

## SISTEMA CIRCULATORIO

Aula 3

# Evolução do Coração

DIÁSTOLE VENTRICULAR

**Tiana Kohlsdorf**

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohlsdorf

### Vertebrados: co-evolução das morfologias do coração e dos vasos conectores

Fig. 10.10. Schematic representation of the heart and connecting vessels in craniote taxa. Modified after Wehner and Gehring (1995).

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohlsdorf

### ESTRUTURAS BOMBEADORAS

Valva de uma via, Parede muscular, Valva de uma via, Fluxo, Veia, Arteria, Pressão da contração

Músculo esquelético, Vaso sanguíneo, Fluxo, Valva de uma via, Valva de uma via

Onda de contração, Vaso sanguíneo contraído ou coração peristáltico, Fluxo

**Câmaras contráteis e válvulas**

- aumentam a pressão sanguínea em uma câmara fechada por contração das suas paredes musculares

**Musculatura extrínseca**

- contrações de músculos esqueléticos comprimem e expandem um vaso sanguíneo

**Corações peristálticos**

- os vasos produzem ondas de contração rítmica que impulsionam o líquido em uma direção

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohlsdorf

### ESTRUTURAS BOMBEADORAS

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohlsdorf

### ESTRUTURAS BOMBEADORAS

⇨ Deuterostomia

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohlsdorf

### Amphioxus

M.S. Simeon-Costa et al. / Developmental Biology 277 (2005) 1-15

Sinus venosus in the amphioxus is not a cardiac chamber:

Sinus venosus in the amphioxus is a cardiac chamber:

1. Loss of auxiliary pumps
2. Vertebrate-like circulatory pattern
3. Closed circulation
4. Regression of main pump

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohlsdorf

**Amphioxus**

⇒ Controvérsia na definição do sistema como *fechado* ou *aberto*

- veias dorsais e ventrais
- canais vasculares agrupados em torno do intestino e faringe
- múltiplas veias contráteis
- ausência de cobertura endotelial contínua

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohlendorf

**Amphioxus**

⇒ condição ancestral de Craniata?

**Novidades evolutivas no sistema circulatório de Craniata:**

- câmaras e válvulas
- septos
- epicárdio e endocárdio
- circulação coronária
- camada endotelial uniforme
- sistema elétrico (controle do bombeamento)

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohlendorf

**Amphioxus**

⇒ condição ancestral de Craniata?

**Novidades evolutivas no sistema circulatório de Craniata:**

- câmaras e válvulas
- septos
- epicárdio e endocárdio
- circulação coronária
- camada endotelial uniforme
- sistema elétrico (controle do bombeamento)



Sedentarismo  
Ausência de nadadeiras  
Ausência de um sistema circulatório centralizado  
Ausência de musculatura estriada nas bombas  
Ausência dos padrões de expressão de genes observados no desenvolvimento do ♥ de urocordados (ex. *Raldh2*)

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohlendorf

**Anfioxo**

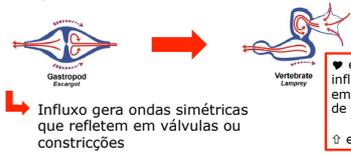
⇒ a definição do sino-venoso (SV) de anfioxo como uma câmara cardíaca é controversa  
⇒ a homologia entre as múltiplas bombas no anfioxo e o coração dos vertebrados não é facilmente determinada

**Sistema Circulatório em Anfioxo:**

anatomicamente derivado, plano corpóreo secundariamente simplificado ⇒ diversas características circulatórias são rudimentares

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohlendorf

condição ancestral de craniata

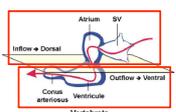


Influxo gera ondas simétricas que refletem em válvulas ou constricções

♥ em 'S', compartimentos de influxo localizados dorsalmente em relação aos compartimentos de efluxo  
↑ eficiência

**Coração de Craniata**

conjunto de segmentos associados a duas funções hemodinâmicas: **entrada** de sangue (**influxo**) e **bombeamento** de sangue (**efluxo**)



dicotomia anatômica, embrionária e genética

- ondas assimétricas direcionadas a aberturas atrio-ventriculares
- eliminação dos efeitos de reversão do influxo

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohlendorf

**Craniata**

⇒ a evolução de câmaras cardíacas não teria ocorrido como uma adição individualizada de unidades, mas sim em processos de divisão de uma bomba peristáltica única

bomba circulatória

- unidades de influxo (dorsais)
- unidades de efluxo (ventrais)

A aparente variedade morfológica de ♥ de vertebrados seria uma repetição monotônica de unidades de influxo e efluxo.

Simões-Costa et al. 2005



**Qual mecanismo permite a evolução desses padrões de segmentação?**

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohlendorf

**Sinalização por Ácido Retinóico durante o desenvolvimento embrionário seria um mecanismo potencial de padronização dos segmentos cardíacos**

Disposição dorso/ventral obscura (torção do átrio e SV)

<http://www.youtube.com/watch?v=K00oFALwQY>

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohlendorf

**A evolução de diversidade em estruturas cardíacas ocorreu em associação com alterações em fatores de transcrição expressos durante o desenvolvimento do** ♥

Sequential chamber activation	Tetrapods				
	Fish	Amphibians	Reptiles	Birds	Mammals
Atrium and spongy ventricle	Adult	Adult	Adult	Embryonic	Embryonic
Myocardial AVC	Adult	Adult	Adult	Embryonic	Embryonic
Partial atrial septation	-	-	Embryonic	Embryonic	Embryonic
Full atrial septation	-	Amniotes	Adult	Adult	Adult
Partial ventricular septation	-	-	Adult	Embryonic	Embryonic
Full ventricular septation	-	-	Crocodyles	Adult	Adult
Compact walls and IVS	-	-	-	Adult	Adult
Cardiac conduction system	-	-	-	Adult	Adult

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohlendorf

**Plano Circulatório dos Vertebrados**

8. Jones et al., *Evolutionary Biochemistry* 1991, 10(1): 103-106

**HEART RATE (beats per minute)**

**ARTERIAL BLOOD PRESSURE (mmHg)**

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohlendorf

**Plano Circulatório dos Vertebrados**

a diferenciação das pressões pulmonares e sistêmicas em vertebrados parece ter evoluído sob forte influência tanto da **filogenia** (eventos cladogenéticos) quanto em associação com o **metabolismo energético**

**2 séries de câmaras cardíacas**

**ventrículo não-dividido (ou outro mecanismo de desvio de sangue)**

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohlendorf

**♥<sub>s</sub> de vertebrados**

Circulação → Sistêmica / Pulmonar

**♥<sub>s</sub> completamente divididos:**

- Benefícios:
  - separação completa do sangue oxigenado e com menor concentração de O<sub>2</sub>
  - pressões diferentes na circulação pulmonar e na circulação sistêmica
- Custos:
  - débito cardíaco equivalente nas duas circulações
  - ⇒ O sangue tem que passar pelos pulmões

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohlendorf

**Agnatha**

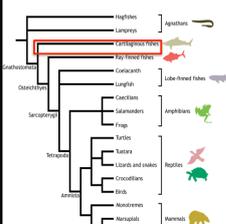
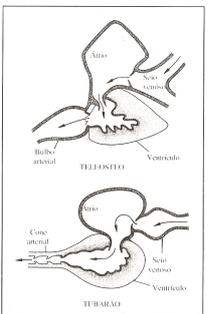
**corações acessórios - associados à musculatura esquelética extrínseca**

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohlendorf

### Condriichthyes



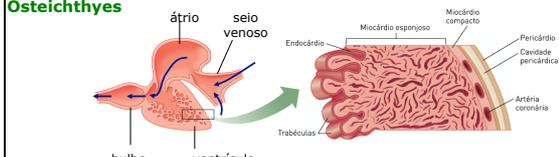
- ventrículo envia sangue a um **cone arterial** musculoso e com capacidade contrátil

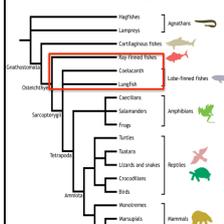
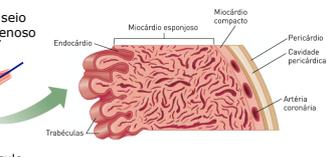
- coração contido em **pericárdio** com **baixa complacência** – favorece enchimento do átrio durante a contração do ventrículo

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohladorf

### Osteichthyes

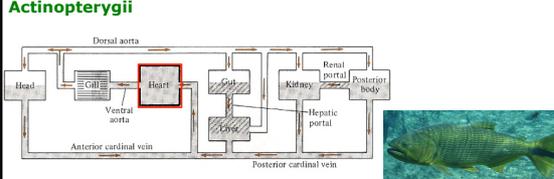


- coração de 4 câmaras arranjadas em série, todas com capacidade contrátil (exceto o **bulbo arterial** que é elástico)

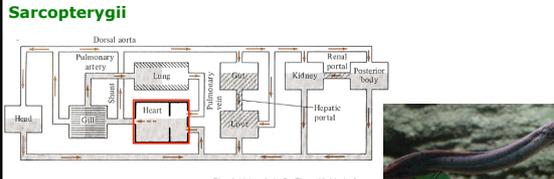



Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohladorf

### Actinopterygii

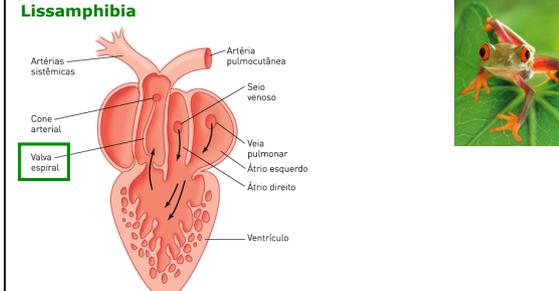


### Sarcopterygii



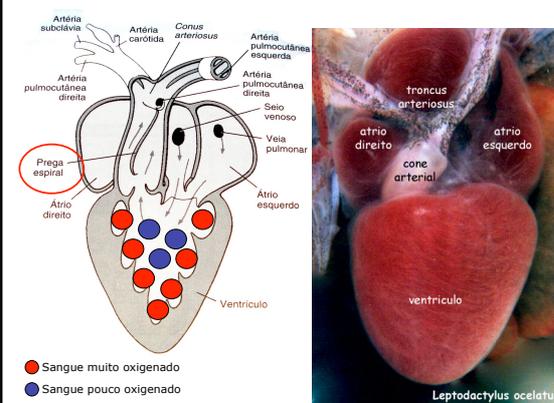
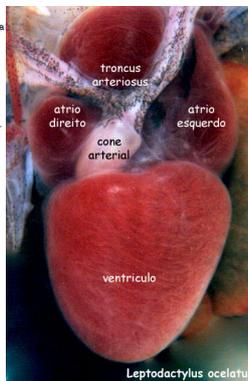
Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohladorf

### Lissamphibia



- coração com três câmaras (2 átrios e 1 ventrículo)
- na sístole ventricular o sangue é enviado a um cone arterial onde está a **válvula espiral** que, pelo arranjo anômico, permite certa separação de sangue da circulação sistêmica e do sangue da circulação pulmonar

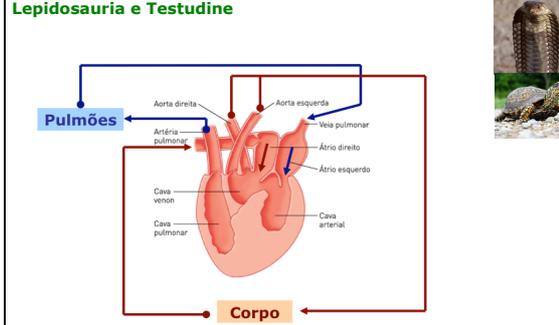
Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohladorf

- Sangue muito oxigenado
- Sangue pouco oxigenado

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohladorf

### Lepidosauria e Testudine



- Coração com 5 câmaras: 2 átrios e 1 ventrículo dividido em três compartimentos interconectados por paredes musculares ou septos

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohladorf

### Lepidosauria e Testudine

**diástole ventricular**

**sístole ventricular**

• apesar de possuírem um ventrículo que morfologicamente não é separado, nestes animais há uma **separação funcional** entre o sangue mais oxigenado e o menos oxigenado

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohladorf

### Crocodylia

• o coração de crocilianos é dividido em 4 câmaras onde não há mistura de sangue que chega dos pulmões com o sangue que chega da circulação sistêmica

• contudo, eles possuem o **Forâm de Paniza** que permite a comunicação entre os sangues que deixam os dois ventrículos

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohladorf

### Aves

- dividido em 4 câmaras ⇒ não há mistura de sangue que chega dos pulmões com o sangue que chega da circulação sistêmica
- funcionalmente equivalente ao de mamíferos - ou correspondente ao de crocodilos mas com fechamento do forâm de Panizza

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohladorf

### Mammalia

**SEPARAÇÃO COMPLETA DA CIRCULAÇÃO SISTÊMICA E PULMONAR**

- o sangue flui do ventrículo esquerdo para as artérias porque há **diferença de pressão**
- oscilação entre a pressão **sistólica** e **diastólica** é diminuída à medida em que o sangue invade as pequenas arteríolas

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohladorf

### Mammalia

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohladorf

### Mammalia

• o lado esquerdo do coração (que supre o circuito sistêmico) gera pressões maiores que o lado direito (que supre o circuito pulmonar)

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohladorf

**Mammalia**

permite o deslizamento das camadas que formam o pericárdio

membrana que protege o músculo cardíaco

Miocárdio

Pericárdio

Líquido pericárdico na cavidade pericárdica

Artéria coronária

Pericárdio parietal

Epicárdio (pericárdio visceral)

Endocárdio

Tecido conectivo do endotélio

- $\heartsuit$  de 4 câmaras que não permite a mistura de sangue *rico* em  $\text{CO}_2$  (com menor teor de  $\text{O}_2$ ) com sangue com maior teor de  $\text{O}_2$

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohlendorf

**Pericárdio**

↳ Membrana que reveste o coração:

- Camada interna serosa (em mamíferos, facilita movimento do coração) e camada externa fibrosa

pericardio

- Complacente - Delgado e flexível (mamíferos e teleósteos)
- Não-complacente - Rígido (elasmobrânquios e peixes pulmonados)

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohlendorf

**Circulação Coronariana**

- suprimento para o  $\heartsuit$  de nutrientes e  $\text{O}_2$
- $\uparrow$  atividade cardíaca -  $\uparrow$  metabolismo -  $\uparrow$  fluxo coronariano

Hipoxia miocárdica

Adenosina - ATP

Dilatação dos vasos coronários

Fluxo coronariano

metabolismo

**o sangue bombeado pelo próprio coração fornece nutrientes para a camada interna do mesmo; circulação coronariana ainda é necessária para fornecer  $\text{O}_2$  e outros nutrientes para a região externa da parede cardíaca.**

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohlendorf

**PRÓXIMA AULA TEÓRICA:**

**Regulação dos Batimentos Cardíacos**

Circulatório - Aula 3 - Tiana Kohlendorf