

SISTEMA CIRCULATÓRIO DOS VERTEBRADOS

Os vertebrados, como são grandes e complexos há a necessidade de um sistema circulatório definido.

Nos **invertebrados** ocorre o desenvolvimento de dois tipos de circulação: aberto e fechado (anelídeos).

- **Aberto:** o **coração** forma uma bomba que força o sangue para fora através de uma série de vasos – **artérias**, para diversas partes do corpo. No lugar onde os vasos terminam, o sangue escoar de volta até o coração através de espaços entre os tecidos; os vasos de retorno são ausentes.
- **Fechado:** o sangue nunca abandona os vasos e não tem contato com as células do corpo, que se situam separadamente no **líquido intersticial**. O sangue alimenta os tecidos através de pequenos vasos terminais de parede fina, **os capilares**, e retorna novamente ao coração através de uma segunda série de canais fechados, **as veias**.

Microcirculação

- Um leito ou rede de capilares recebe sangue das arteríolas e as vênulas drenam o sangue dos mesmos. Esfíncteres pré-capilares controlam o fluxo.

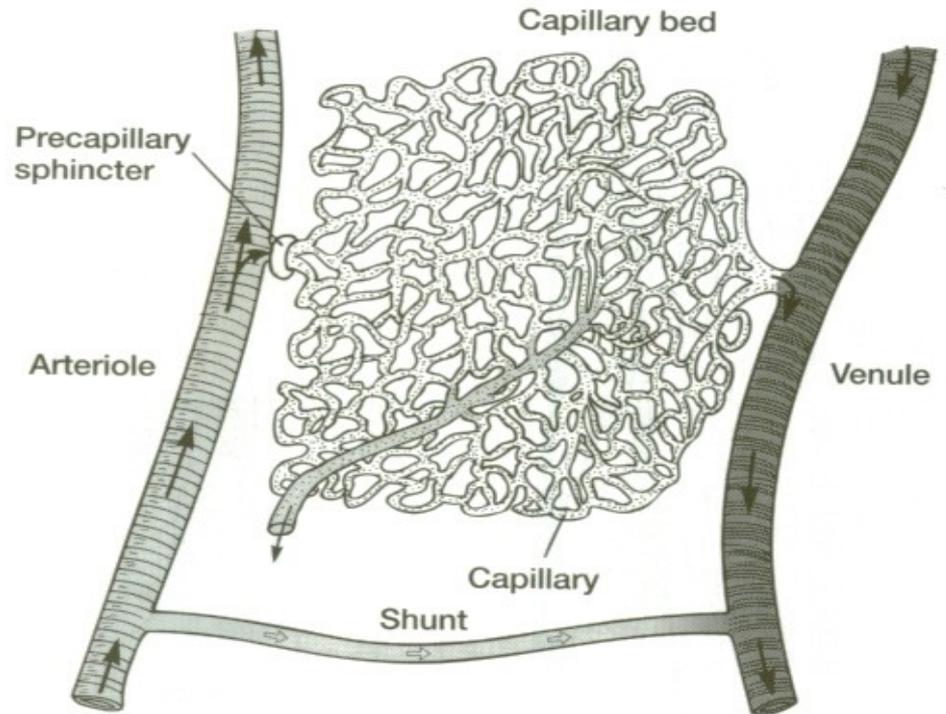


FIGURE 12.4 Microcirculation. The microcirculation includes the capillary beds as well as the arterioles supplying and venules draining them. The usual flow of blood to, through, and from a capillary bed is diagrammed (solid arrows). Smooth muscles of the walls of the arterioles form small bands, the precapillary sphincters, that control blood flow to the capillary bed. A direct shunt running from the arterial to the venous side of circulation allows for major diversions of blood (open arrows).

SISTEMA CIRCULATORIO DOS VERTEBRADOS

Funções

1. Nos vertebrados é responsável pelo transporte de substâncias para a célula (através do líquido intersticial) necessárias para sua subsistência e atividade e para remoção de resíduos de excreção.

SISTEMA CIRCULATORIO DOS VERTEBRADOS

Funções

2. Os tecidos precisam receber constantemente oxigênio das brânquias, da pele ou dos pulmões e também um fluxo constante de substâncias nutritivas do intestino ou dos centros de armazenamento ou de produção, principalmente do fígado.

Funções

3. Os resíduos precisam ser removidos: dióxido de carbono, destinado às brânquias e pulmões; resíduos nitrogenados para serem excretados pelos rins; e excesso de água metabólica.

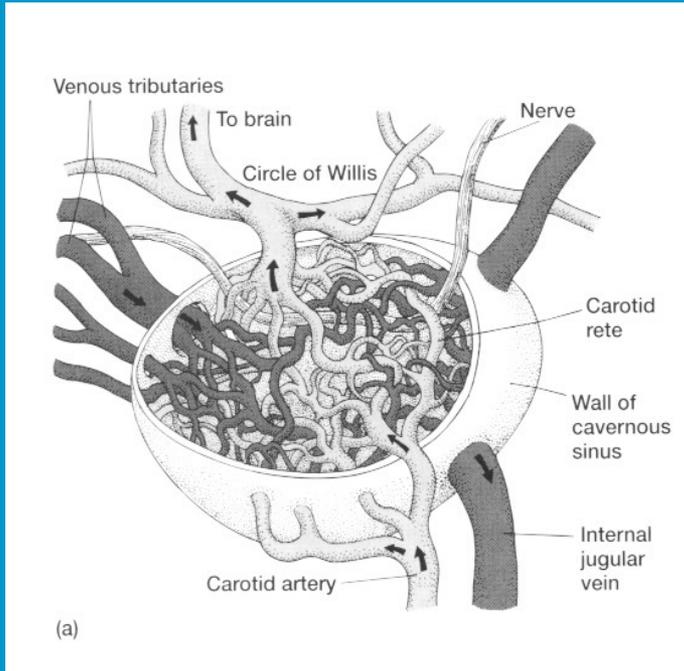
Funções

4. É responsável pela manutenção de um ambiente interno e estável necessário para o bem estar das células. A constante circulação de líquido pelo corpo na corrente sanguínea torna constante a composição dos líquidos intersticiais em todas as regiões e auxilia na manutenção de uma temperatura relativamente uniforme.

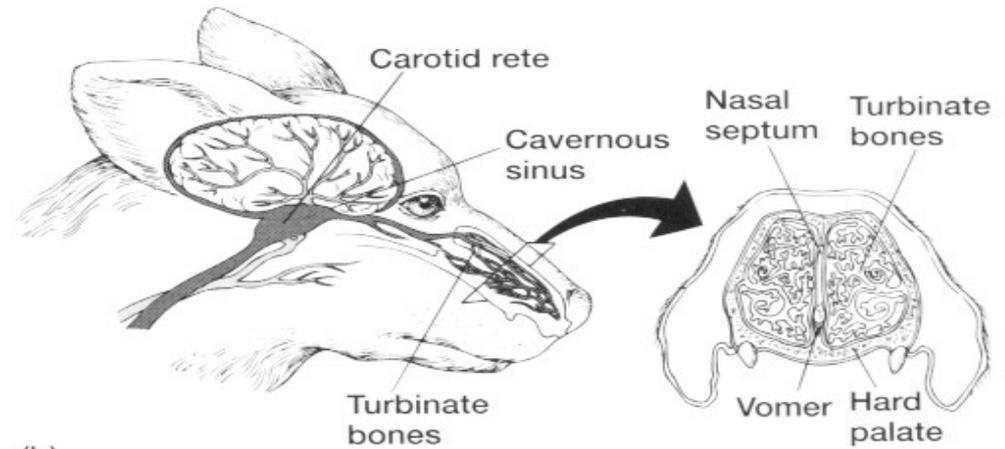
Funções

5. Atua contra doenças e no reparo de feridas e através da circulação de hormônios o sangue atua como um sistema nervoso acessório

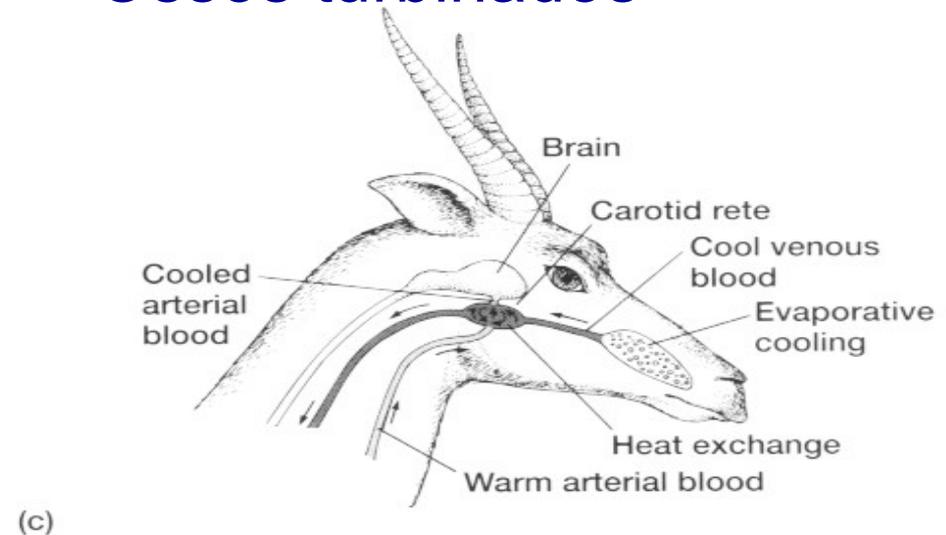
Trocas de calor



Regiões com anastomoses, permitem a troca de calor entre veias e artérias após resfriamento entre os ossos turbinados.

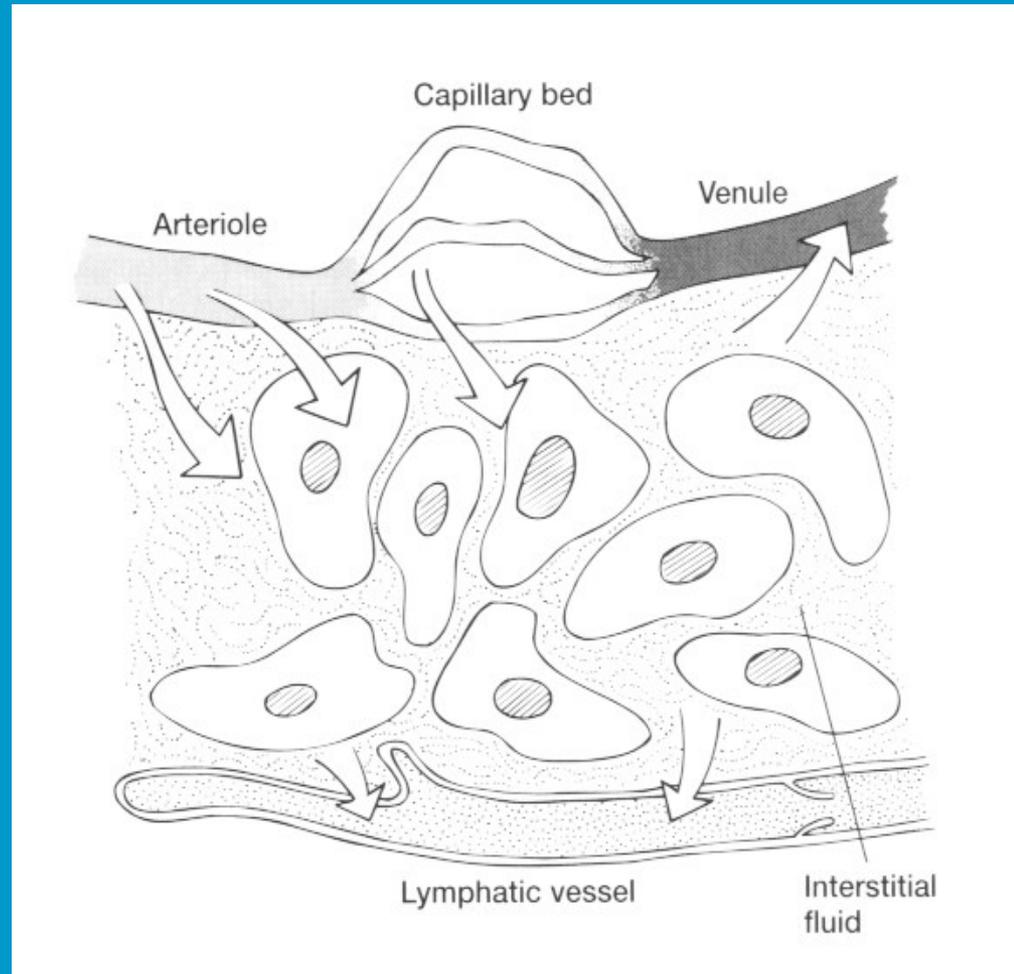


Ossos turbinados



Relação com o sistema linfático

- Os fluídos do sangue escoam para fora dos capilares por meio de difusão, osmose e pressão hidrostática promovida pelo coração
- Estes fluídos são drenados pelos capilares linfáticos
- A linfa é descarregada no interior do sistema venoso em diversos pontos



Sistema linfático

- A linfa consiste de água, substâncias dissolvidas como eletrólitos e proteínas e células livres como leucócitos, macrófagos, células plasmáticas.
- Os linfonodos são cápsulas envolvidas por tecido conectivo localizados entre os canais linfáticos.
- Os linfonodos ocorrem somente em mamíferos e algumas aves aquáticas.
- Nos répteis ocorrem sacos linfáticos.

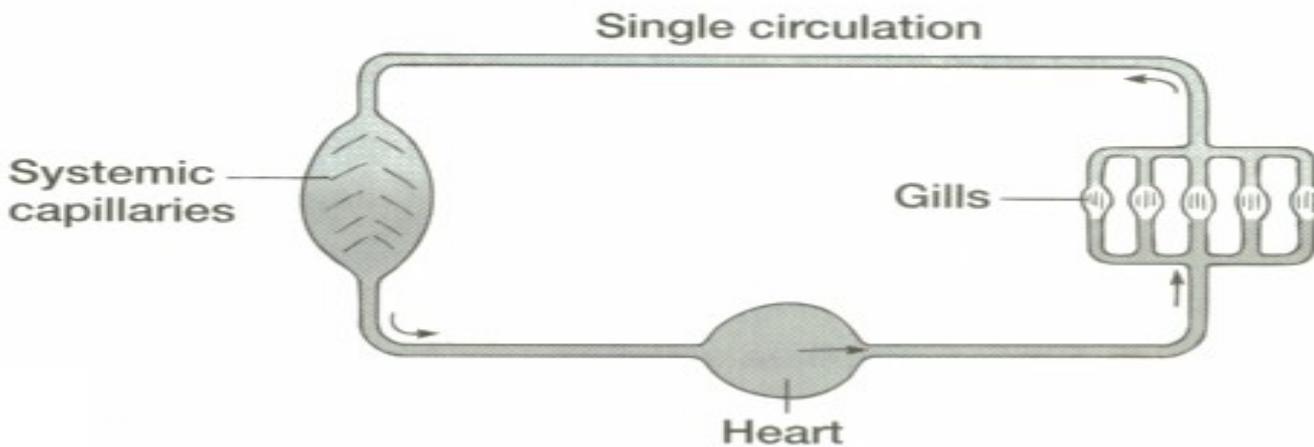
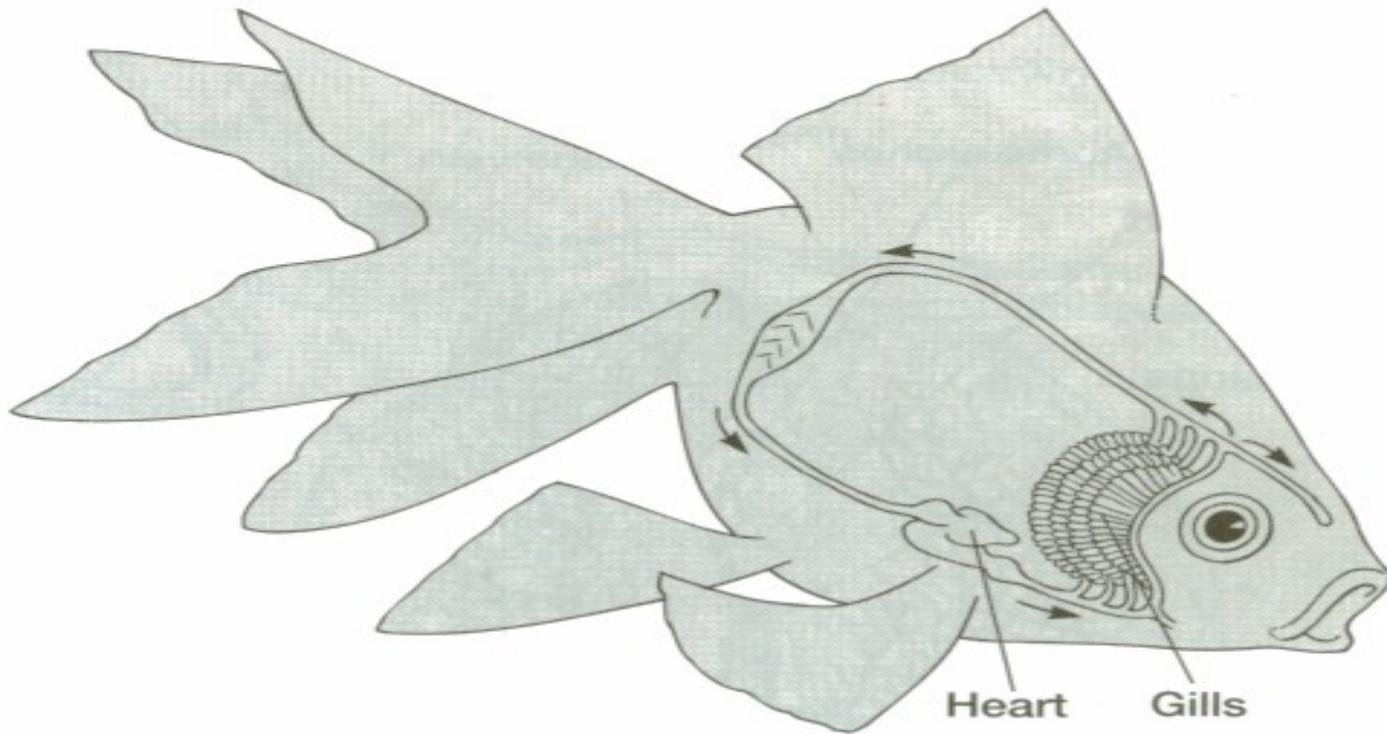
Sistema circulatório

- A ontogenia e filogenia estão mais relacionadas no sistema circulatório do que em muitos outros. Os corações, artérias e veias embrionários dos vertebrados superiores, assemelham-se muito aos órgãos correspondentes dos seus ancestrais.
- O padrão de circulação muda ao longo do desenvolvimento do embrião tanto quanto deve ter mudado durante a evolução.

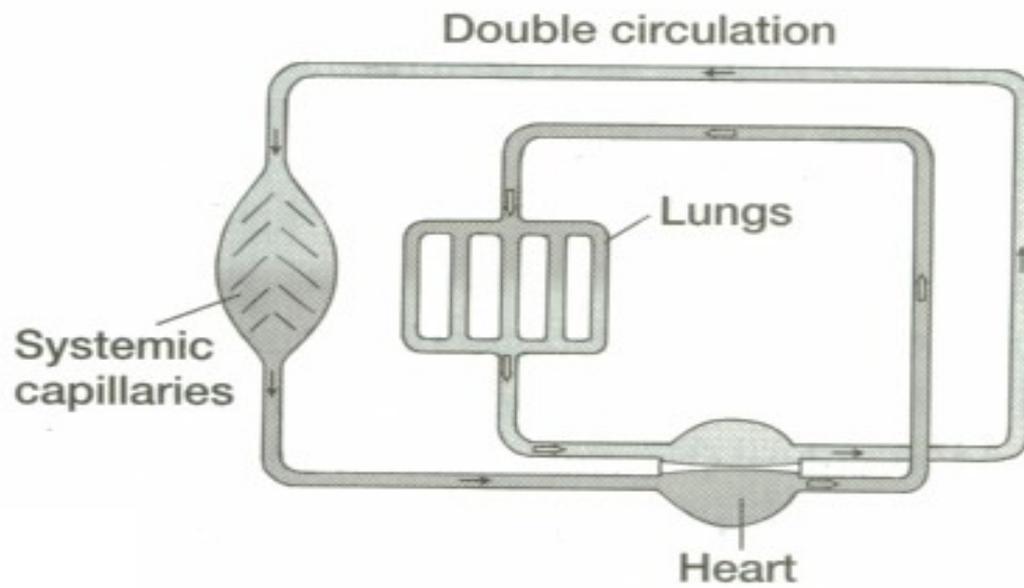
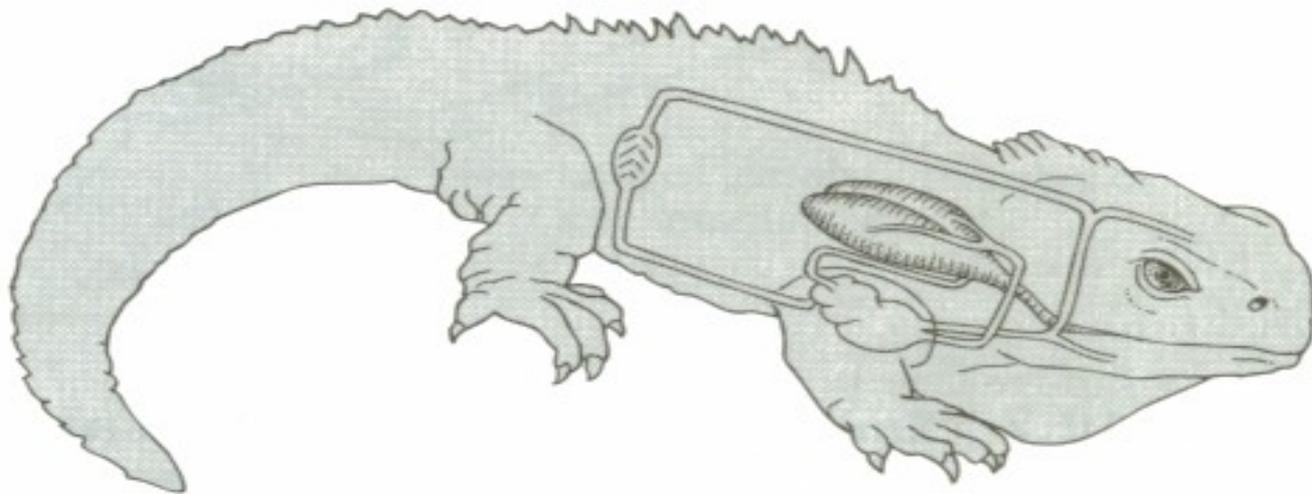
Circulação simples e dupla

- **Circulação simples** ou branquial – o sangue passa uma única vez pelo coração para completar o circuito completo.
- **Circulação dupla** ou pulmonar – o sangue passa duas vezes pelo coração durante cada circuito, saindo do coração para os pulmões, volta ao coração, vai para os tecidos sistêmicos e volta ao coração.

Circulação simples



Circulação dupla



Sistema circulatório

O coração primitivo

- O anfioxo apresenta o sistema circulatório intermediário (entre o aberto e o fechado), porque apesar da existência de vasos eferentes e aferentes , não há capilares e o sangue tem o contato direto com as células do corpo.
- O anfioxo não tem coração, no lugar dele existe um **vaso pulsátil** na posição onde evoluiu o coração dos vertebrados. Esse vaso aproxima-se do primórdio embrionário do coração dos vertebrados e aparentemente são homólogos.

Coração ancestral hipotético dos vertebrados

- Bombeia um fluxo único de sangue não oxigenado para região anterior do corpo

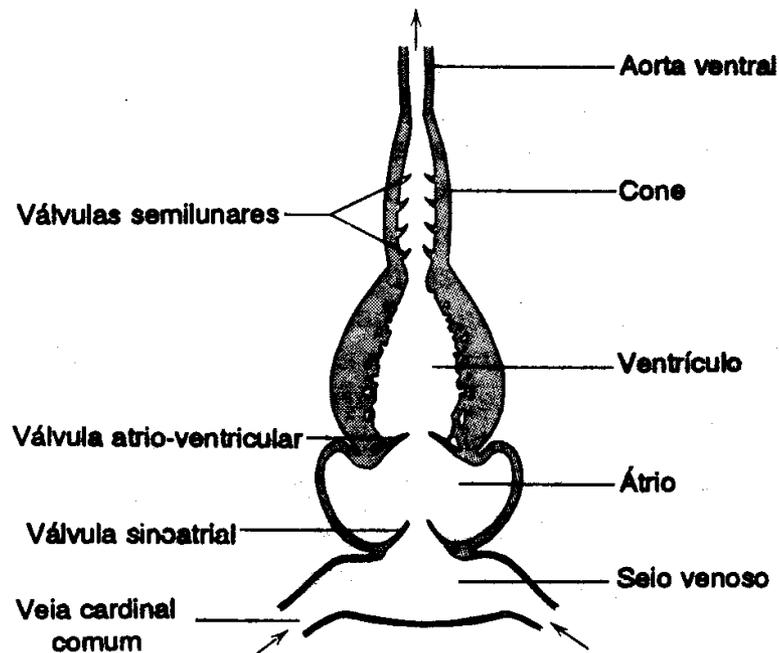
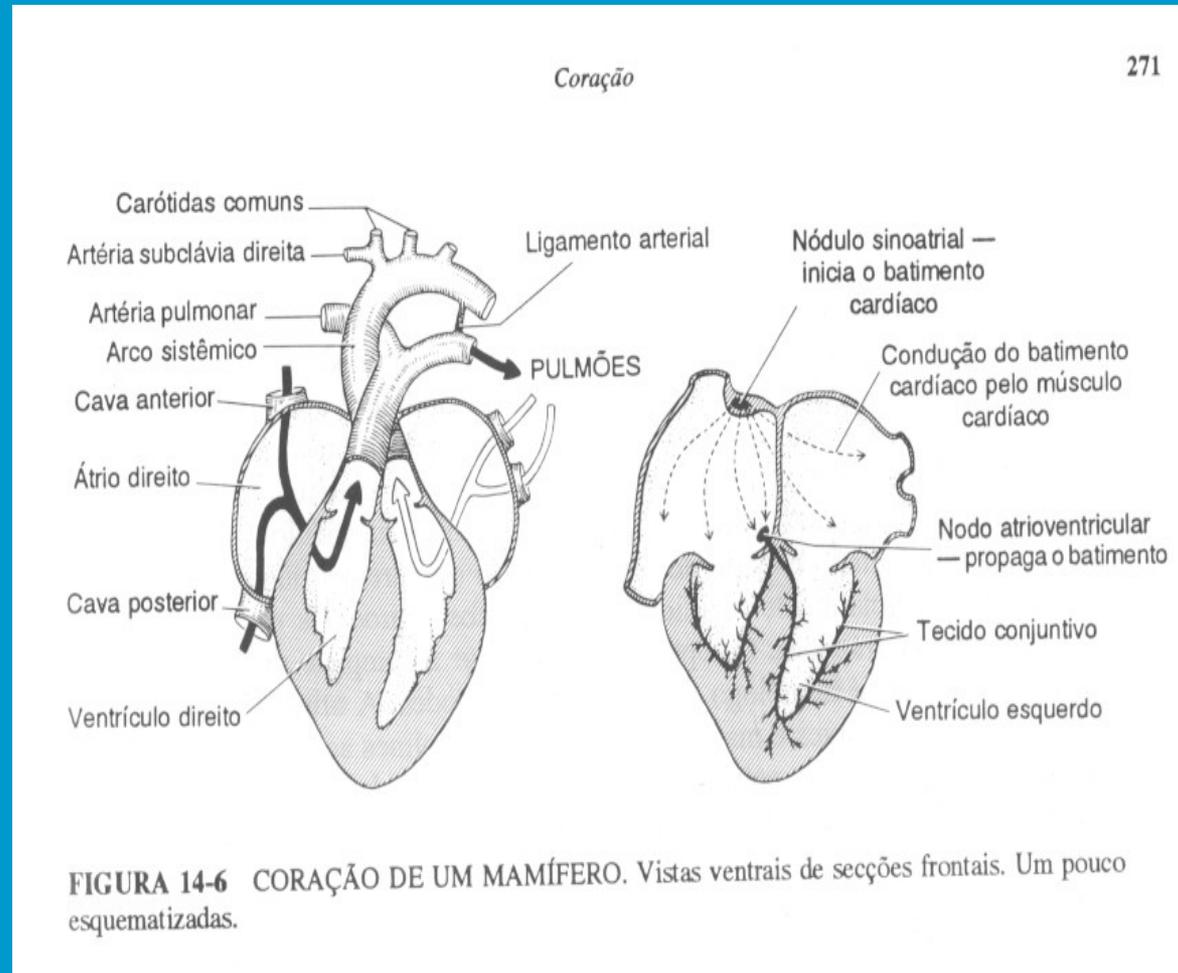


FIGURA 14-2 CORAÇÃO ANCESTRAL HIPOTÉTICO DOS VERTEBRADOS em secção horizontal. Sua estrutura se aproxima muito na ontogenia de todos os corações de vertebrados.

Batimento cardíaco

- O batimento do coração dos amniotas depende:
- Sistema nervoso autônomo
- Hormônios
- Temperatura
- O músculo cardíaco porém tem a capacidade inerente de contrair-se ritmicamente



Ciclostomados

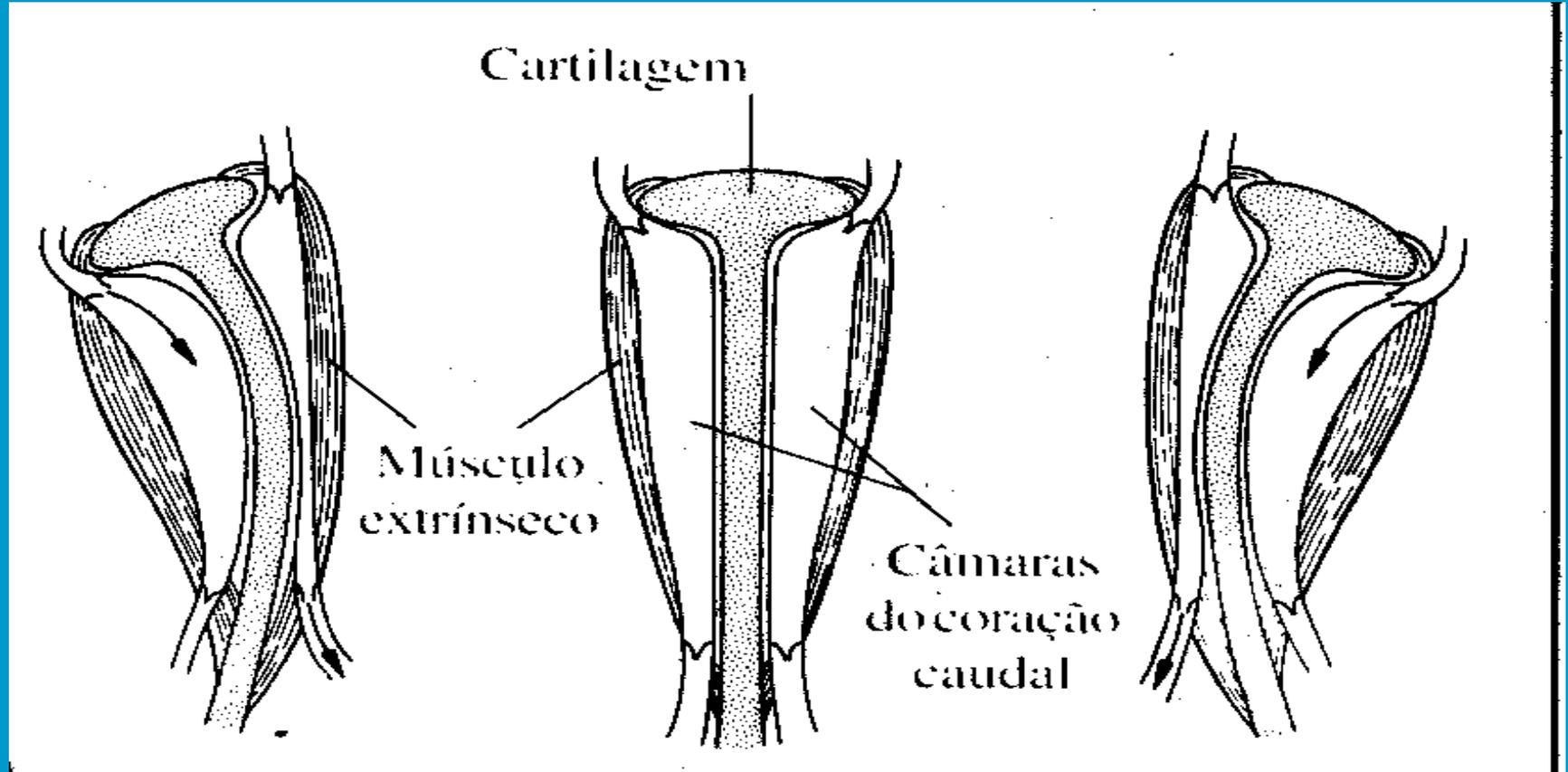
- Difere dos demais vertebrados por apresentarem um sistema parcialmente aberto com grandes seios sangüíneos.
- Apresentam o **coração branquial** e diversos **corações acessórios**, especialmente no **sistema venoso**.
- Possuem 3 tipos de corações acessórios:
 - **Coração porta**, que recebe sangue venoso da veia cardinal e do intestino e bombeia esse sangue para o fígado;
 - **Corações cardinais**, que estão localizados nas veias cardinais e ajudam a impulsionar o sangue;
 - **Corações caudais**, que são expansões pareadas das veias caudais.

Ciclostomados

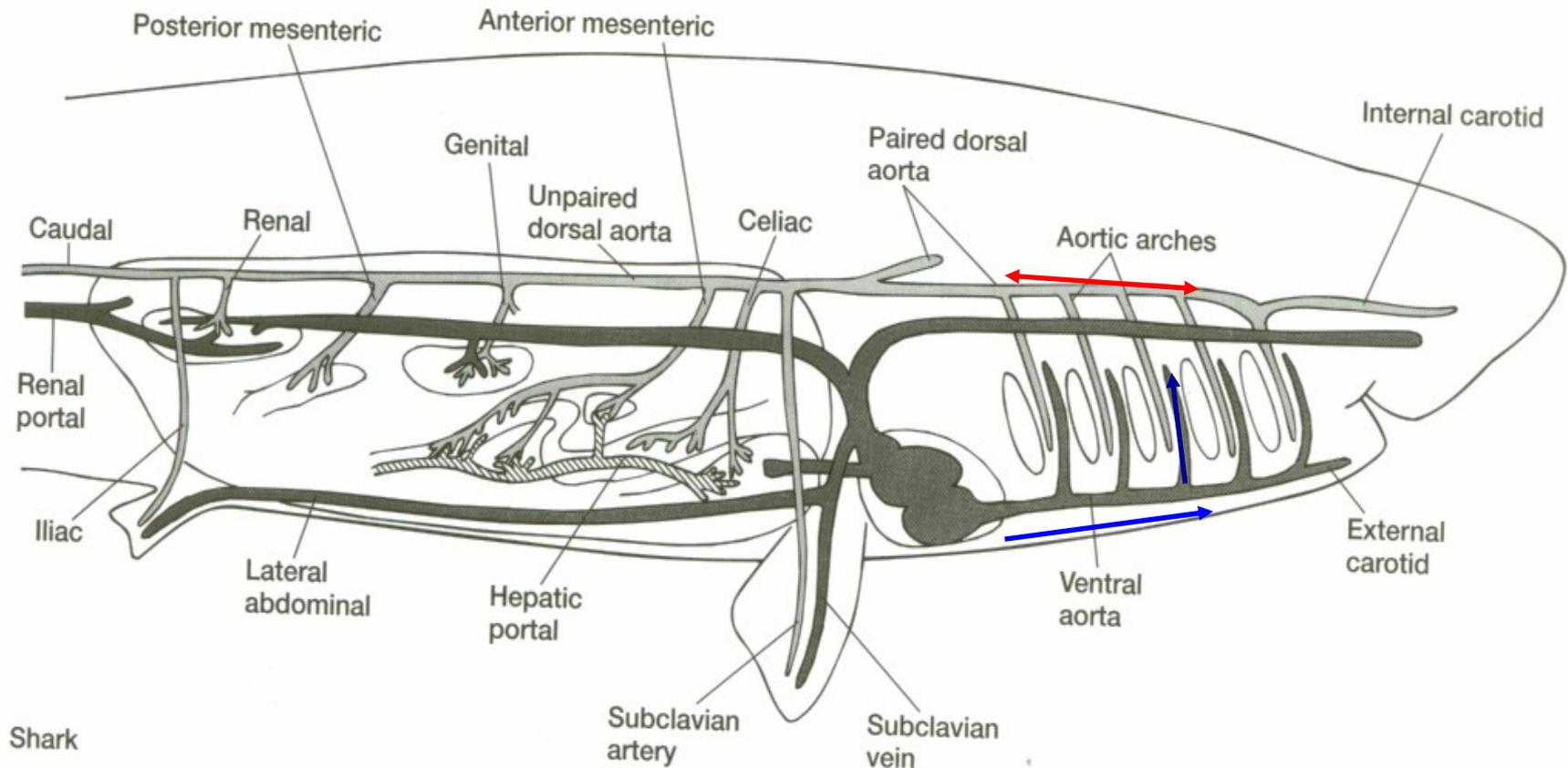
- As brânquias atuam na propulsão do sangue arterial. Isso é conseguido pela contração de elementos musculares estreitos existentes nas **brânquias** e **ductos branquiais**, que ajudam a impulsionar o sangue no sistema arterial.
- Os **corações caudais** diferem do coração dos demais vertebrados.
- Uma haste longitudinal de cartilagem separa duas câmaras e contrações alternadas bilaterais dos músculos fazem com que a haste seja flexionada. Quando os músculos de um lado contraem, os do lado oposto produzem pressão para expulsar o sangue naquele lado.

Ciclostomados

- Por meio de contrações alternadas, as duas câmaras são preenchidas e esvaziadas em fases opostas, enquanto um sistema adequado de válvulas garante um fluxo unidirecional.



Padrão básico do sistema circulatório



Basic vertebrate circulatory pattern illustrated in a shark. The heart pumps blood to the ventral aorta, from which it is distributed to the paired aortic arches and then to the single dorsal aorta. From the dorsal aorta, blood flows forward to the head and posteriorly to the body, where major branches carry it to visceral and somatic tissues.

Sistema porta

- Canal vascular que parte de uma rede de capilares para outra sem retornar ao coração.
- A veia porta hepática é encontrada em todos os vertebrados e situa-se entre os leitos capilares do intestino e do fígado.
- A veia porta renal ocorre entre os rins e a parte caudal do tronco e cauda. Está ausente nos mamíferos.

Peixes (Teleósteos e Elasmobrânquios, exceto os dipnóicos)

Nos peixes o coração está deslocado para a região anterior, em frente à cintura peitoral e embaixo das brânquias mais posteriores.

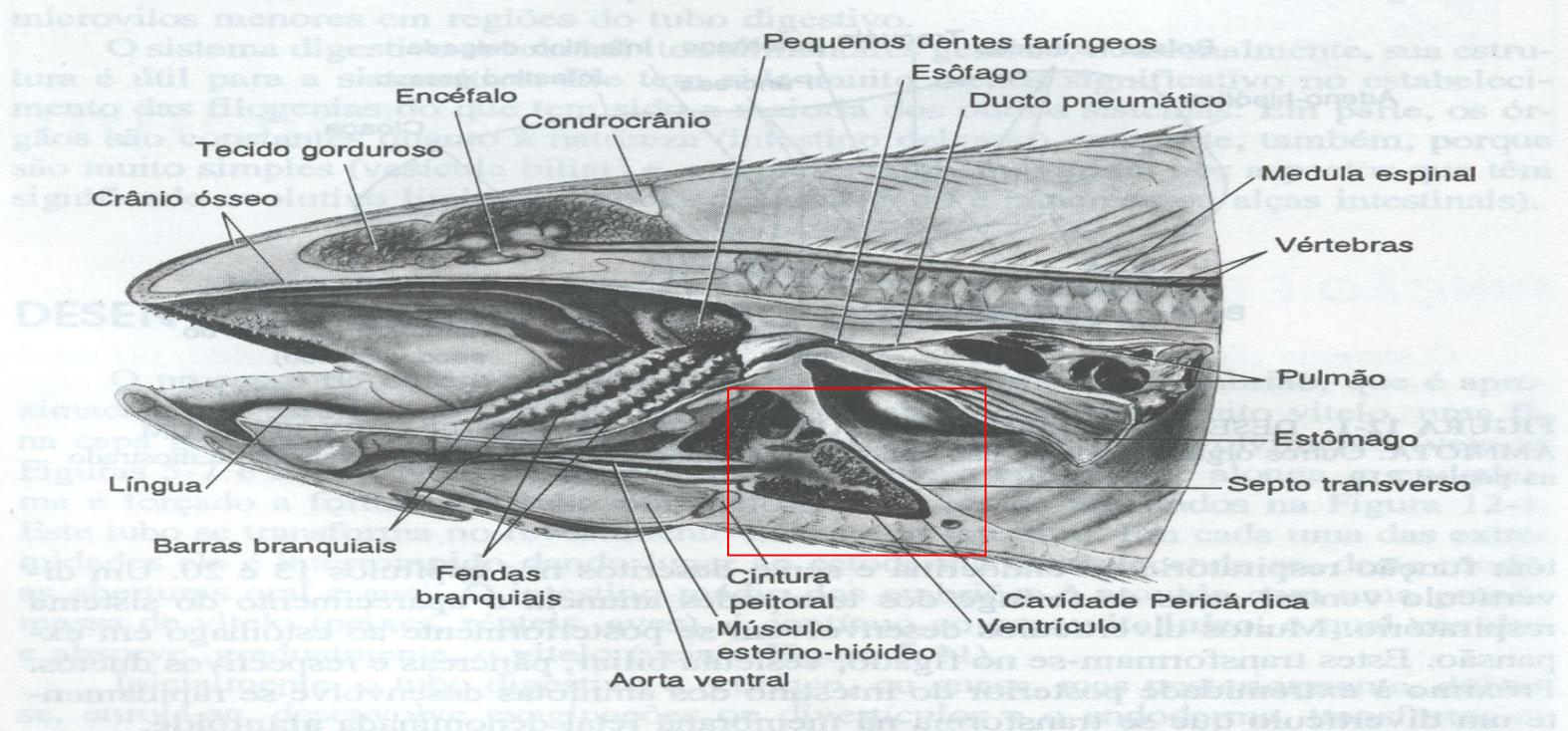


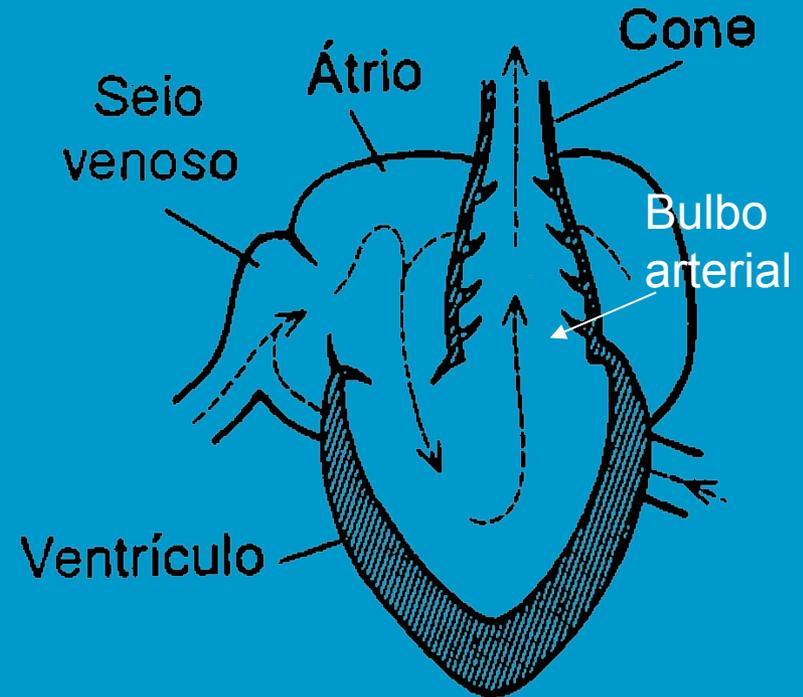
FIGURA 12-2 SECÇÃO SAGITAL DA CABEÇA E DA PARTE ANTERIOR DO CORPO DE UM PEIXE NEOPTERÍGIO PRIMITIVO, "bowfin", *Amia*.

Peixes

- Apresentam o coração que consiste de **duas câmaras** em série, um **átrio** e um **ventrículo**. No lado arterial o coração do teleósteo é imediatamente seguido por uma parte muscular espessa da aorta ventral, **bulbo venoso**.
- O coração dos elasmobrânquios tem uma parte espessa localizada de forma semelhante, o **cone arterial**, desenvolvido a partir do músculo cardíaco. Ele é fibroso e equipado por válvulas que evitam o fluxo sanguíneo reverso para o interior do **ventrículo**.
- Isso é particularmente importante porque o coração do elasmobrânquio, localizado numa câmara rígida, pode produzir pressão negativa. Uma pressão negativa no coração facilita o enchimento por "sucção" do átrio a partir dos grandes seios venosos.

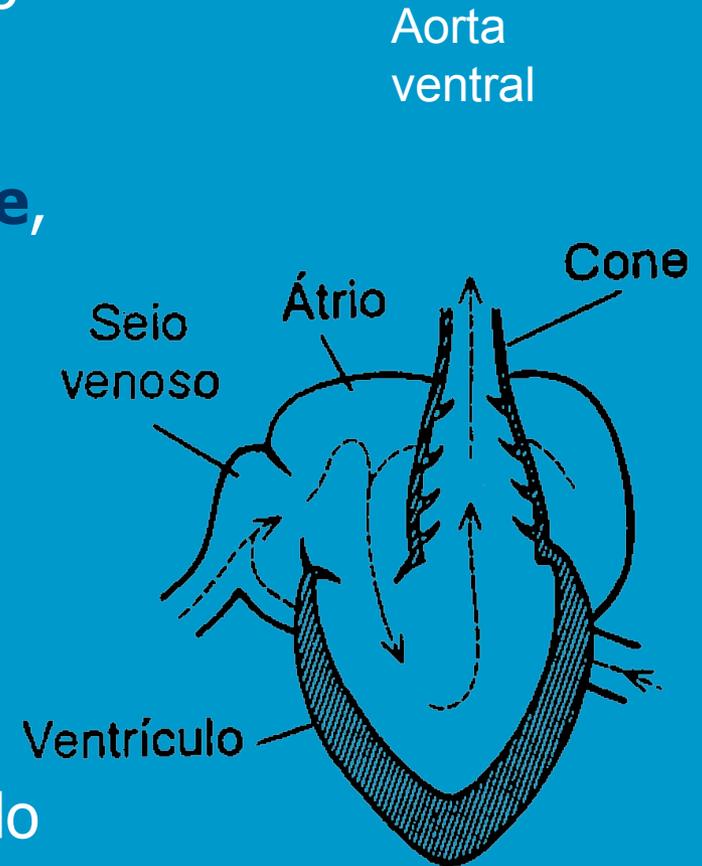
Peixes

- A seqüência de eventos num coração de um peixe, durante o ciclo da contração é a seguinte:
- durante a contração muscular, a pressão sangüínea é elevada e esta pressão é transmitida para o **bulbo arterial**.
- Quando o ventrículo relaxa, o fluxo reverso do bulbo é evitado pelas válvulas e, portanto, a pressão alta persiste no bulbo mesmo depois que o ventrículo começa a **relaxar**.



Peixes

- As propriedades elásticas do bulbo cheio servem para manter um fluxo sanguíneo na aorta ventral durante o período **diastólico** do batimento cardíaco.
- Durante a contração muscular, **a sístole**, o coração diminui de volume e a diminuição do volume faz com que seja produzida uma pressão negativa na câmara rígida na qual está inserido o coração.
- O átrio se enche, contraindo-se e impulsiona o sangue para o interior do ventrículo, que está vazio e relaxado; o refluxo para o interior do seio é impedido por válvula. Portanto, nesta parte do ciclo, o sangue é transferido do átrio para o ventrículo, enquanto o volume do pericárdio permanece constante.



Coração dos peixes

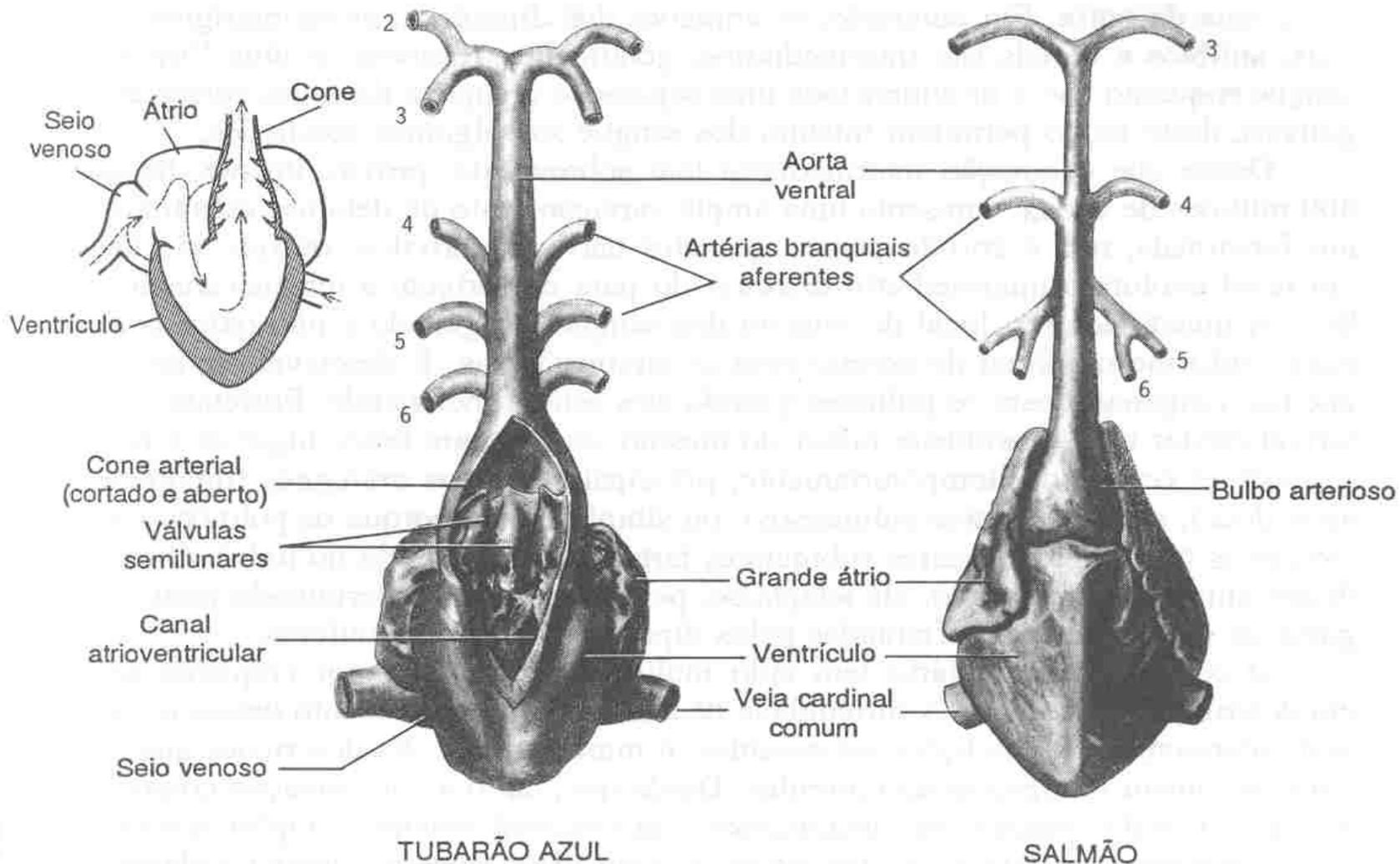


FIGURA 14-3 CORAÇÕES E VASOS ASSOCIADOS DE PEIXES REPRESENTATIVOS. Vistas ventrais.

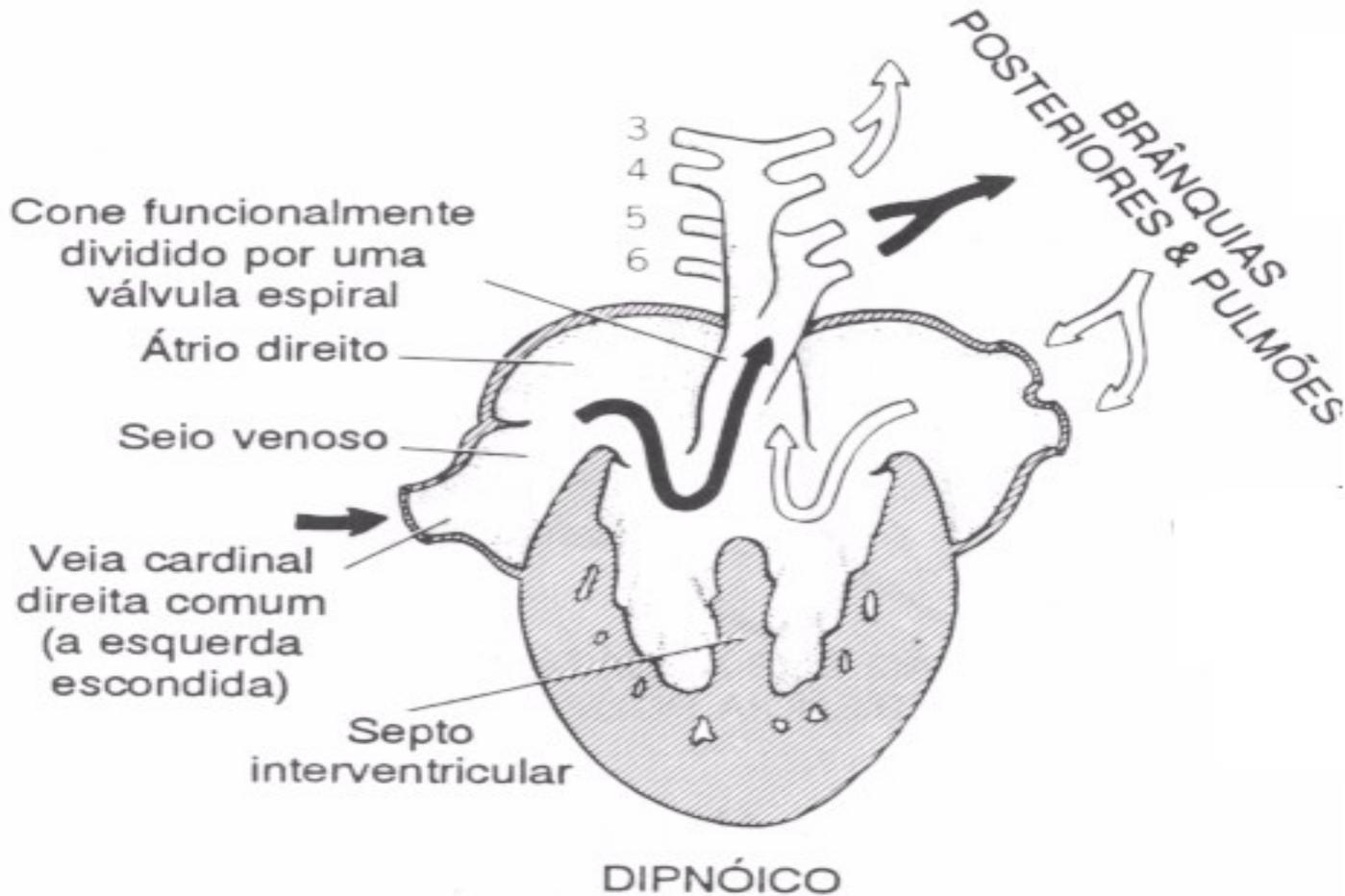
Peixes pulmonados

- A principal modificação nos peixes pulmonados é que, além das brânquias, eles apresentam pulmões como órgãos respiratórios.
- As brânquias recebem em parte o sangue que já passou pelos pulmões.
- Se as brânquias fossem semelhantes às daquelas dos peixes comuns, tal condição poderia ser desfavorável, pois um peixe pulmonado que nadasse numa água pobre em oxigênio, perderia oxigênio do sangue para a água que flui através das brânquias.
- No entanto, as brânquias dos peixes pulmonados sofreram degeneração e alguns dos **arcos branquiais** permitem um fluxo sanguíneo direto através destes.

Peixes pulmonados

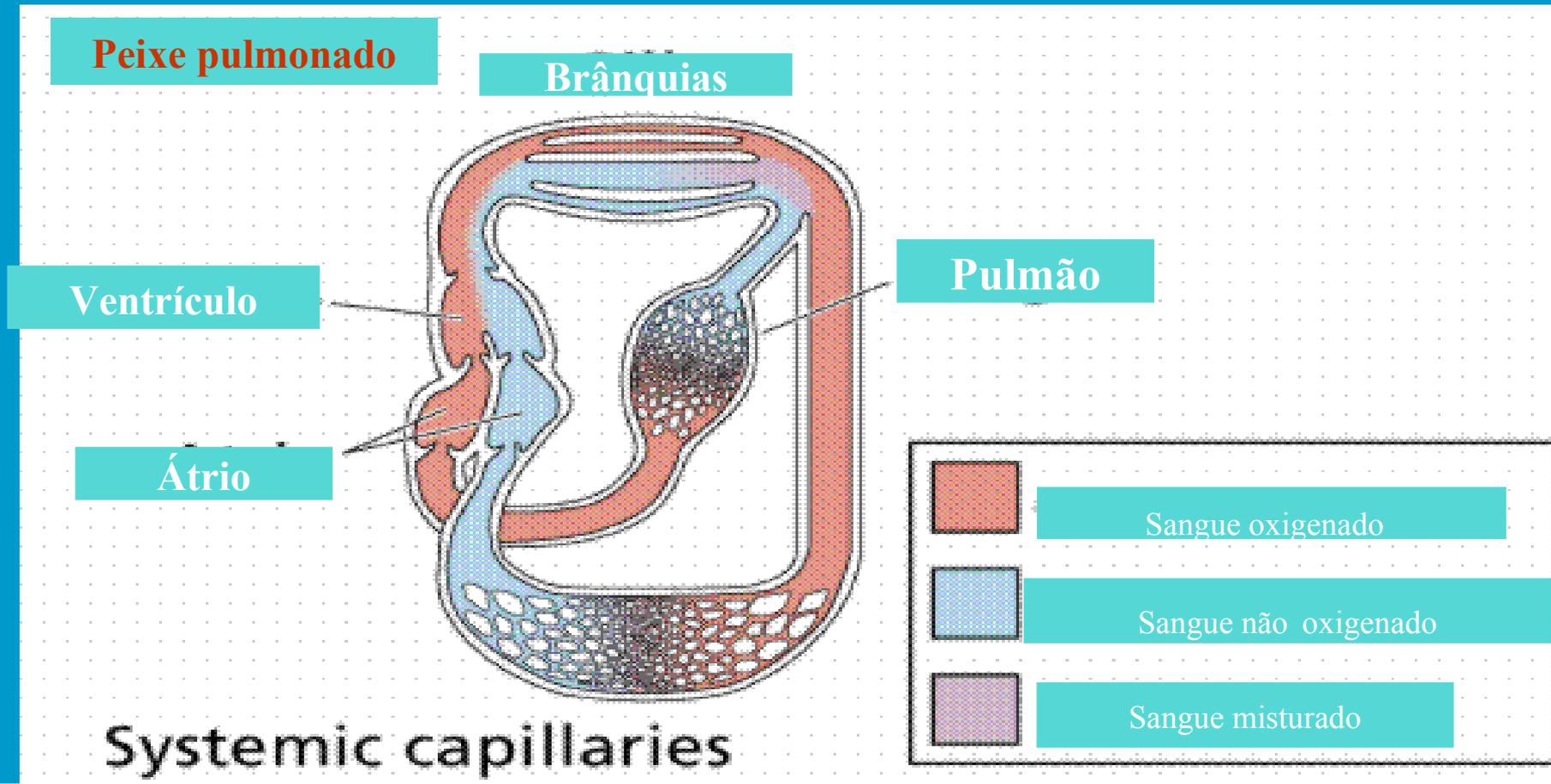
O átrio do coração é dividido em **duas câmaras**, por um **sépto** e o **ventrículo** é parcialmente dividido.

Esse tipo de coração lembra o coração completamente dividido dos mamíferos, aves e crocodilos.



Peixes pulmonados

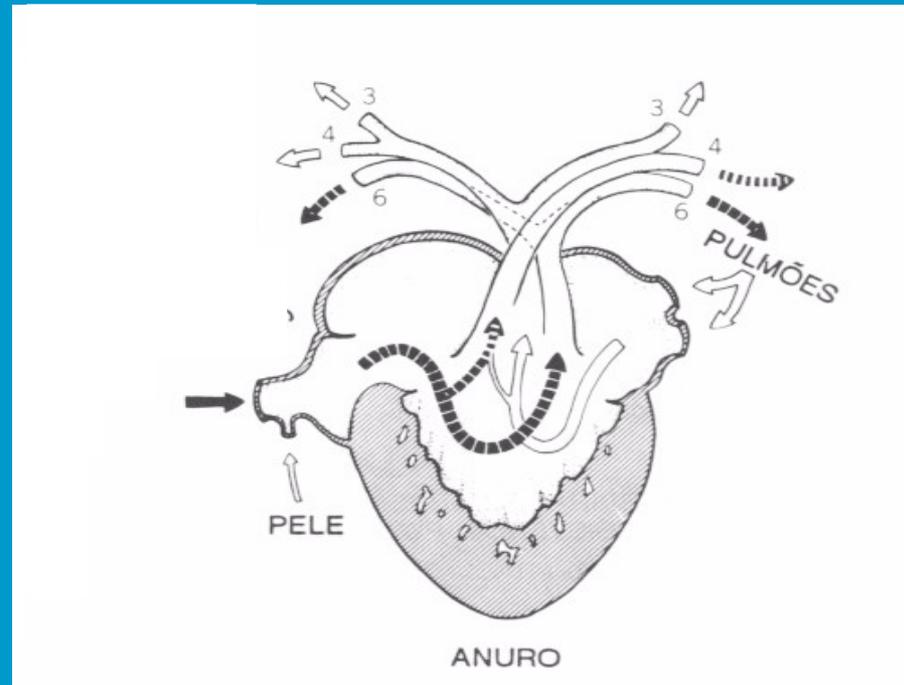
- O sangue proveniente do pulmão retorna ao **átrio esquerdo** e, o **átrio direito** recebe sangue da circulação geral. A divisão parcial do **ventrículo** tende a manter as duas correntes sangüíneas separadas, de modo que o sangue oxigenado tende a fluir para o interior dos dois primeiros **arcos branquiais** e suprir a cabeça com sangue relativamente rico em oxigênio.
- O sangue menos oxigenado do lado direito do coração flui através dos **arcos branquiais posteriores**, passando para **aorta dorsal** e em parte para os pulmões.



Anfíbios

- O coração dos anfíbios modernos (rãs, sapos e salamandras) apresentam dois **átrios** completamente separados, mas apenas um **ventrículo** não dividido.
- O **átrio esquerdo** recebe sangue oxigenado dos pulmões e o **átrio direito** recebe sangue venoso da circulação sistêmica geral.
- Apesar do ventrículo não ser dividido, os dois tipos de sangue tendem a não se misturar, de modo que o sangue oxigenado passa para a circulação geral e o sangue pobre em oxigênio entra separadamente na circulação pulmonar.
- A artéria pulmonar também envia ramificações para a pele; isso é importante porque a pele úmida do anfíbio é o principal local de obtenção de oxigênio.

O ventrículo não está dividido provavelmente por ser um caráter primitivo e não uma condição degenerada



Anfíbios

- A disposição anatômica do coração inclui um desvio de curso em forma de sulco no **cone arterial** (conhecido como **válvula espiral**), que parece ser importante para manter as correntes sanguíneas separadas.
- O cone tem uma prega espiral cujo lado direito desvia o sangue não oxigenado para pulmões e pele e o lado esquerdo desvia o sangue para o lado sistêmico direito, ramificando-se as artérias da cabeça e apêndices anteriores. Os dois tipos de sangue podem entrar no arco sistêmico esquerdo, a mistura depende da resistência do circuito pulmonar.
- Qual a vantagem?
- Quando a rã está submersa, não ocorre troca de gases nos pulmões e a pele assume o papel de único órgão para as trocas gasosas. Ocorre também aumento do fluxo sanguíneo sistêmico para a pele, e como consequência, o sangue venoso misturado que retorna ao coração transporta mais oxigênio.

Anfíbios

Amphibian

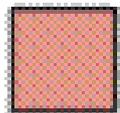
Right atrium

Lung

Left atrium

Aorta

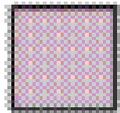
Ventricle



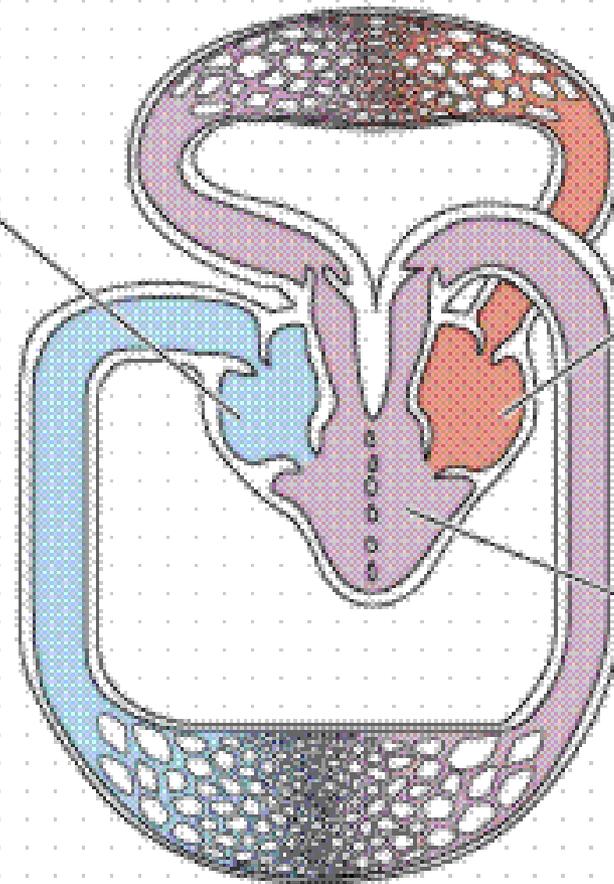
Oxygenated blood



Deoxygenated blood



Mixed blood



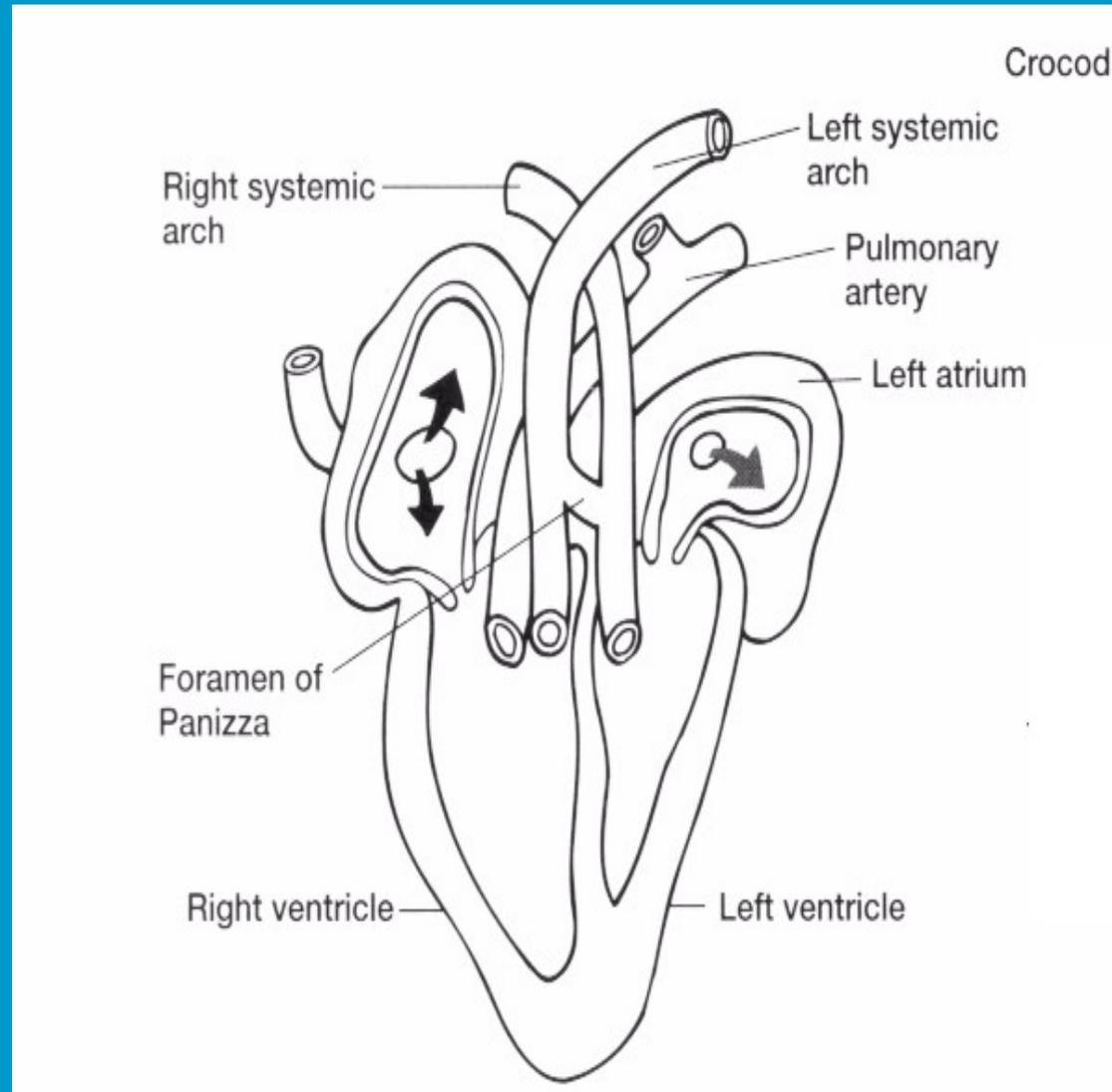
Systemic capillaries

Répteis

- Nos répteis não crocodilianos os átrios são completamente separados, mas o ventrículo apenas é parcialmente dividido.
- Mesmo assim, as correntes de sangue não oxigenados e oxigenados são mantidas bem separadas, de modo que ocorre pouca mistura do sangue, existindo uma circulação dupla bem desenvolvida.
- A divisão incompleta do ventrículo nos anfíbios e répteis não crocodilianos não pode ser interpretada simplesmente com base na aparência anatômica; as correntes sanguíneas permanecem muito mais separadas do que fazem supor as considerações anatômicas.

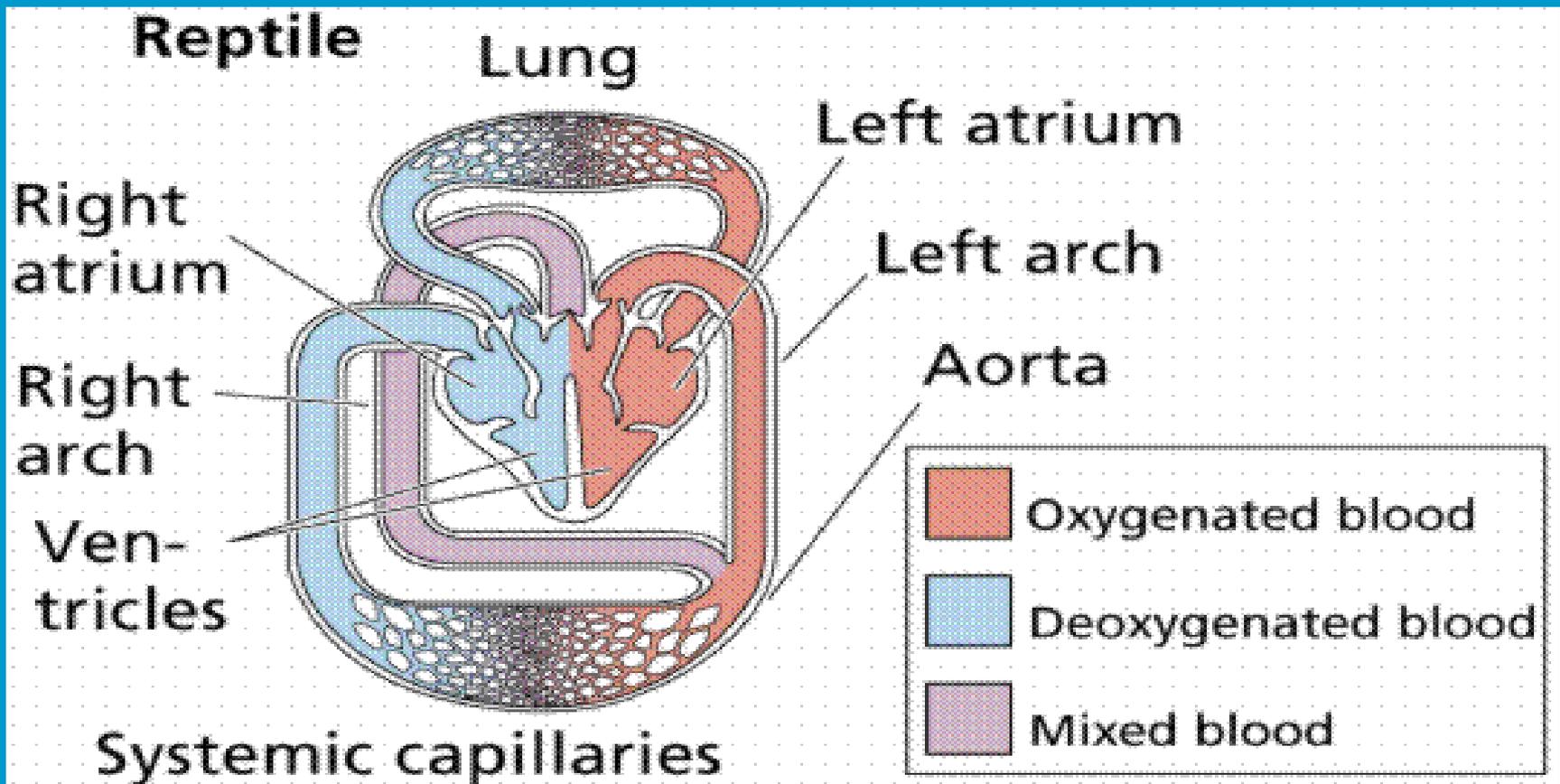
Répteis

- Nos crocodilianos, ambas as câmaras cardíacas são completamente divididas.
- Esta separação completa é confundida pelo fato peculiar de que o arco aórtico origina-se do ventrículo direito e, portanto deve receber sangue venoso.
- Contudo, há um orifício ou forâmen conectando os dois arcos aórticos.

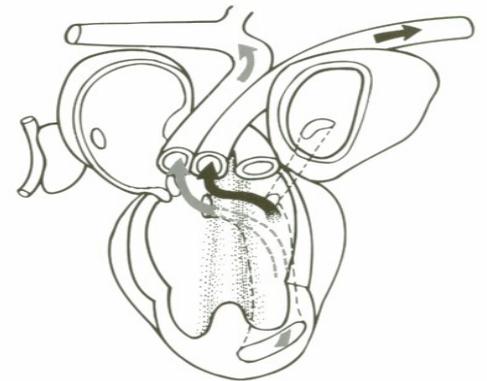
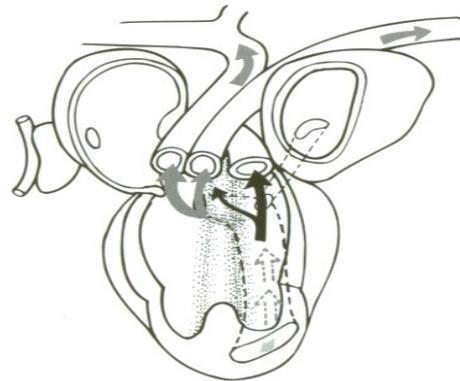
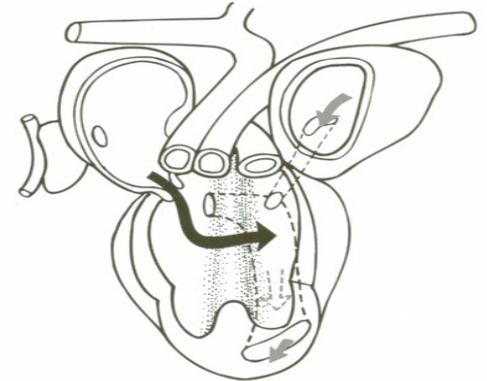
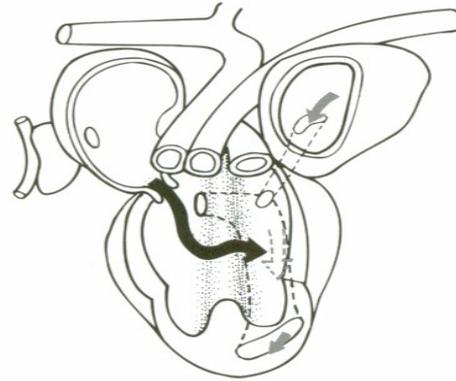
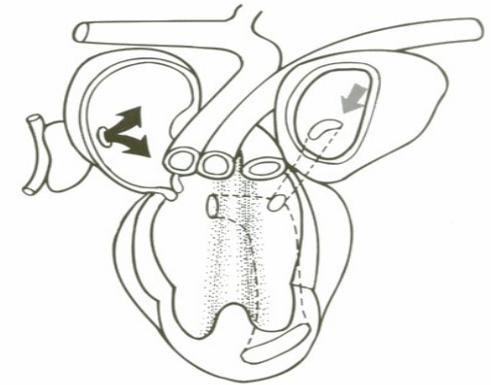
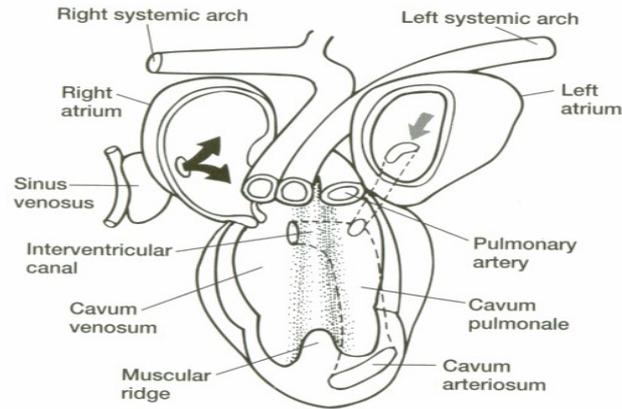


Répteis

- Um estudo mais cuidadoso dos dois tipos de sangue (oxigenado e não oxigenado) demonstra que dois permanecem separados e que ambos os arcos aórticos, conduzem sangue oxigenado não misturado.
- Durante o mergulho, a circulação dos crocodilianos é modificada: o fluxo sangüíneo para os pulmões diminui e a maior parte do débito do ventrículo direito é ejetado no arco aórtico esquerdo. Este desvio permite um redirecionamento do sangue durante o mergulho.



Coração facultativo



Respiração aérea

Mergulho

O coração intermediário

- Corações de Dipnóicos, crossopterígio ancestrais, anfíbios e répteis.
- Tem sobrevivido por 400 milhões de anos
- Apresenta variações estruturais e funcionais
- A quantidade e o local de mistura de sangue oxigenado e não oxigenado variam conforme o animal de acordo com as circunstâncias:
 - Respiração branquial
 - Respiração pela pele
 - Pulmões inativos
- É um coração facultativo que adapta-se à condições não enfrentadas por aves e mamíferos.

Aves e mamíferos

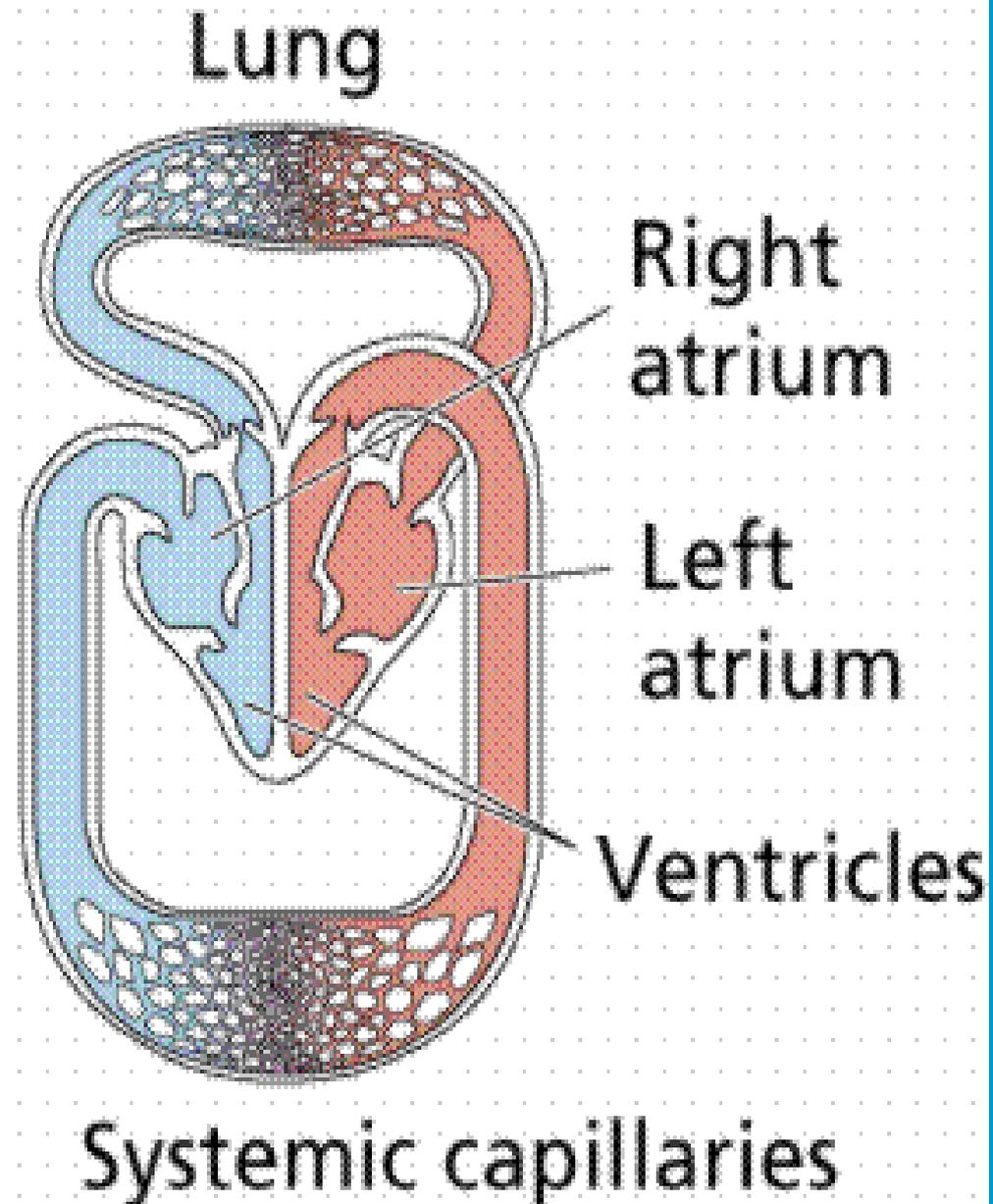
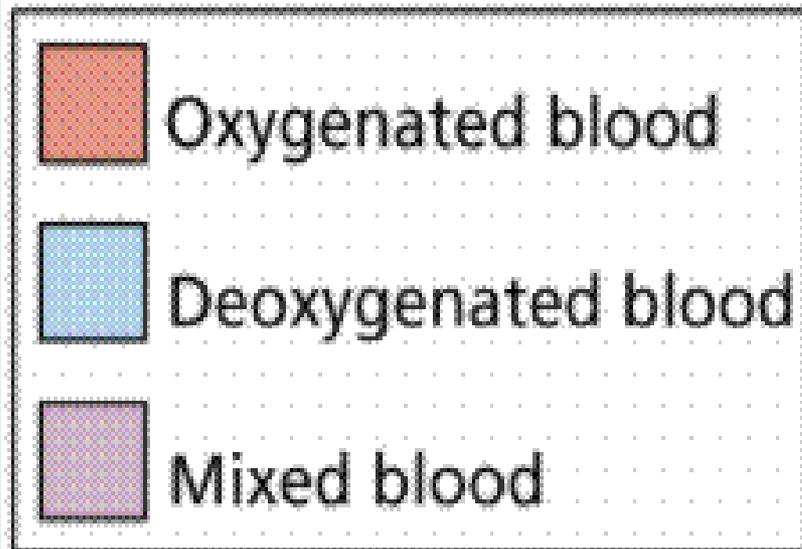
- A divisão do coração e a separação em circulações pulmonar e sistêmica são completas nas aves e nos mamíferos, resultando em pressões diferentes em ambas circulações.
- A resistência ao fluxo no sistema pulmonar é muito menor que na circulação sistêmica e a pressão sanguínea na circulação pulmonar é somente uma pequena fração da pressão na parte sistêmica.
- O seio venoso é vestigial em aves e ausente em mamíferos

Aves e mamíferos

- Ao contrário dos outros vertebrados, possuem um único arco sistêmico.
- Os mamíferos mantêm o arco aórtico esquerdo, enquanto as aves mantêm o direito.
- Uma diferença de importância fisiológica é que os rins de todos os vertebrados não mamíferos recebem sangue venoso da parte posterior do corpo (circulação porta renal).
- As aves mantiveram esta circulação porta renal, porém, ela está ausente nos mamíferos.

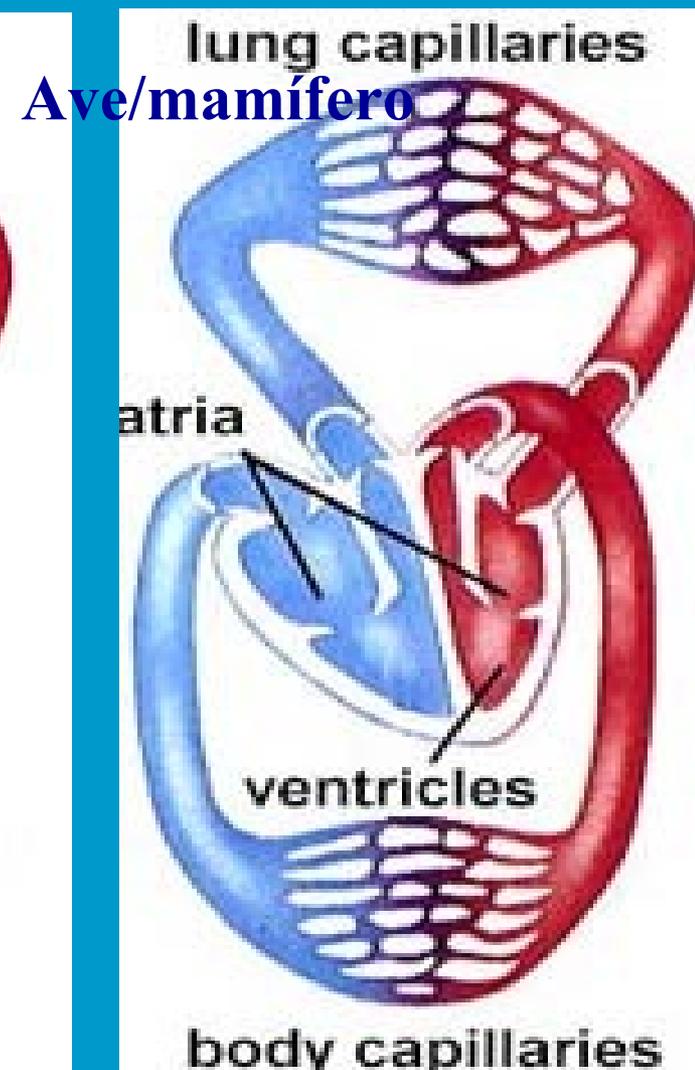
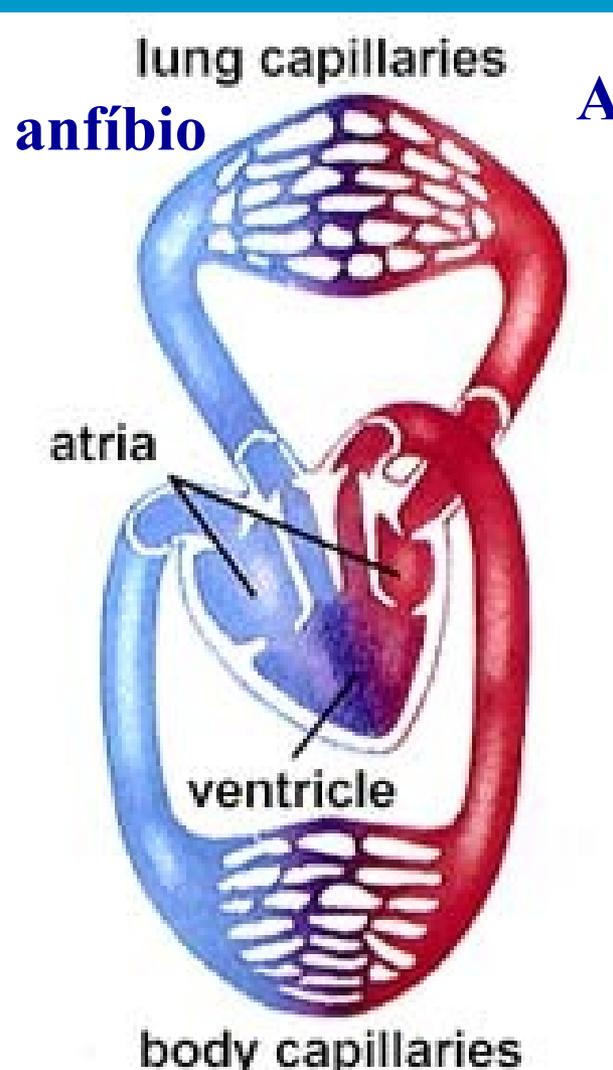
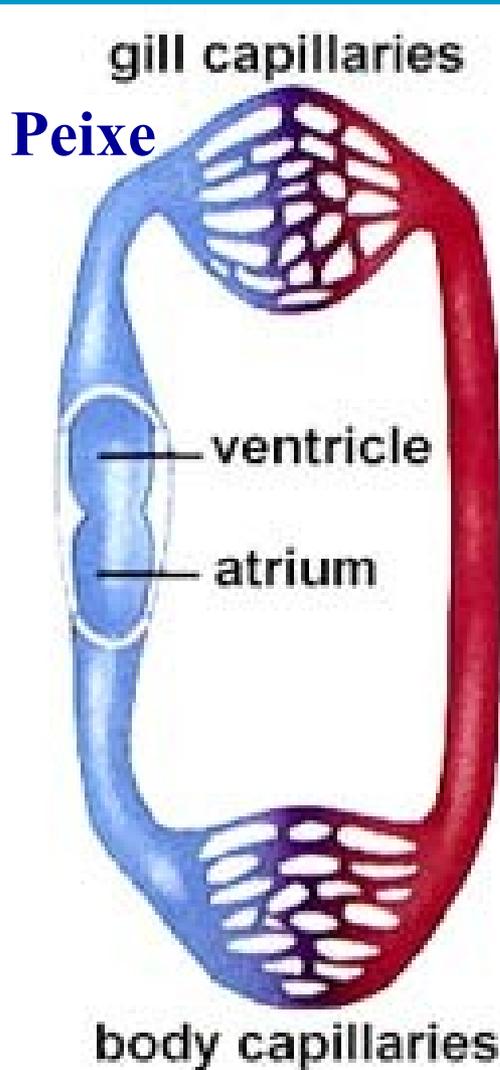
Aves e Mamíferos

Mammal and bird



Sistemas circulatórios

Desenho esquemático do sistema circulatório de um peixe, anfíbio e ave/mamífero.



Evolução dos arcos aórticos

- Ciclostomados têm uma aorta ventral longa e oito ou mais arcos aórticos
- Os embriões dos mandibulados possuem 6 pares de arcos, mas o primeiro é vestigial ou perdido no adulto
- O segundo par é mantido nos peixes dipnóicos, condrósteos e cartilaginosos
- Os teleósteos têm 4 pares que servem às suas holobrânquias
- Os adultos dos tetrápodes perdem os 2 primeiros pares de arcos aórticos

Evolução dos arcos aórticos

- Anura mantém o III, IV e VI (artérias pulmonares) arcos. Os urodelos que respiram por brânquias não perderam o V.
- O padrão básico dos répteis é o mesmo dos anuros, salvo que o cone é dividido em três no lugar de dois canais.
- Modificações no sistema carotídeo ocorrem entre os répteis e Aves
- Aves mantêm o arco aórtico sistêmico direito
- Mamíferos mantêm o arco aórtico sistêmico esquerdo

Arcos aórticos e vasos

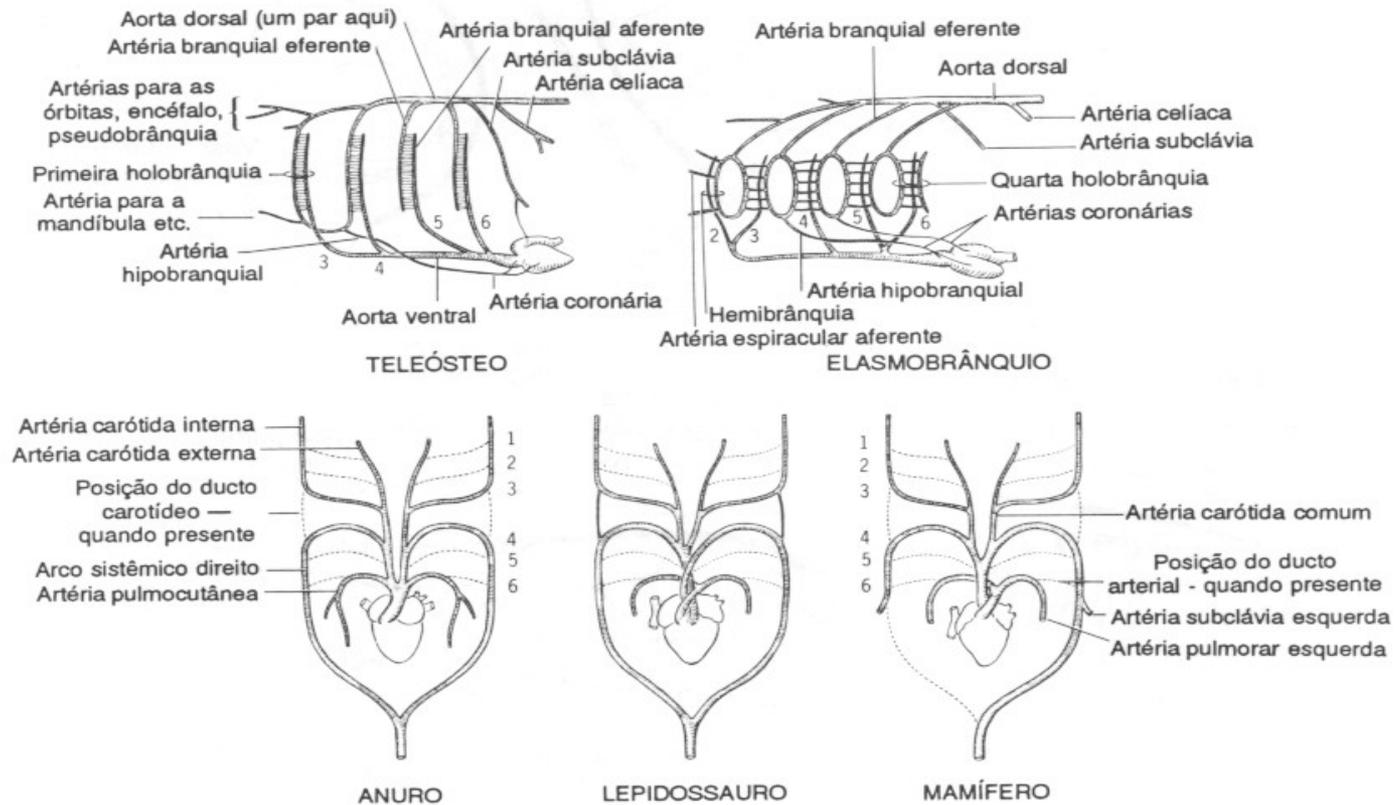
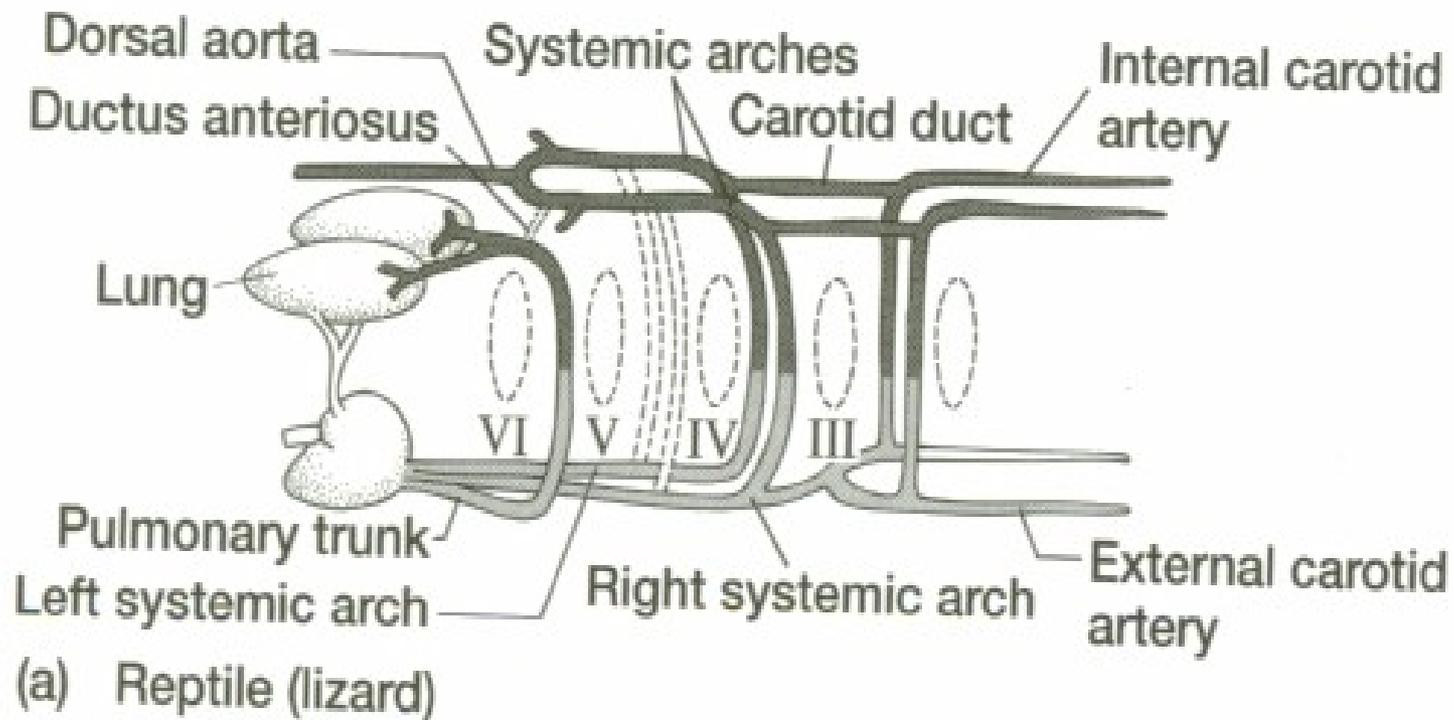
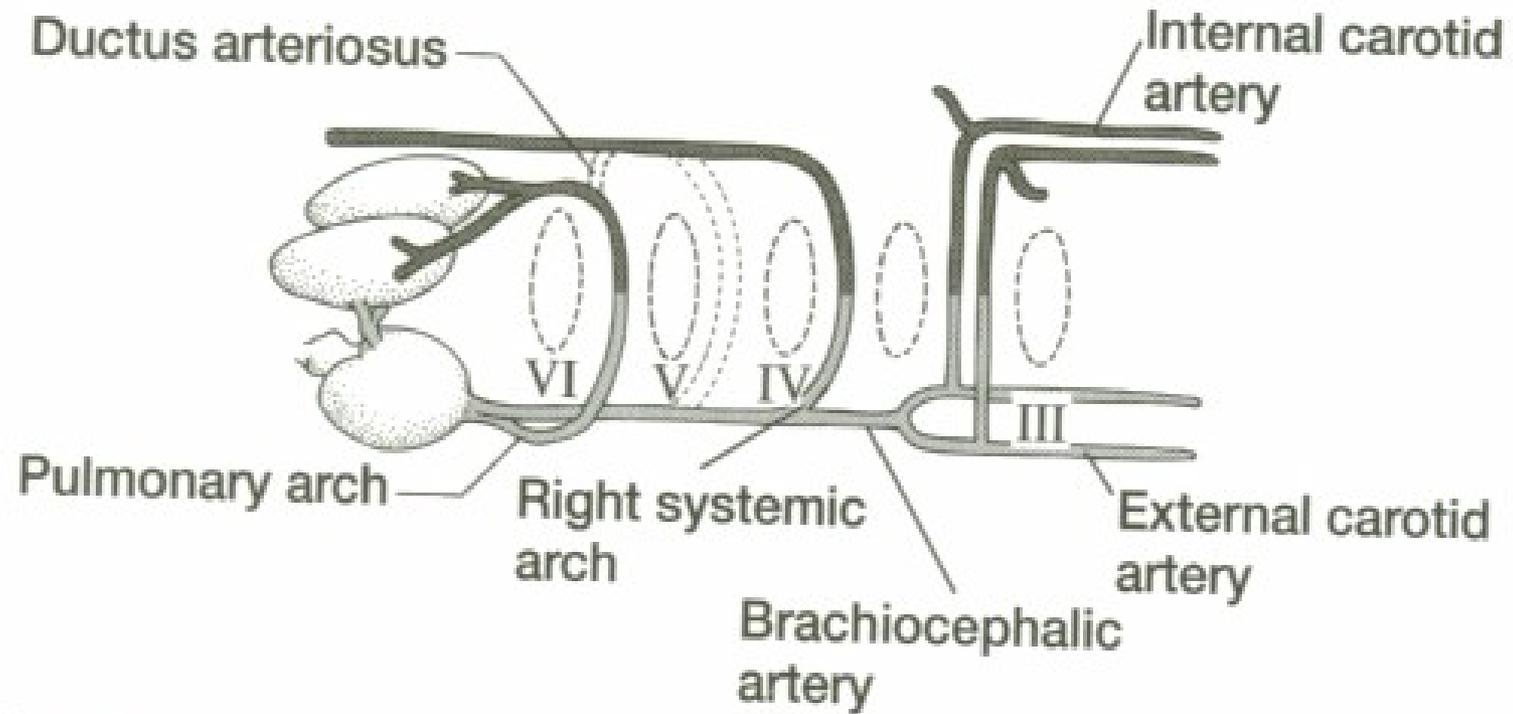


FIGURA 14-13 DERIVADOS DOS ARCOS AÓRTICOS E VASOS RELACIONADOS DE VERTEBRADOS REPRESENTATIVOS. Semi-esquemático. Vistas laterais esquerdas (em cima) e vistas ventrais (embaixo). Os arcos aórticos estão numerados.

Arcos aórticos e vasos

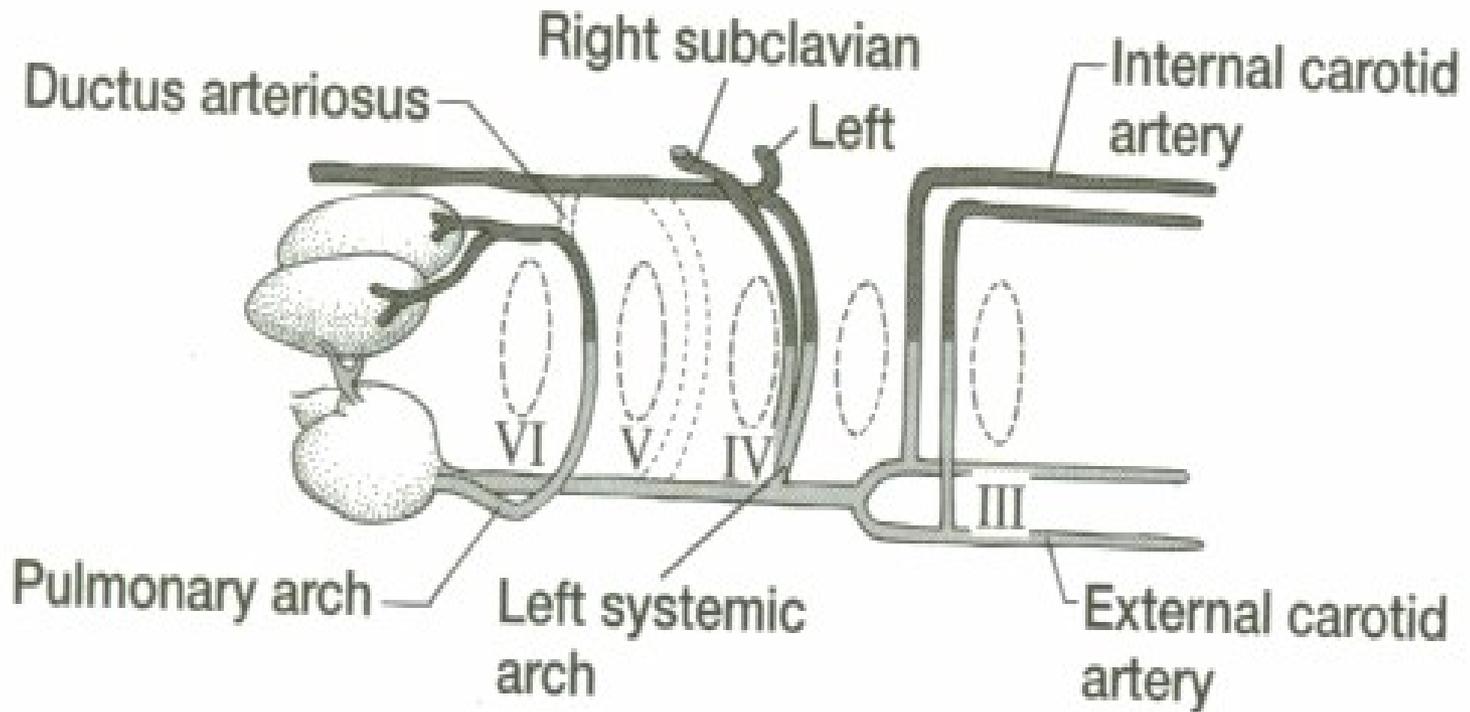


Arcos aórticos e vasos



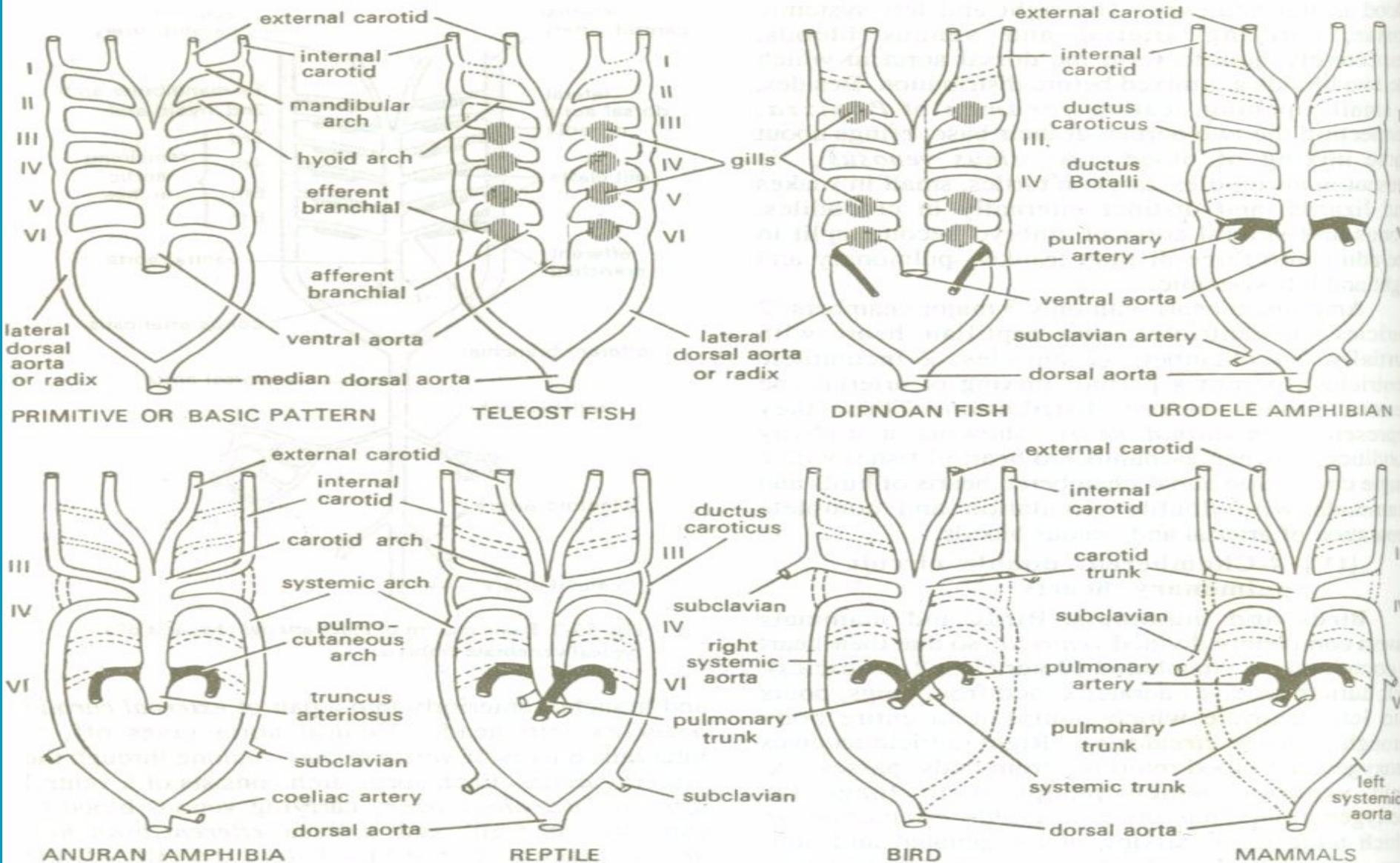
(b) Bird

Arcos aórticos e vasos



(c) Mammal

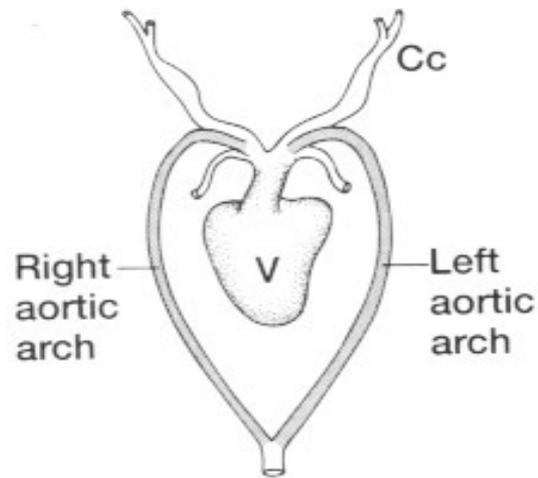
Arcos aórticos e vasos



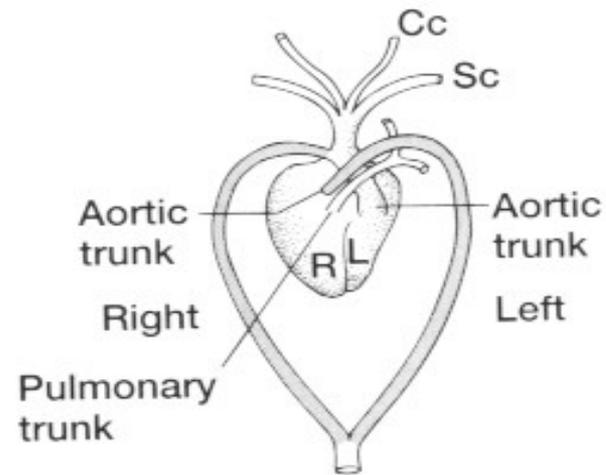
Arcos aórticos dos vertebrados

| Arco aórtico | Arco visceral | Lampréias | Feiticeiras | Elasmobrânquios | Teleósteos | Crossopterígio | Dipnóicos | Tetrápodos |
|--------------|----------------|-----------|-------------|-----------------|------------|----------------|-----------------------|--|
| I | Mandibular | ----- | ----- | ----- | (I) | ----- | ----- | ----- |
| II | Hioideo | II | ----- | II | ----- | II (vestigial) | ----- | ----- |
| III | Arco branquial | III | ----- | III | III | III | III | Carotídeo (carótidas) |
| IV | Arco branquial | IV | IV | IV | IV | IV | IV | Sistêmico (aorta dorsal) |
| V | Arco branquial | V | V | V | V | V | V | (artéria pulmonar) (quando não precede o VI) |
| VI | Arco branquial | VI | VI | VI | VI | VI | (VI) artéria pulmonar | Pulmonar (artéria pulmonar) |
| VII | Arco branquial | VII | VII | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| VIII | Arco branquial | VIII | VIII | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| IX | Arco branquial | ----- | IX | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |

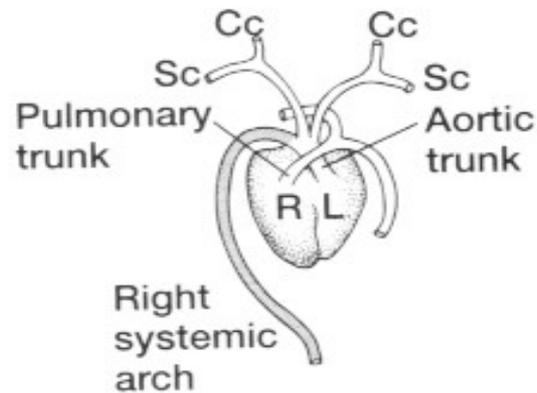
Arcos sistêmicos



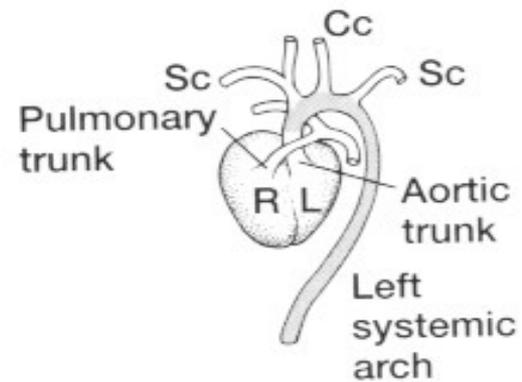
(a) Anuran



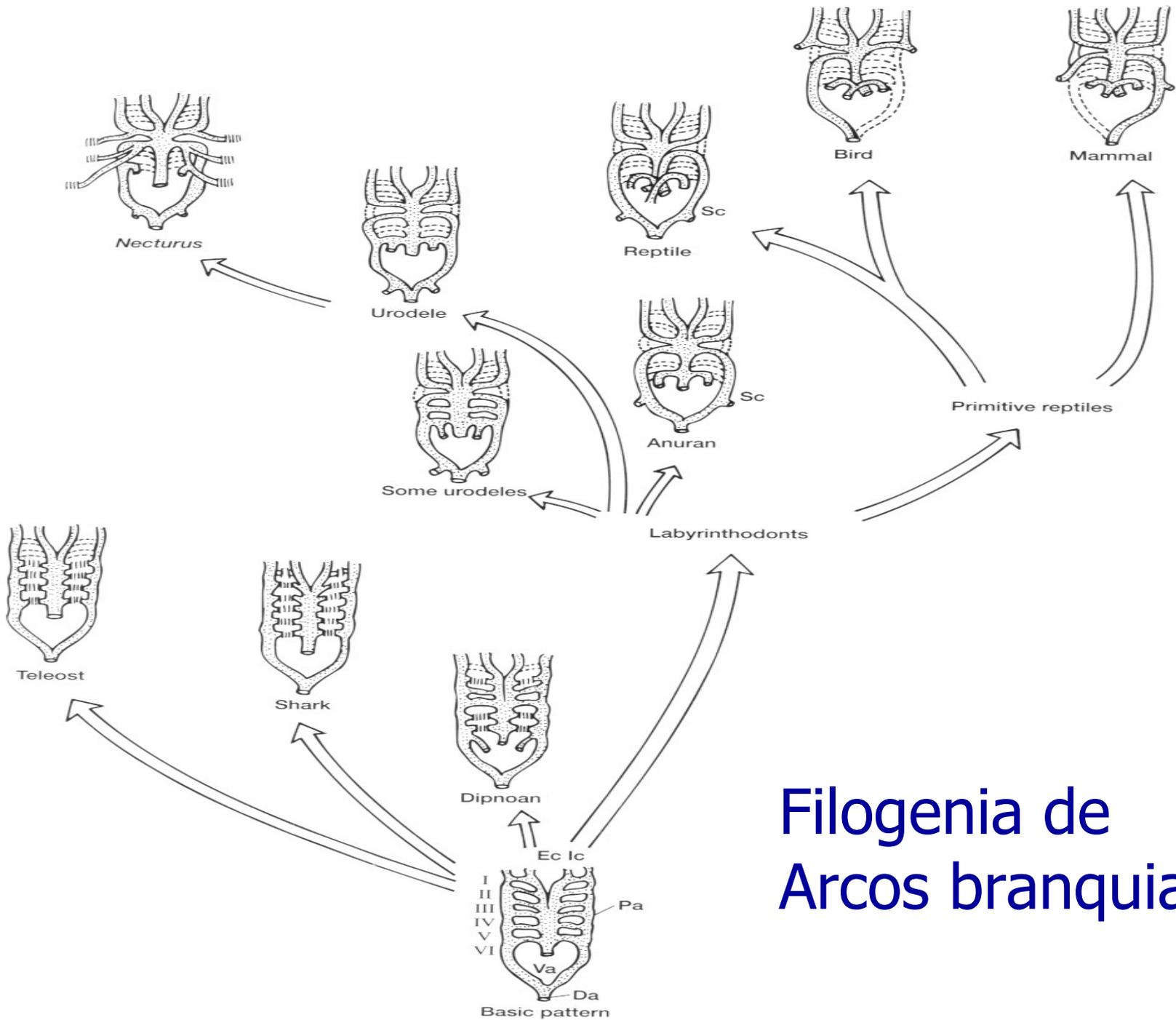
(b) Reptile



(c) Bird



(d) Mammal



Filogenia de Arcos branquiais

Exercício

- Faça uma tabela comparativa incluindo os seguintes dados dos grupos de vertebrados – agnata, elasmobrânquios, teleósteos, dipnóicos, anfíbios (anuros e urodelos), quelônios, crocodilianos, aves e mamíferos.
 1. Tipo de circulação
 2. Número de arcos aórticos no adulto
 3. Anatomia do coração
 4. Sistema porta
 5. Forma de respiração
 6. Separação de sangue venoso e arterial