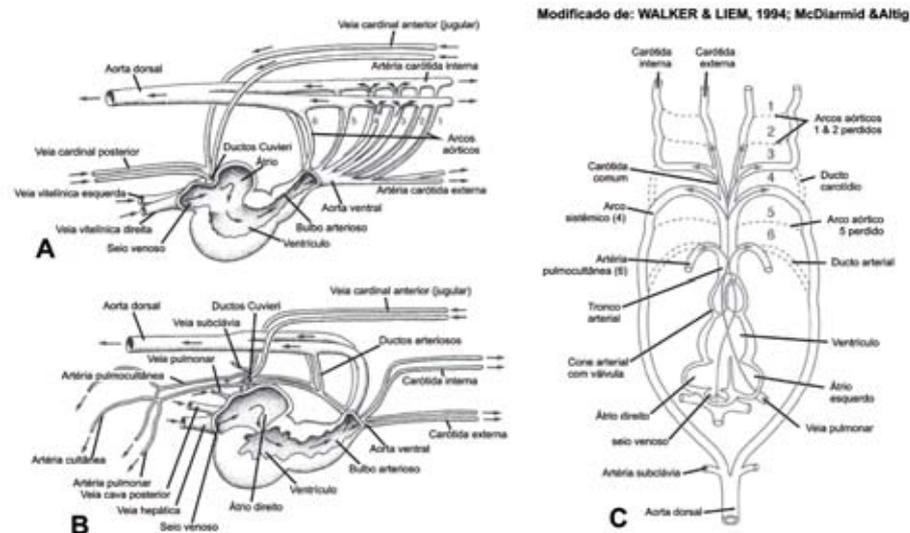


Modificado de: WALKER & LIEM, 1994

Arcos aórticos dos vertebrados.

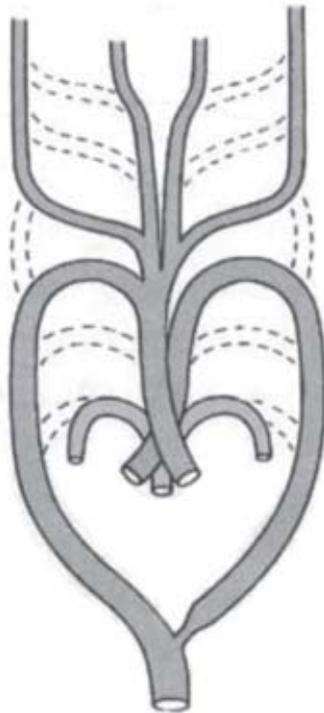
Cordados I

Os anfíbios adultos mantêm o quarto par de arcos sistêmicos, e em anuros o quinto é perdido. Um ducto carotídico está presente nas salamandras perenibranchiadas, porém é perdido nos anuros. As salamandras anteriormente relatadas retêm também o quinto e sexto arcos aórticos. Artérias pulmonares são formadas a partir do sexto par, havendo a perda do ducto arterial que as unia com a aorta. A figura seguinte apresenta os arcos aórticos de um anfíbio em três estágios diferenciados do desenvolvimento. A e B representam o embrião no início e no final do desenvolvimento, respectivamente e C, o organismo adulto. Note que o padrão inicial dos arcos aórticos é semelhante ao dos peixes, e que ao longo do desenvolvimento que vai ocorrendo, certos arcos ou ductos vão desaparecendo até chegar ao padrão adulto, verificado em C.

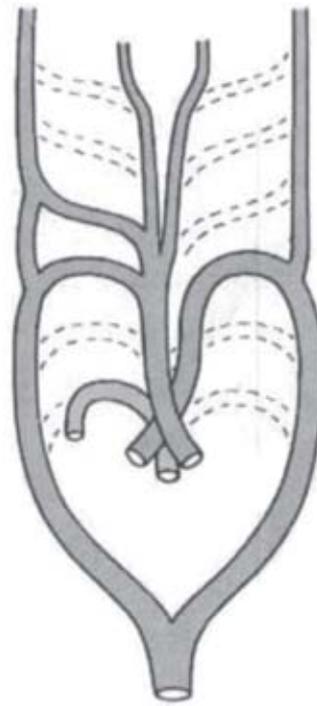


Arcos aórticos de um anfíbio anuro: início do desenvolvimento (A), final do desenvolvimento (B) e organismo adulto (C).

Os répteis apresentam o padrão básico dos arcos aórticos, semelhante ao encontrado nos Anura. Difere deste, com relação ao cone que se divide em três troncos (1 pulmonar e 2 sistêmicos), como visto anteriormente. O sistema carotídico está associado apenas ao arco direito. Em serpentes o tronco pulmonar é representado apenas pela ramificação do lado direito, visto que o pulmão esquerdo está normalmente ausente ou é muito rudimentar. O ducto carotídeo pode ser mantido em alguns lepidossauros, assim como o ducto arterial em *Sphenodon* (tuatara).



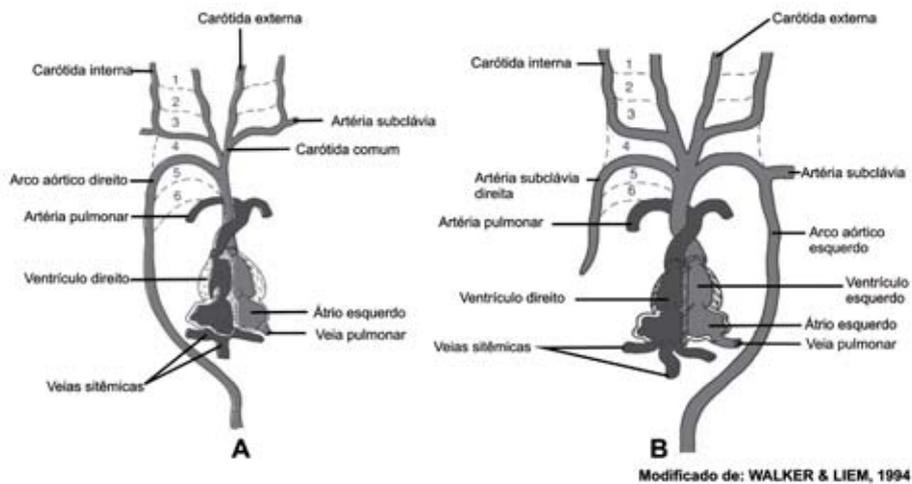
Réptil generalizado



Serpente

Arcos aórticos dos répteis: generalizado e de uma serpente.

Nas aves as carótidas internas são substituídas por carótidas comuns no longo pescoço. O arco sistêmico é formado a partir do quarto arco aórtico direito, com as artérias braquiocéfálicas se ramificando deste, para dar origem às artérias carótida e subclávia. Já os mamíferos retêm apenas o arco sistêmico esquerdo, e o seu sistema carotídeo é menos modificado do que o das aves.

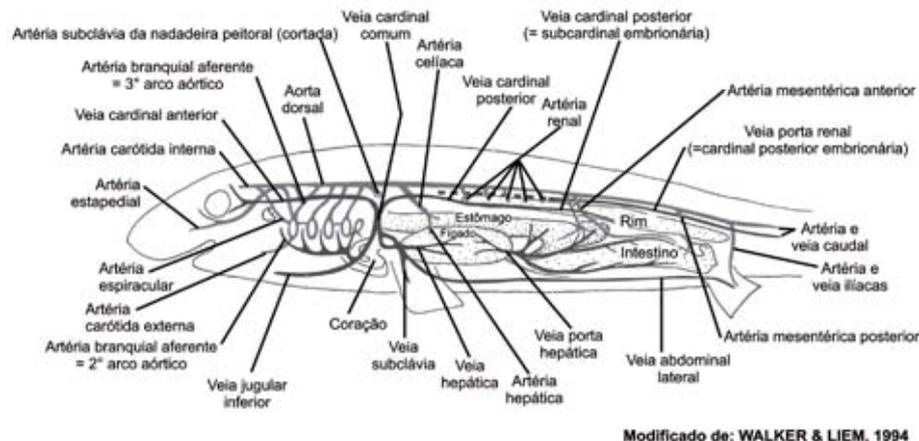


Modificado de: WALKER & LIEM, 1994

Arcos aórticos das aves (A) e dos mamíferos (B).

EVOLUÇÃO DAS ARTÉRIAS POSTERIORES (CAUDAIS)

Com relação aos vasos que irrigam a região posterior do corpo, o de maior destaque é a aorta dorsal, vaso mais conservativo dos vertebrados. Esta grande artéria mediana fica alojada ventralmente à notocorda ou à coluna vertebral e se estende até a região mais posterior do corpo, na forma de uma artéria caudal. Dependendo do grupo (Amphibia), numerosos ramos ventrais viscerais podem estar presentes, porém o mais comum é ter apenas uma única artéria celíaca, que irriga o estômago, duodeno, fígado e pâncreas e de uma a várias artérias mesentéricas que suprem o restante do intestino (porção caudal). Os ramos viscerais laterais irrigam os órgãos urogenitais. Podem variar de poucos a muitos dependendo do comprimento destes órgãos. A maioria dos amniotas, por exemplo, apresenta rins alongados, nestes, vários ramos estão presentes. Já os ramos somáticos dorsais da artéria ventral, são responsáveis por levar o sangue até a medula, músculos e pele. Nos tetrápodes, derivam nas grandes artérias subclávias e ilíacas, que suprem os membros peitorais, como artérias braquiais, e nos pelvins, como artérias femorais, respectivamente.



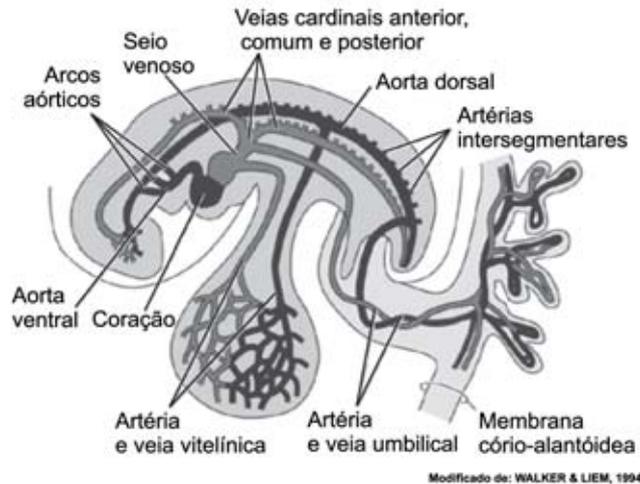
Visão lateral das principais artérias e veias de um elasmobrânquio.

VEIAS - REDE DE DRENAGEM

O sangue precisa ser periodicamente drenado para o coração, onde é redirecionado para os locais de trocas gasosas (sangue não oxigenado), ou para os tecidos (sangue oxigenado). Essa rede de drenagem, que retorna o sangue ao coração, é formada pelas veias e vênulas. Três sistemas de veias podem ser distinguidos: o subintestinal-vitelínico, o cardinal e o abdominal.

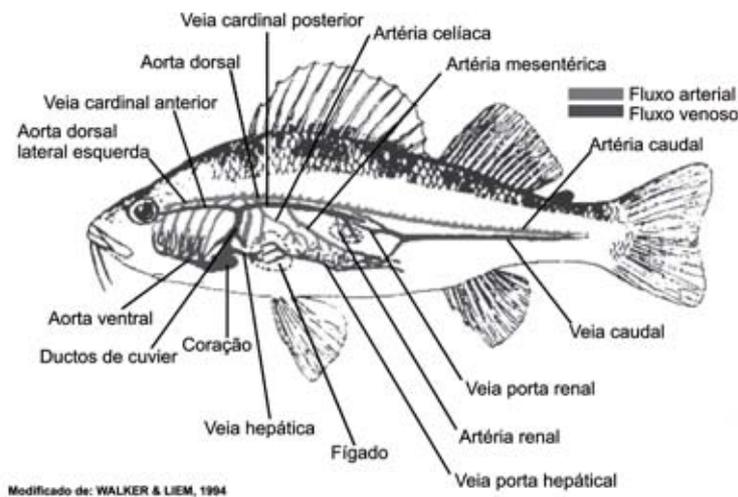
O sistema subintestinal-vitelínico é responsável pela drenagem da cauda, do trato digestório e do saco vitelínico. É formado pela veia caudal que se

estende até a cloaca e pelas veias subintestinais. Estas últimas, penetram no fígado, na forma de uma veia porta hepática, desembocando mais à frente na (s) veia (s) hepática (s), que se esvazia nas veias cardinais comuns, próximo ao coração. As veias porta hepática e hepática formam o sistema porta hepático que será discutido mais adiante. O componente vitelínico é formado pelas veias vitelínicas, provenientes do saco vitelínico, que se unem às veias subintestinais.



Padrão inicial de circulação de um embrião de mamífero.

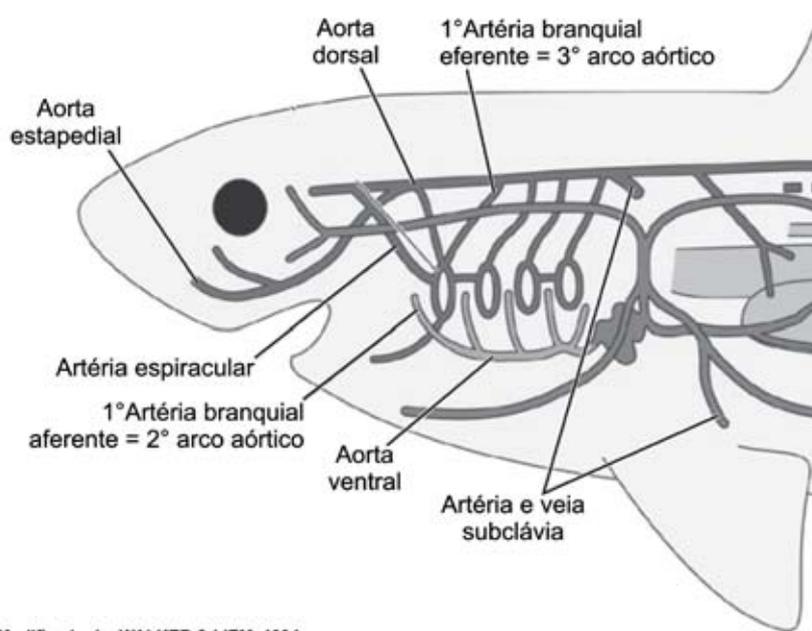
Os vasos que compõem o sistema cardinal drenam a cabeça, parede dorsal do corpo e os rins. São representados pelas veias cardinais anteriores, posteriores e comuns. As primeiras estão posicionadas lateralmente às artérias carótidas internas, as segundas ficam adjacentes à porção dorsal dos rins e as últimas representam a confluência das veias cardinais anteriores e posteriores.



Vista lateral das principais artérias e veias de um peixe ósseo.

Cordados I

Por último temos o sistema abdominal, que drena a parede ventral do corpo e os apêndices pares (peitorais e pelvins). É formado por veias abdominais laterais pares que recebem os ramos ilíacos e subclávios. O sangue drenado por este sistema é direcionado para as veias cardinais comuns, próximo às junções das veias subintestinais, já relatadas anteriormente.

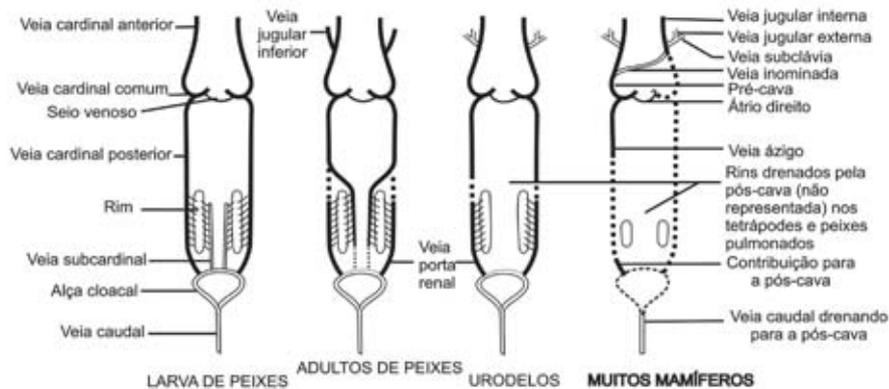


Modificado de: WALKER & LIEM, 1994

Visão lateral dos vasos das regiões da cabeça e da faringe.

EVOLUÇÃO DAS VEIAS ANTERIORES

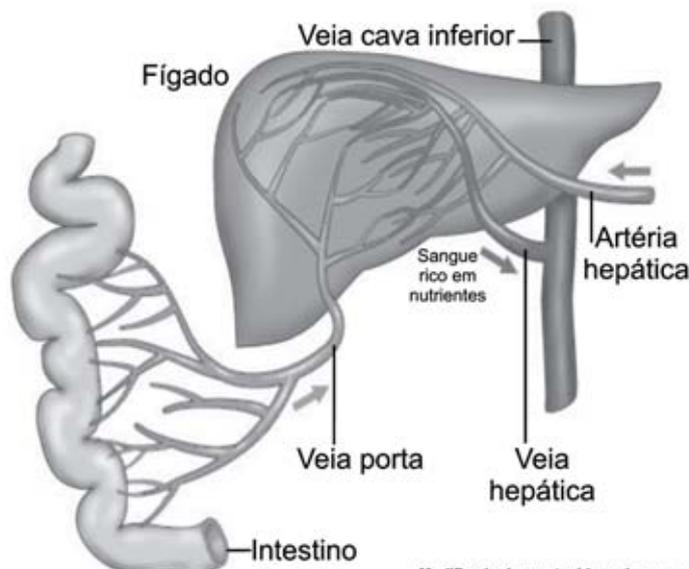
Os vasos que drenam a região anterior são derivados do sistema cardinal. Os vasos responsáveis pela drenagem do encéfalo e parte da cabeça nos peixes, as veias cardinais craniais, correspondem às jugulares internas dos tetrápodes. Em peixes, as partes mais ventrais e externas são drenadas pelas veias conhecidas como jugulares ventrais, e nos tetrápodes pelas suas correspondentes, as veias jugulares externas, que se unem às jugulares internas no pescoço. Nos tetrápodes os derivados das cardinais, entre o coração e a região de confluência das jugulares internas e externas, recebem o nome de pré-cava ou veia cava cranial. Na maioria dos mamíferos, um desvio conhecido por veia inominada é responsável pelo transporte do sangue das jugulares esquerdas para a pré-cava direita, uma vez que a pré-cava esquerda é perdida neste grupo.



Evolução do sistema de veias cardinais.

SISTEMA PORTA HEPÁTICO

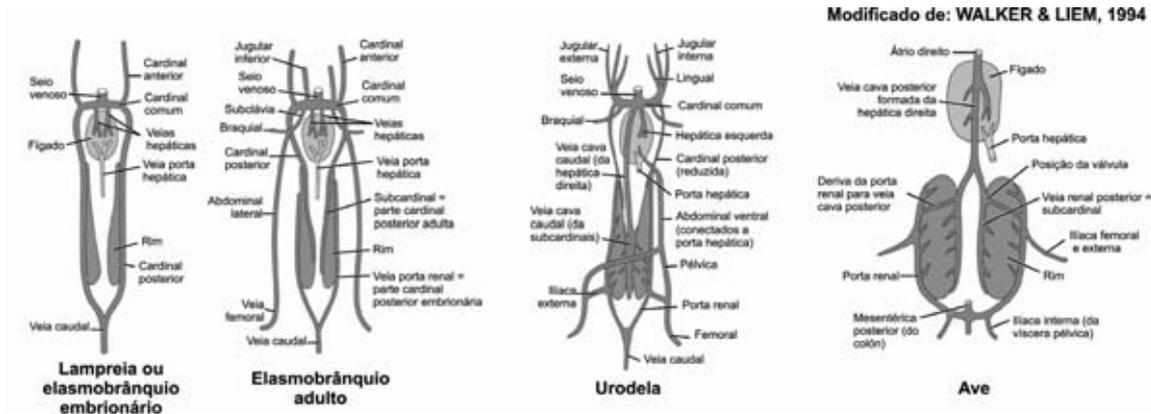
As veias localizadas entre duas redes capilares constituem o que chamamos de sistema porta. Em um tópico anterior foi relatado que as veias subintestinais, após drenarem o trato digestório, se conectam dando origem à veia porta hepática que penetra no fígado unindo-se, por meio de uma rede capilar, às veias hepáticas. Em agnatos e alguns teleósteos, a veia porta hepática drena, além do intestino, a região da cauda. Porém a conexão entre a veia porta hepática e a cauda é perdida nos demais vertebrados. Neste caso o sangue proveniente da cauda precisa entrar em um outro sistema de veias, formando o sistema porta renal.



Sistema porta hepático.

Cordados I

A maior parte dos peixes estabelece uma interrupção das veias cardinais caudais em frente aos rins. O sangue drenado da parte caudal do corpo é reunido nos segmentos mais posteriores das veias cardinais caudais, que passam a ser chamadas de veias porta renais. As veias porta renais penetram nos rins e se conectam através de uma rede capilar às veias subcardinais, que são responsáveis por levar o sangue até os segmentos mais craniais das veias cardinais caudais. Em peixes pulmonados e urodelos verificamos a adição de mais um vaso, a veia pós-cava, que drena boa parte do sangue proveniente dos rins. Anfíbios anuros e répteis mantêm apenas as veias vertebrais, derivadas dos segmentos craniais das veias cardinais caudais, que são responsáveis por drenar a parte cranial do tórax. Nestes animais todo o sangue proveniente das veias porta renais penetram nos rins, porém, em algumas espécies, parte do sangue é levada através do órgão, pela veia pós-cava sem necessariamente entrar em uma rede capilar. Situação semelhante pode ser vista nas aves, porém neste caso quase todo o sangue é desviado para a veia pós-cava. Já os mamíferos não possuem sistema porta renal. O tórax neste caso é drenado por uma veia conhecida como ázigo, derivada dos segmentos craniais das veias cardinais caudais.



Sistema porta renal de alguns vertebrados.

CONCLUSÃO

Se você prestou bem atenção, deve ter notado que grande parte das modificações encontradas no sistema circulatório dos vertebrados, ao longo de sua história evolutiva, foi decorrente de dois fatores básicos: o primeiro referente a uma adequação ao tipo de ambiente onde são encontrados, e o segundo uma adaptação às mudanças ocorridas nas taxas metabólicas. Como os sistemas respiratório e circulatório estão intimamente ligados, cada passo dado pelos animais aquáticos (que respiravam por brânquias) rumo ao ambiente terrestre (respiração pulmonar) teve que ser acompanhado por modificações do sistema circulatório. Durante este processo as demandas energéticas também foram se modificando, tornando-se cada vez mais altas. Para compensar o aumento das taxas metabólicas, volumes cada vez maiores de oxigênio foram exigidos, além de modos mais eficientes de transporte até as regiões de utilização ou de captação. Assim, o coração ancestral dos vertebrados foi gradativamente se modificando, de uma condição inicial, onde só passava sangue não oxigenado em seu interior, para outra que mantém duas formas de corrente, uma de sangue oxigenado e outra de não oxigenado, estabelecida pela divisão das câmaras do coração (átrios e ventrículos). A completa divisão do átrio e do ventrículo em aves e mamíferos permitiu o estabelecimento de duas rotas, uma de baixa pressão, entre o coração e os pulmões, e outra de alta pressão, entre o coração e os tecidos do corpo. Dessa forma o sangue passou a circular mais rapidamente pelo corpo, compensando toda demanda.

RESUMO

O conjunto de estruturas que realiza o transporte (gases, nutrientes, resíduos metabólicos, hormônios e anticorpos) interno nos organismos recebe o nome de sistema circulatório. O sistema circulatório dos vertebrados é do tipo fechado, uma vez que o sangue corre apenas no interior de vasos, e é formado por dois componentes: o sistema vascular sanguíneo (coração, vasos sanguíneos e o sangue) e o sistema linfático (vasos, seios e corações linfáticos e a linfa). Quanto à circulação pode ser do tipo simples (peixes), com um único ciclo de passagem pelo coração, ou dupla (tetrápodes), com dois ciclos (pulmonar e sistêmico). A circulação dupla pode ainda ser dividida em: a) incompleta (anfíbios e répteis), quando não há a total divisão do ventrículo, existindo a possibilidade de mistura do sangue; e b) completa (aves e mamíferos), presença de dois ventrículos totalmente separados, neste caso sem a possibilidade de mistura do sangue. O átrio é sempre dividido nas espécies de circulação dupla, independentemente de ser incompleta ou completa. O transporte do sangue é realizado no interior de vasos classificados em: 1) artérias, responsáveis por levar o



sangue do coração aos tecidos; 2) veias, que drenam o sangue dos tecidos para o coração; 3) capilares, diminutos vasos que unem pequenas artérias (arteríolas) e veias (vênulas), sendo também o local onde ocorrem as trocas de substâncias (e.g. gases, nutrientes, hormônios) entre o sangue e os tecidos que o cercam. O miocárdio, músculo do coração, é formado por fibras musculares de ação involuntária, estriadas e ramificadas, com núcleos centrais e discos intercalares. Para o bombeamento do sangue, os primeiros cordados possuíam, no lugar do coração, um vaso contrátil. Possivelmente o coração ancestral dos vertebrados era constituído por um tubo quase reto, dividido em quatro câmaras, que se contraíam sequencialmente. Com o tempo o átrio e o ventrículo foram se dividindo até se estabelecer a completa separação das correntes de sangue oxigenado e não oxigenado. As modificações nos corações e dos sistemas de vasos dos vertebrados são decorrentes principalmente da passagem do ambiente aquático para o terrestre e do progressivo aumento das taxas metabólicas.



ATIVIDADES

O objetivo desta atividade é estudar comparativamente o sistema circulatório de um peixe ósseo, de uma rã, de um pombo e de um rato. Para isso um exemplar de cada um destes animais será necessário. Tome cuidado ao realizar as dissecções para não romper os vasos de maior calibre. Peças também podem ser preparadas e fixadas em formol para utilização por vários alunos e turmas, reduzindo assim o número de animais destinados a estas atividades.

PEIXE

Remover, do lado direito do animal, os ossos operculares e da cintura peitoral e a musculatura associada aos mesmos para expor a aorta ventral. Procure retirar com cuidado as brânquias e o coração para posterior análise. Se a peça já estiver preparada em formol é só proceder às observações abaixo.

Agora tente localizar as seguintes estruturas:

Coração

- Seio venoso – possui parede fina; é a parte que recebe todo o sangue do corpo proveniente das veias cardinas comuns.
- Átrio – de paredes finas; posicionado em cima do ventrículo.
- Ventrículo – de aspecto musculoso.
- Bulbo arterioso – aspecto semelhante a um cone, de parede mus-

culosa, posicionado na região mais cranial do coração; com válvulas semilunares, internamente.

Sistema Arterial

- Aorta ventral – localizada ventralmente na região branquial, partindo do bulbo arterioso.
- Artérias branquiais aferentes – originam-se de cada lado do corpo, ao nível dos arcos branquiais.
- Artérias branquiais eferentes – levam o sangue das brânquias para a aorta dorsal.
- Aorta dorsal – na região branquial possui duas raízes que se unem para formar uma única aorta dorsal, que corre abaixo da coluna vertebral.
- Artérias carótidas internas – vasos responsáveis por levar o sangue à cabeça; originadas no primeiro par de artérias branquiais eferentes.

Sistema venoso

- Veias cardinais posteriores – duas veias posicionadas lateralmente à aorta dorsal e entre os rins.
- Veias cardinais anteriores – duas veias que correm no sentido crânio-caudal nas regiões da cabeça e branquial.
- Veias cardinais comuns – fusão das veias cardinais anteriores e posteriores que desembocam no seio venoso.

RÃ

Coração

- Seio venoso – possui parede fina, com formato de saco e liga-se ao átrio direito na região dorsal do corpo. Formado pela união de três veias: veia cava posterior, veia cava anterior direita e veia cava anterior esquerda.
- Átrio – em número de dois, localizado cranialmente no coração. Possui paredes finas e cor escura.
- Ventrículo – cônico, com parede espessa e câmara única. Internamente com aspecto esponjoso.

Sistema Arterial

- Cone arterial – vaso de parede espessa, originado na base do ventrículo. Do cone partem dois ramos simétricos (troncos arteriais); se divide em:
 - Artérias carótidas comuns esquerda e direita – se ramificam em carótida externa (irriga a língua e assoalho da boca) e carótida interna (irriga o restante da cabeça).
 - Arcos sistêmicos – ficam em torno do pescoço, indo em direção à

Cordados I

região dorsal do animal; da união dos dois forma-se a aorta dorsal. Pouco antes da curvatura destes arcos para a região dorsal, originam-se as artérias subclávias e as pulmocutâneas, que irrigam os pulmões e o tegumento.

- Aorta dorsal – principal artéria que corre na região dorsal do corpo e que envia sangue para toda a região posterior do animal.

Sistema venoso

- Veia cava posterior (= cava caudal) – percorre a região dorsal paralela à aorta dorsal. Recebe sangue dos órgãos posteriores e dos membros desembocando no seio venoso.

- Veias cavas anteriores direita e esquerda – recebem o sangue proveniente da cabeça, dos membros anteriores e do tegumento e abrem-se também no seio venoso.

- Veias pulmonares – levam o sangue oxigenado dos pulmões para o átrio esquerdo.

- Veia abdominal – veia ímpar que corre na parede ventral do animal.

POMBO

Coração

- Formado por quatro câmaras; dois átrios, de paredes delgadas, e dois ventrículos, com paredes espessas.

Sistema Arterial

- Arco sistêmico – origina-se no ventrículo esquerdo, curva-se para o lado direito e continua pela artéria dorsal, que leva sangue oxigenado para toda a região caudal do animal.

- Artérias coronárias – normalmente duas, originam-se do arco sistêmico e irrigam a parede do coração.

- Troncos braquiocéfálicos (= artérias inominadas) – originam-se no arco sistêmico, pouco antes deste curvar-se para o lado direito. Cada uma delas origina uma artéria carótida comum (envia sangue para a cabeça) e uma artéria subclávia (asas e cintura escapular).

- Tronco pulmonar – origina-se no ventrículo direito e subdivide-se em duas artérias pulmonares, responsáveis por levar o sangue não oxigenado até os pulmões.

Sistema venoso

- Veia cava posterior – veia de grande calibre que transporta para o coração o sangue proveniente da região posterior do corpo. Fica paralela à aorta dorsal e abre-se no átrio direito.

- Veias cavas anteriores direita e esquerda – duas veias que se abrem no átrio direito. Recebem sangue vindo dos membros anteriores, da mus-

culatura peitoral e da cabeça, por meio das veias jugulares e subclávias.

- Veia subclávia – recebe sangue das asas e dos músculos peitorais, desembocando na veia cava anterior correspondente.
- Veia jugular – traz o sangue da cabeça para a veia cava anterior correspondente, correndo paralelamente à artéria carótida.
- Tronco peitoral – drena o sangue proveniente da musculatura peitoral para a veia subclávia correspondente.

RATO

Coração

- Formado por quatro câmaras; dois átrios e dois ventrículos.

Sistema Arterial

- Arco sistêmico – origem no ventrículo esquerdo, curva-se para a esquerda e continua como aorta dorsal; irriga os tecidos da região posterior e dos membros posteriores.
- Artérias coronárias – surgem da base do arco aórtico e irrigam a parede do coração.
- Artéria inominada – dá origem à carótida comum direita e a artéria subclávia direita.
- Artérias carótidas comum direita e esquerda – se ramificam em artérias carótidas interna e externa
- Artéria subclávia esquerda – leva sangue ao membro anterior esquerdo.
- Artérias pulmonares – origina-se no tronco pulmonar comum no ventrículo direito. Cada uma das artérias pulmonares dirige-se a um dos pulmões, onde se ramificam em artérias pulmonares menores.

Sistema venoso

- Veia cava posterior – abre-se no átrio direito; traz sangue não oxigenado da região posterior do corpo.
- Veias cavas anteriores direita e esquerda – abrem-se no átrio direito; recebem sangue proveniente das veias subclávias e jugulares.
- Veia pulmonar – transporta o sangue oxigenado e abre-se no átrio esquerdo.

PRÓXIMA AULA

Na próxima aula será trabalhado o conjunto de estruturas responsável pela digestão dos alimentos. A este conjunto dá-se o nome de sistema digestório.





AUTO AVALIAÇÃO

Antes de passar para o próximo conteúdo procure avaliar mentalmente o que foi visto em cada tópico, as principais características e adaptações aos ambientes em que os animais estão inseridos. Certifique-se que realmente tenha entendido todo o conteúdo abordado no capítulo antes de passar para a próxima aula.

REFERÊNCIAS

- HILDEBRAND, M.; GOSLOW- JR, G.E. **Análise da estrutura dos vertebrados**. 2 ed. São Paulo, Atheneu Editora São Paulo Ltda. 2006.
- HÖFLING, E.; et al. Chordata. São Paulo. Editora Universidade de São Paulo. 1995.
- KARDONG, Kennet K. **Vertebrates: comparative anatomy, function, evolution**. 4 ed. Boston: McGraw-Hill, 2006.
- POUGH, F. H.; JANIS, C. M.; HEISER, J. B. **A vida dos vertebrados**. 4 ed. São Paulo Atheneu Editora São Paulo Ltda. 2008.
- WALKER-JR, W.F.; LIEM, K.F. **Functional Anatomy of the Vertebrates**. 2 ed. Sauders College Publishing. Orlando, Florida. 1994.