

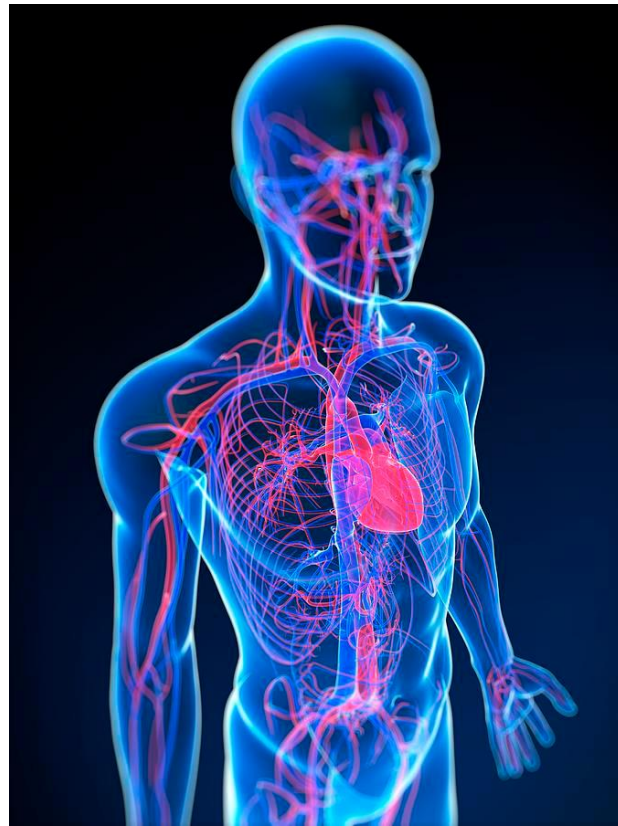
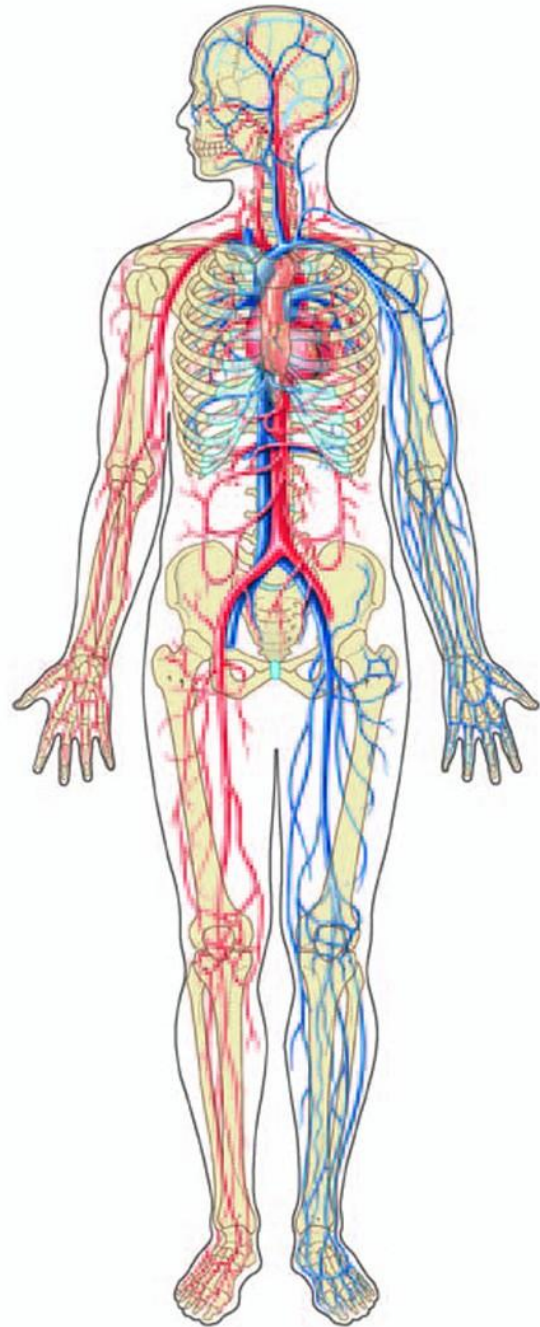
Sistemas Circulatórios

[2]

Assuntos

- Vista geral do S.C. humano, elementos básicos e definições
- A ramificação do sistema
- Papel dos vasos sanguíneos
- A microcirculação

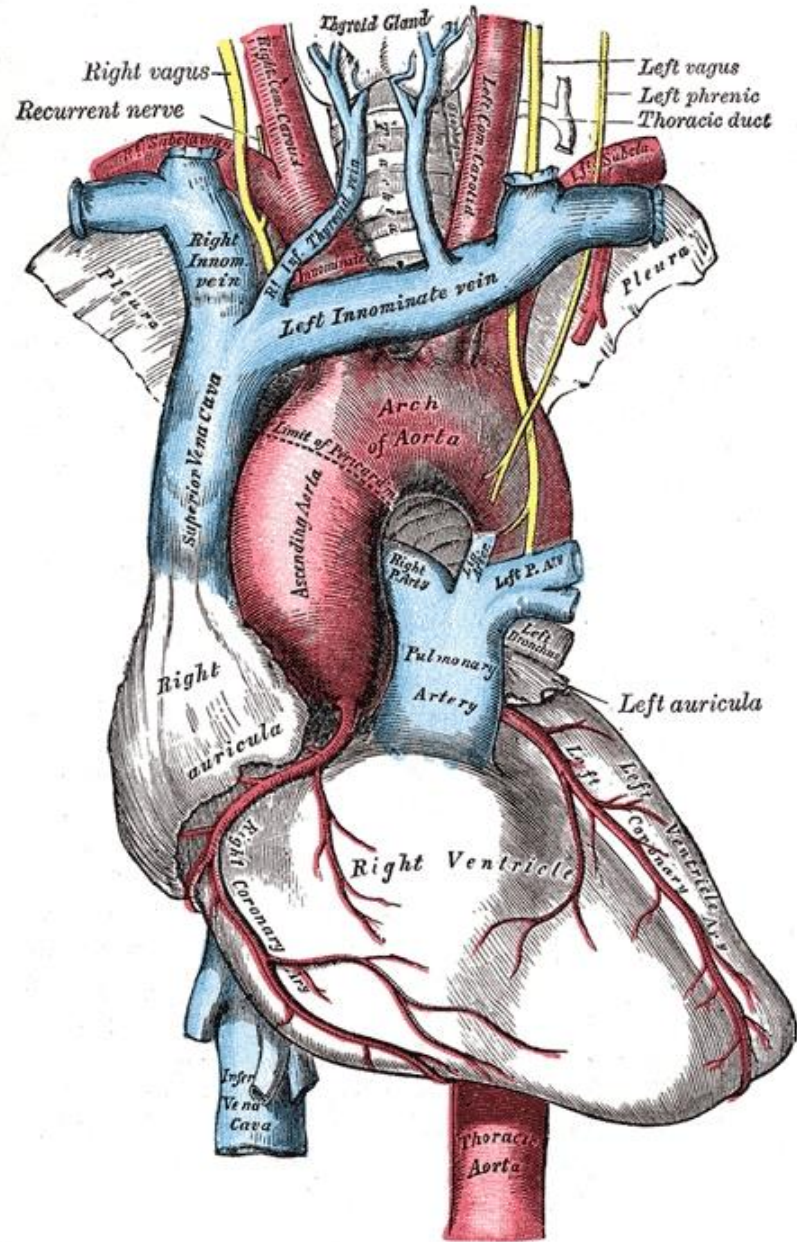
Vista geral do sistema circulatório e coração



<https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/originals/63/91/33/639133bdf885d96cd6dbf0b3b0b2a5d6.jpg>



<https://www.saudebemestar.pt/pt/exame/imagiologia/radiografia-de-torax/>



Elementos básicos

- Um fluido circulante (e.g., sangue, hemolinfa)
- Um sistema de vasos ramificados e em alça fechada[#]
- Ao menos uma estrutura que coloque energia no sistema para movimentação do fluido (e.g., coração)

[#] ATENÇÃO: alça fechada (engenharia) ≠ sistema circulatório fechado (biologia)

Definições e nomenclatura

- Átrio
- Ventrículo
- Miocárdio
- Artéria
- Veia
- Arteríola
- Vênula
- Capilar
- Anastomose / shunt
- Sístole
- Diástole
- Pressão
 - Arterial
 - Venosa central
 - RMS (“média”)
- Sangue arterial / venoso
- Vasodilatação / vasoconstrição
- Taquicardia / bradicardia

Pressão x Pressão

- A pressão relacionada ao fluido NÃO TEM NENHUMA RELAÇÃO com a “pressão de um gás no sangue”
- Como vimos em Difusão, a pressão parcial de um gás na fase líquida é referente à sua CONCENTRAÇÃO
- Assim, 100 torr de pressão arterial média é completamente diferente de 100 torr de P_{aO_2} .

Débito cardíaco

$$Q = f_c \cdot V_S$$

Débito cardíaco

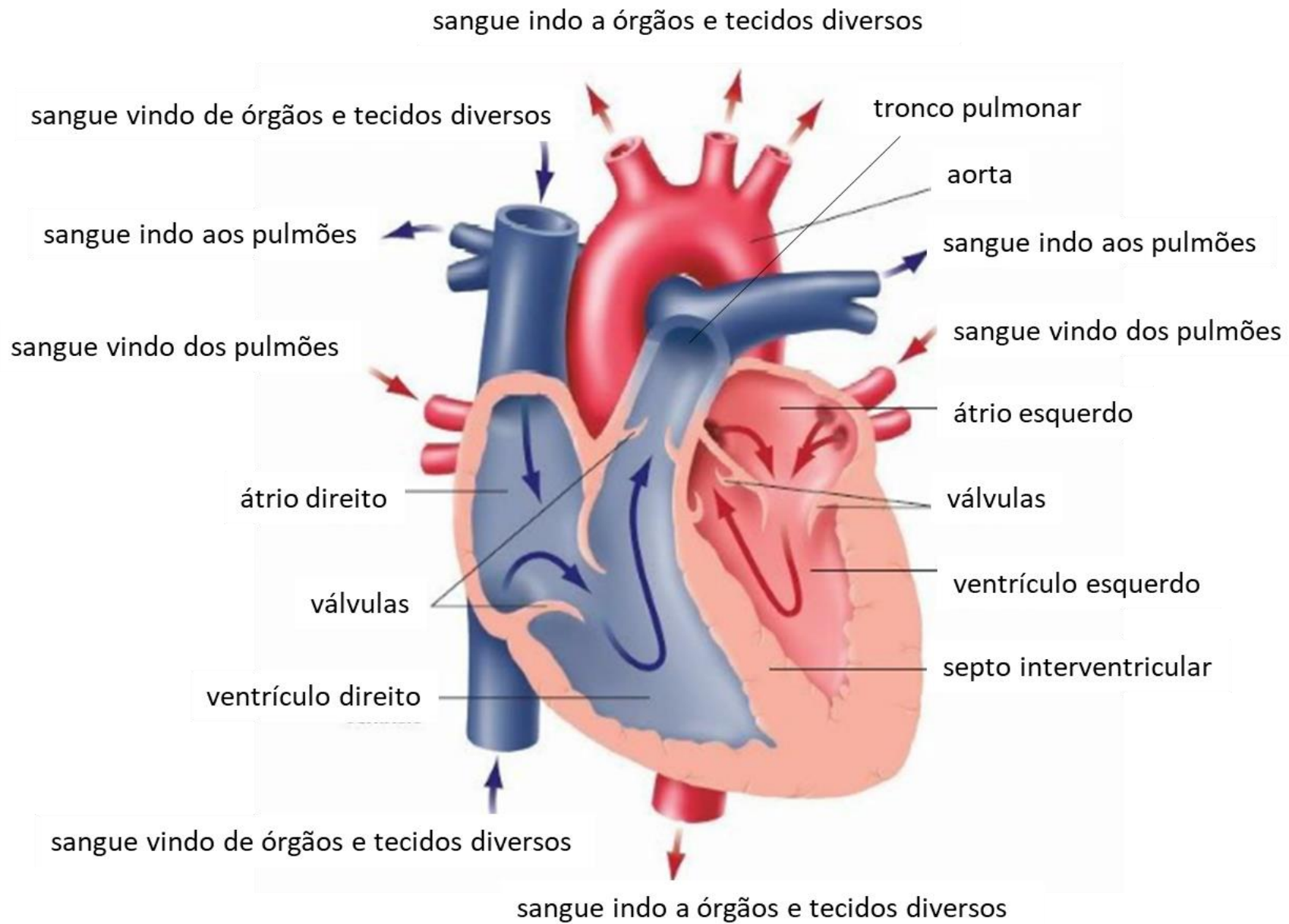
$$Q = f_c \cdot V_S$$

fluxo
[volume tempo⁻¹]

frequência
[tempo⁻¹]

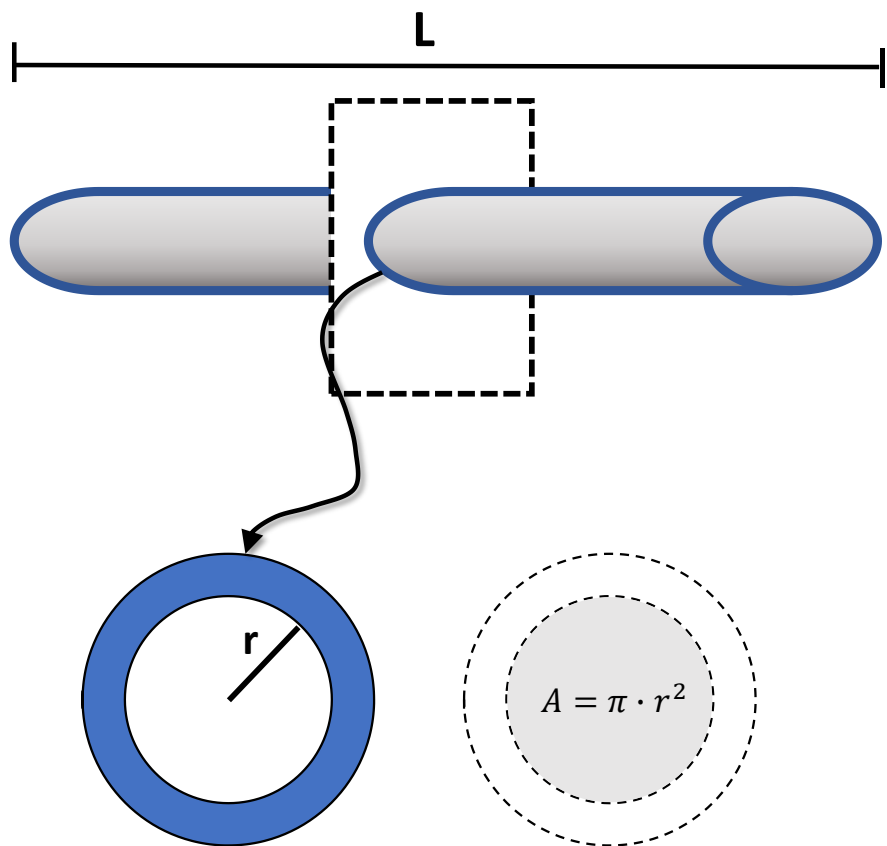
volume sistólico
[volume]

The diagram illustrates the formula for cardiac output (Q) as the product of heart rate (f_c) and stroke volume (V_S). Arrows point from each variable to its corresponding definition and units: Q to 'fluxo [volume tempo⁻¹]', f_c to 'frequência [tempo⁻¹]', and V_S to 'volume sistólico [volume]'.

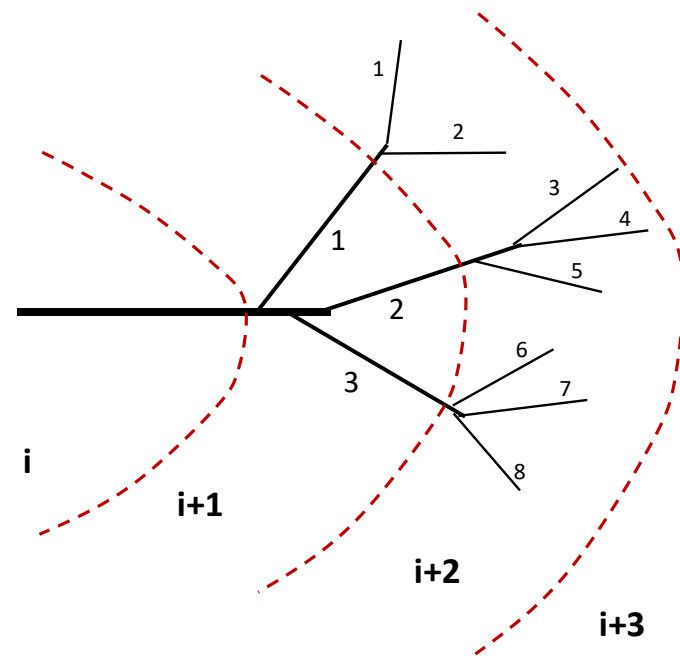


Ramificação

- O sistema vai se ramificando ao longo da árvore arterial
- Há ao redor de 14 a 17 gerações de ramos até atingir os capilares



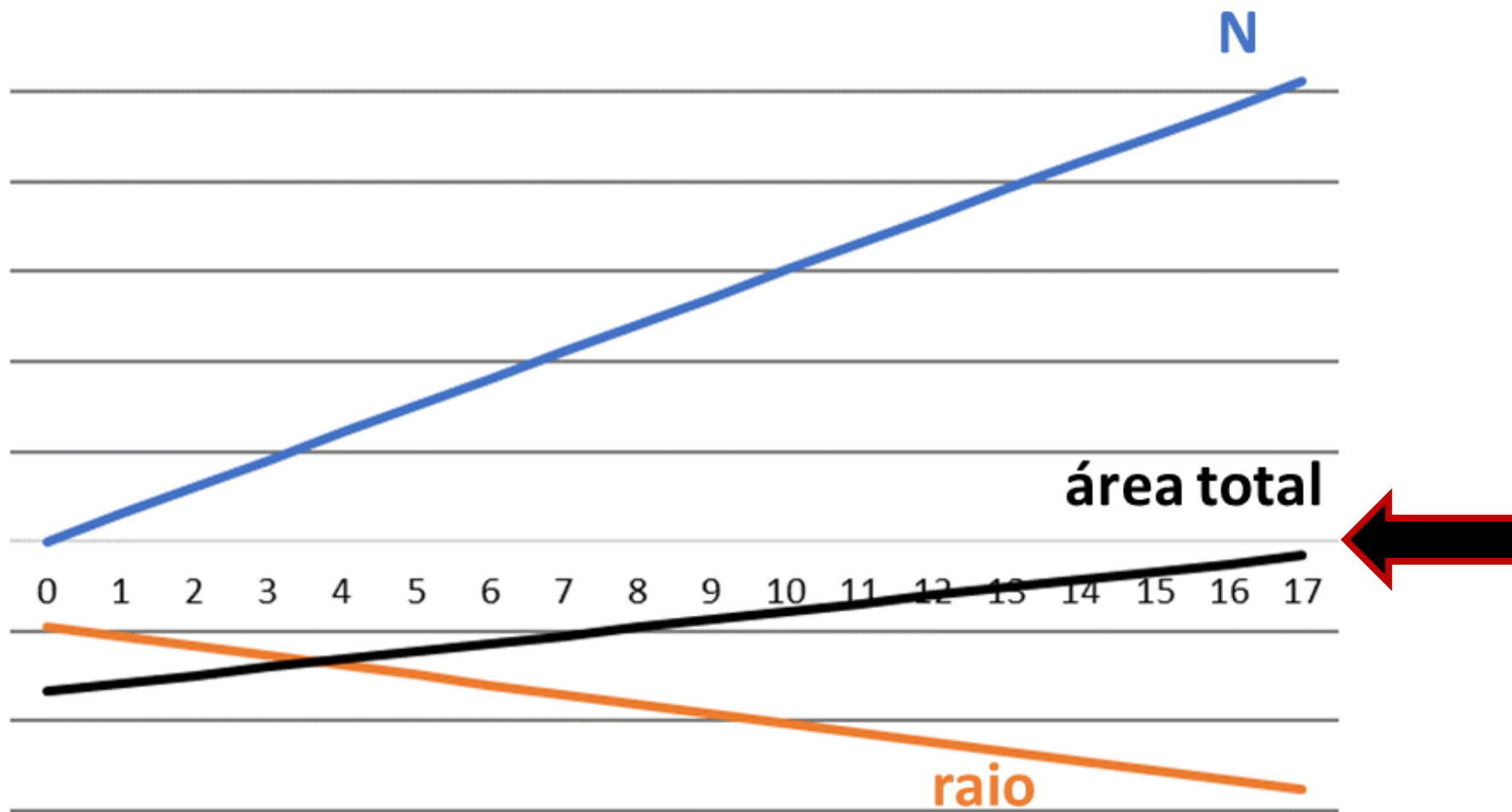
$$A_i = \sum_{j=1}^{N_i} A_{i,j} = \pi \cdot \sum_{j=1}^{N_i} r_{i,j}^2 = N_i \cdot \pi \cdot r_{i,j}^2$$



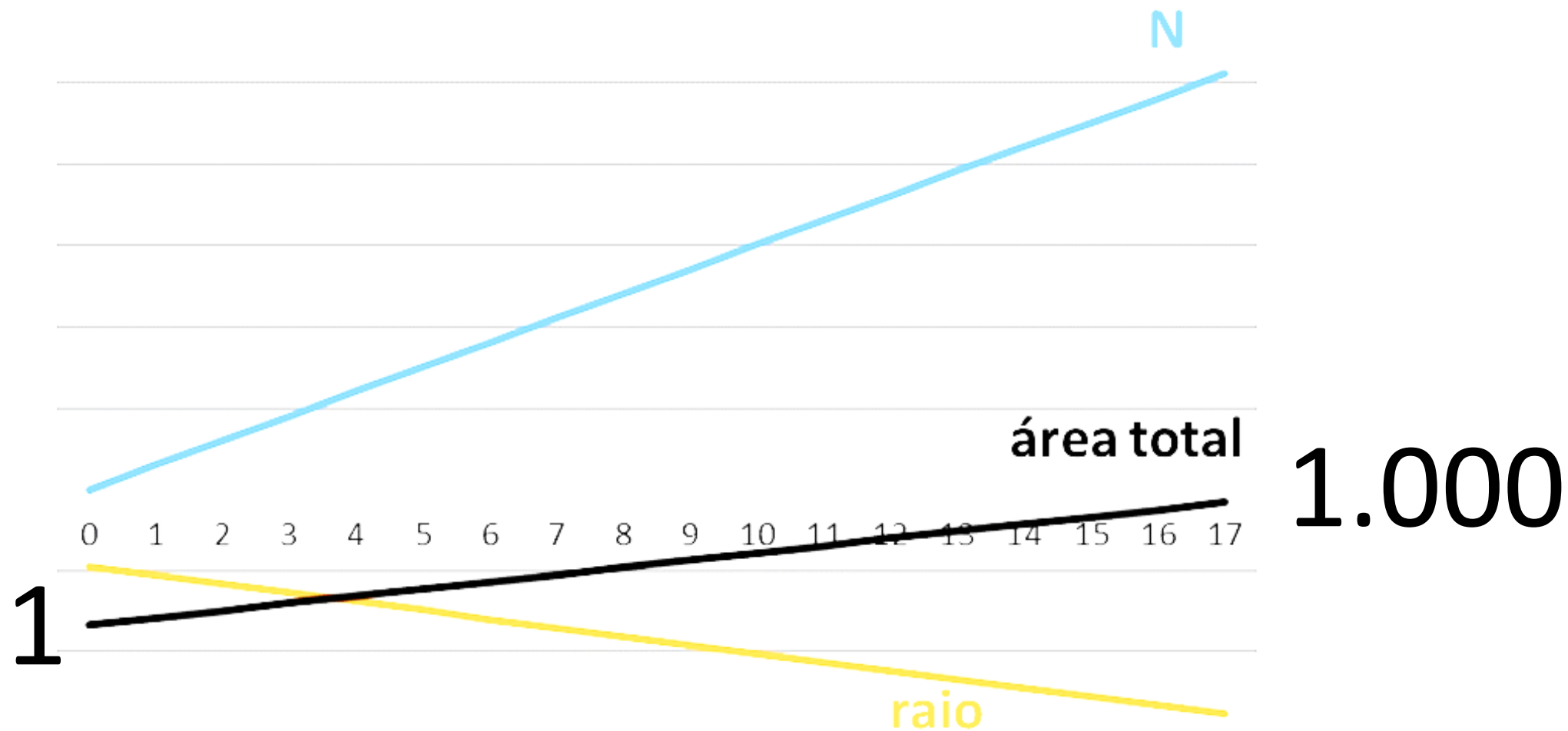
Ocorrem três fenômenos simultâneos com a ramificação do sistema vascular:

1. A cada ramificação, os vasos-filhos (ou seja, os vasos que se originam de um único vaso) possuem um raio menor que o raio do vaso-mãe (em notação: $r_{i+1} < r_i$) – note que, se estivermos no lado venoso, o processo de confluência é o oposto;
2. A área de secção total do nível hierárquico filho aumenta em relação à área de secção total do nível hierárquico mãe (em notação: $A_{i+1} > A_i$ - novamente, para o lado venoso é o oposto);
3. O comprimento dos vasos-filhos é menor que o comprimento do vaso-mãe ($L_{i+1} < L_i$).

Consequência da ramificação



Consequência da ramificação



Consequência da ramificação no sistema em regime-permanente

- **REGIME-PERMANENTE:** tudo que sai do coração deve retornar ao coração

Consequência da ramificação no sistema em regime-permanente

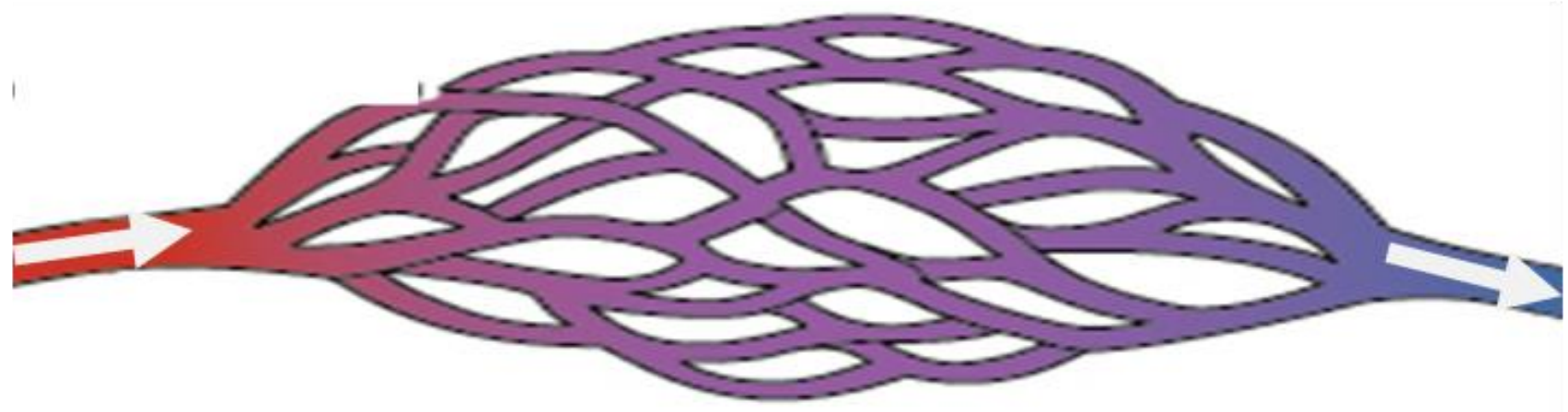
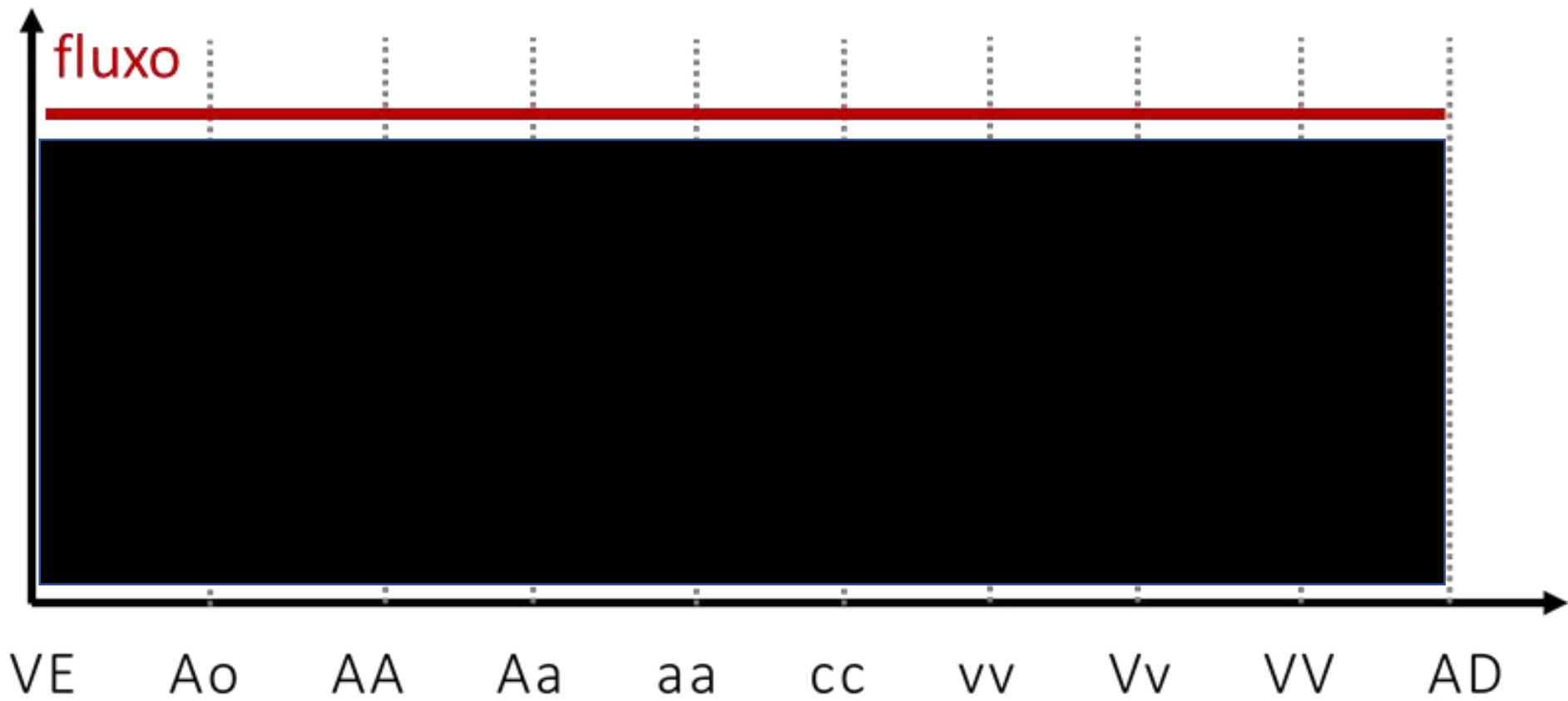
- REGIME-PERMANENTE: tudo que sai do coração deve retornar ao coração
- Logo, em todos os graus hierárquicos do sistema, o fluxo é o mesmo

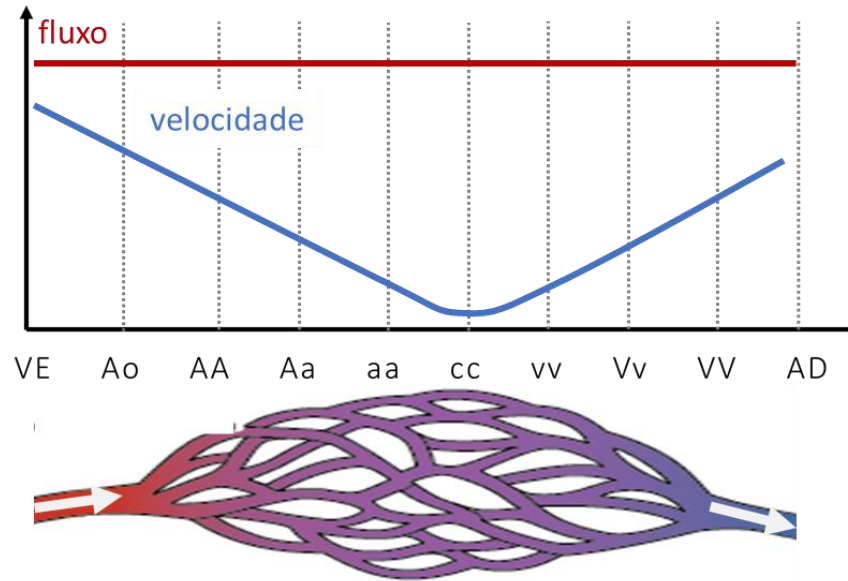
Consequência da ramificação no sistema em regime-permanente

- REGIME-PERMANENTE: tudo que sai do coração deve retornar ao coração
- Logo, em todos os graus hierárquicos do sistema, o fluxo é o mesmo
- Se o fluxo é o mesmo e a área aumenta, o que ocorre com a velocidade do sangue?

$$V = A \cdot x$$

$$\dot{V} = \frac{dV}{dt} = \frac{d(A \cdot x)}{dt} = A \cdot \frac{dx}{dt} = A \cdot u = Q$$

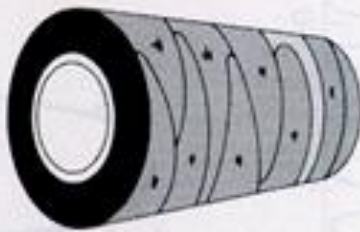










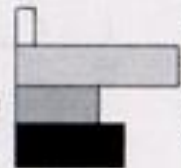




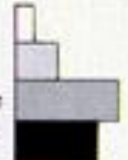




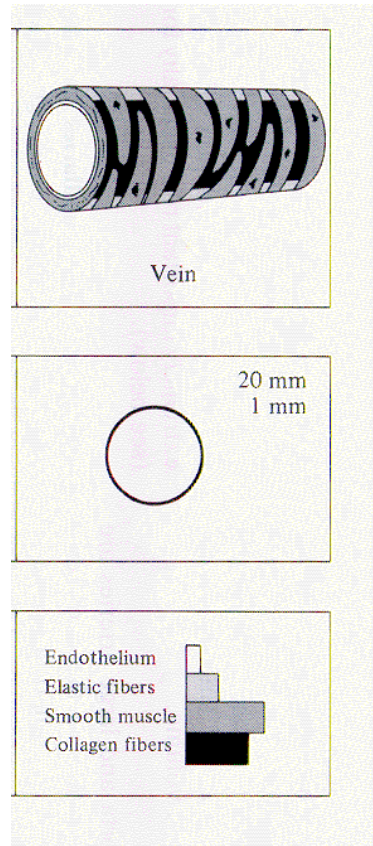
	área de secção (cm ²)	velocidade (cm/s)	fluxo (cm ³ /s)	volume	
				absoluto (ml)	%
aorta	4.5	18.5	83	300/500	14
capilar isolado	3x10 ⁻⁷	0.02	-	-	-
leito capilar (16x10 ⁹ cap)	4500	-	83	300	6
vênulas e veias	3x10 ⁻⁶ / 3	-	83	2700 / 1000	66

Papel dos vasos sanguíneos

- Todo vaso sanguíneo conduz sangue, ou seja, todos os vasos do sistema circulatório cumprem esse papel → “papel local”
- Do ponto de vista global do funcionamento do sistema circulatório, os diferentes vasos desempenham diferentes funções → “papel global”
- Estas diferentes funções dos diferentes vasos estão intimamente relacionadas à localização relativa dos vasos na árvore circulatório e à estrutura histológica das paredes destes vasos.

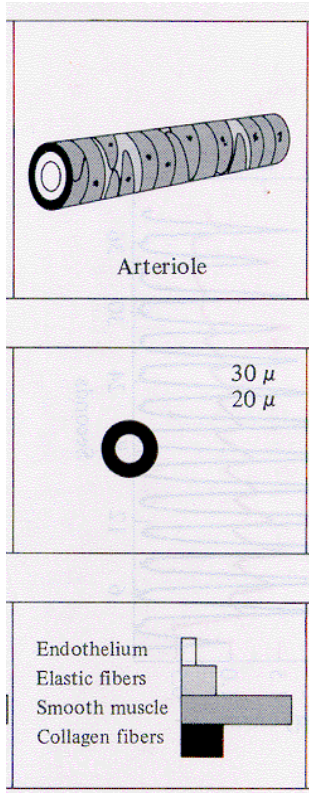
Appearance	 <p>Artery</p>		 <p>Arteriole</p>		 <p>Capillary</p>		 <p>Venule</p>		 <p>Vein</p>			
Dimensions	<p>Vessel diameter 25 mm Thickness 2 mm</p>  <p>Aorta</p>		<p>4 mm 1 mm</p>  <p>Medium sized artery</p>		<p>30 μ 20 μ</p> 		<p>8 μ < 1 μ</p> 		<p>20 μ 2 μ</p> 		<p>20 mm 1 mm</p> 	
Composition of Vessel Wall	<p>Endothelium Elastin fibers Smooth muscle Collagen fibers</p> 		<p>Endothelium Elastic fibers Smooth muscle Collagen fibers</p> 		<p>Endothelium Elastic fibers Smooth muscle Collagen fibers</p> 		<p>Endothelium No muscle or connective tissue</p> 		<p>Endothelium Small amounts of elastin and smooth muscle Collagen fibers</p> 		<p>Endothelium Elastic fibers Smooth muscle Collagen fibers</p> 	

Grandes veias - reserva

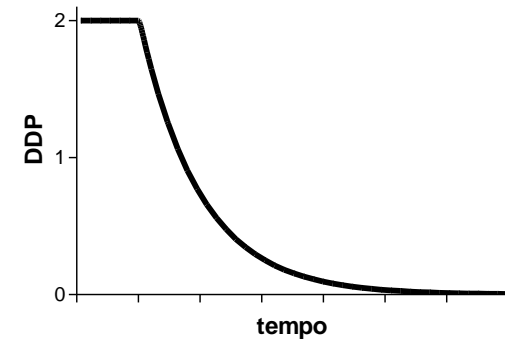
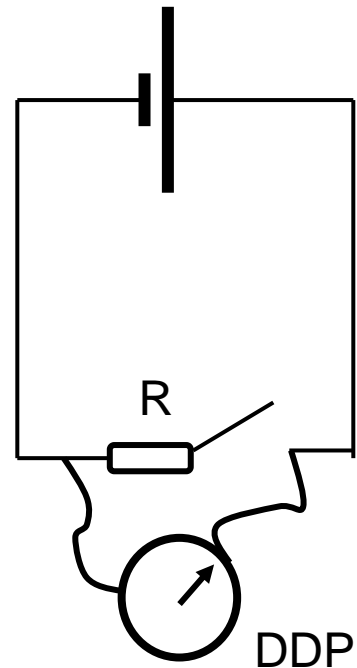


O papel (GLOBAL) das grandes veias é funcionar como um reservatório de volume sanguíneo que pode ser mobilizado se há queda na pressão arterial ou aumento de demanda tecidual.

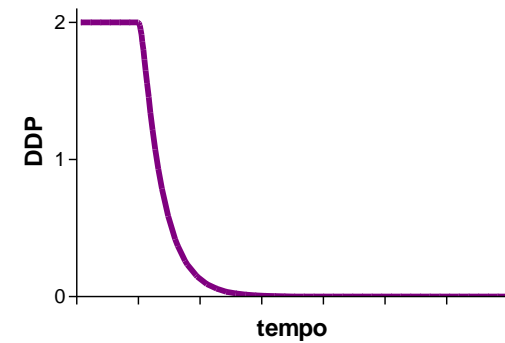
Arteriolas - resistência



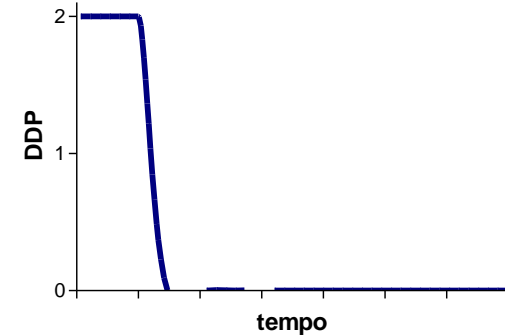
O papel (GLOBAL) das pequenas artérias é o de promover uma resistência periférica de modo a manter a pressão no sistema durante um certo tempo.



R

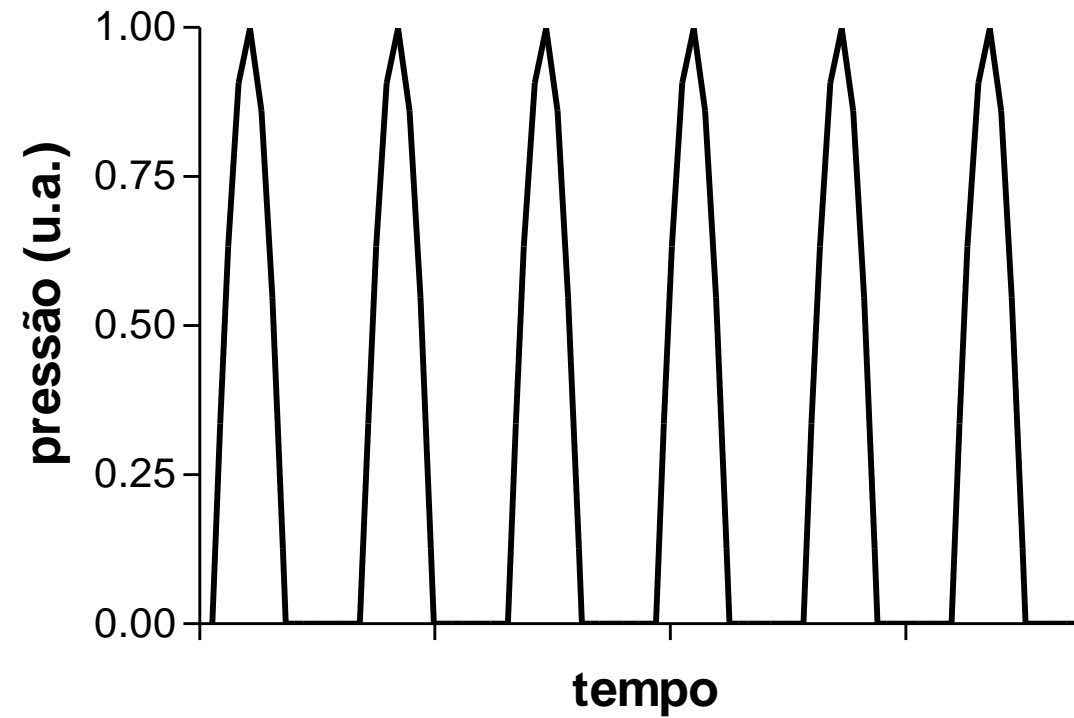
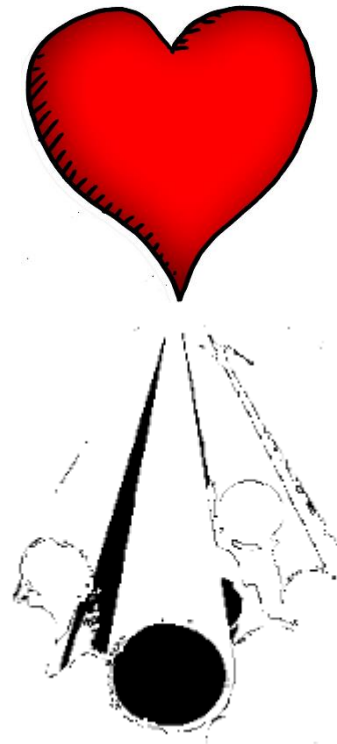


R

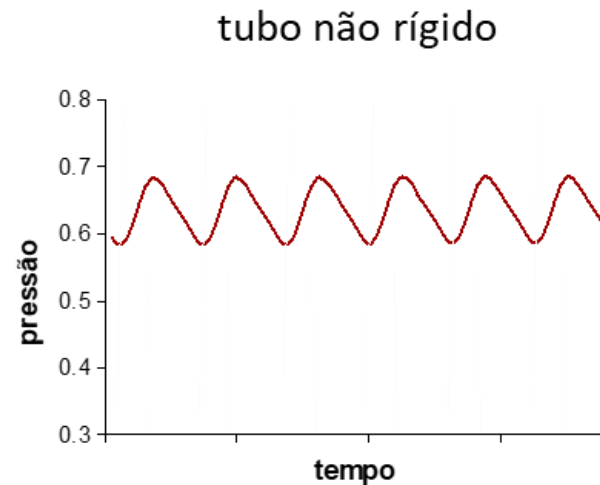
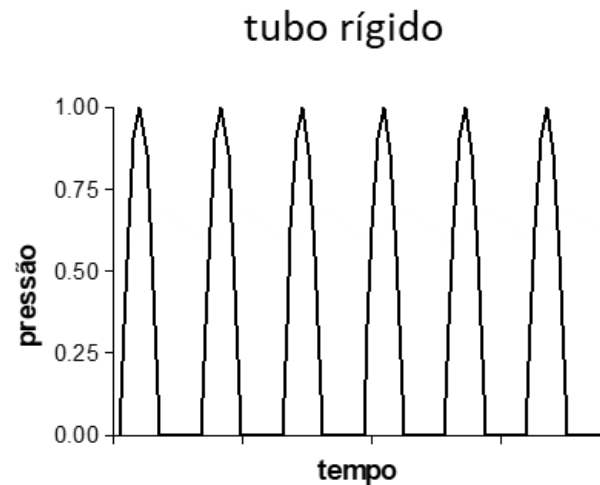


R

Ejeção num tubo rígido

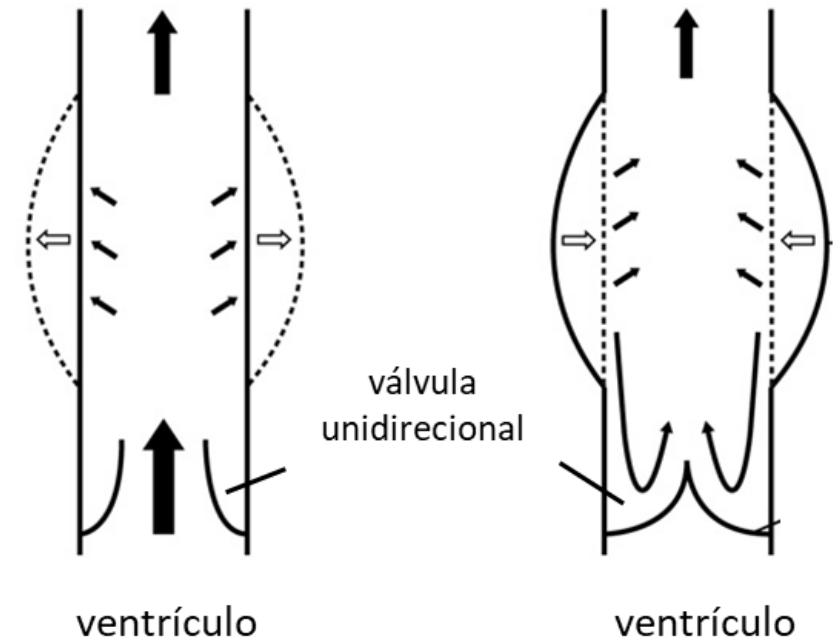


Ejeção num tubo não rígido – efeito windkessel (fole)



acúmulo de energia elástica nas paredes durante a sístole

devolução de energia durante a diástole

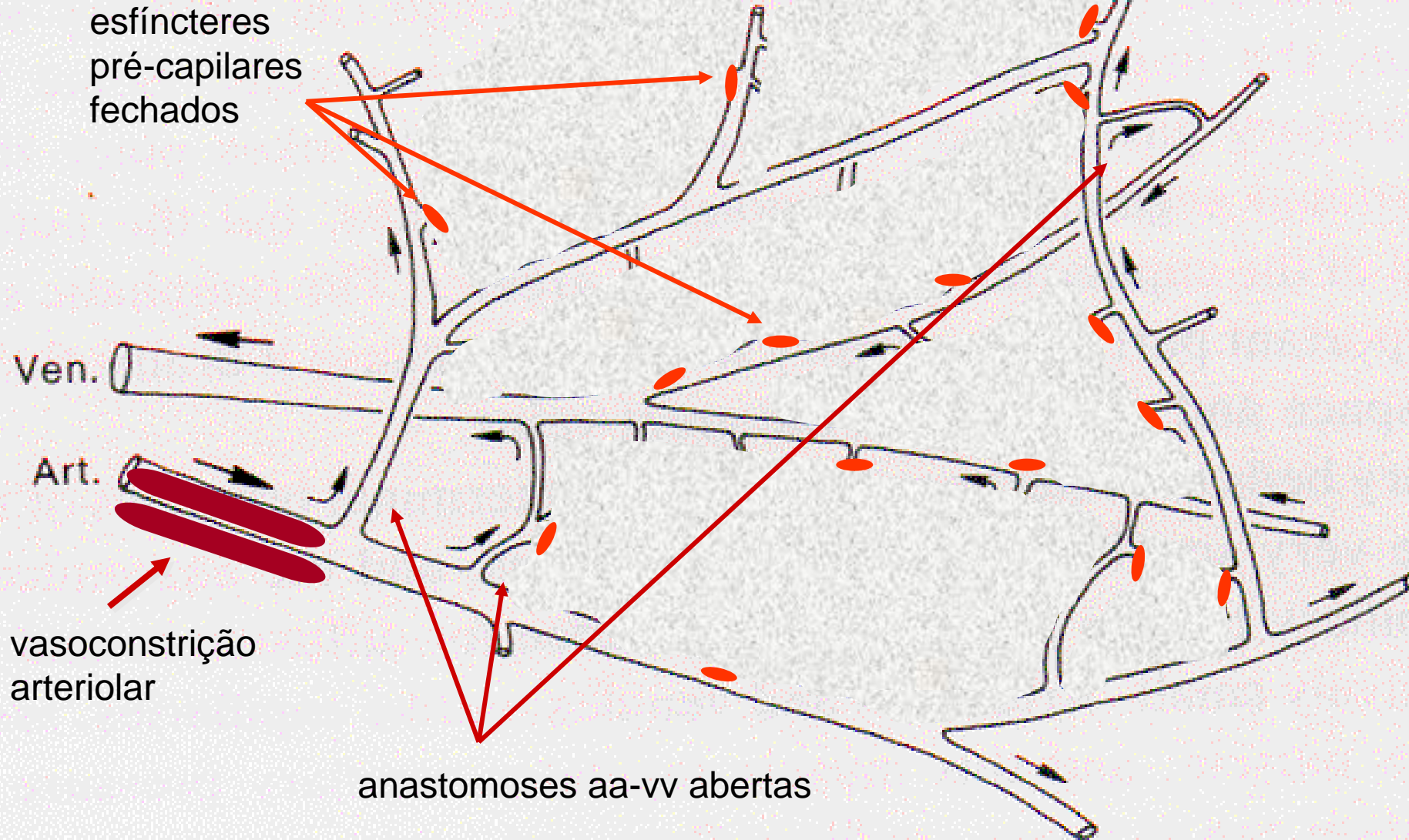


O papel (GLOBAL) das grandes artérias é acumular energia oriunda do trabalho cardíaco durante a sístole e devolver essa energia durante a diástole, mantendo, assim, a pressão arterial para perfusão dos tecidos *mesmo* quando o coração está em sua fase de relaxamento.

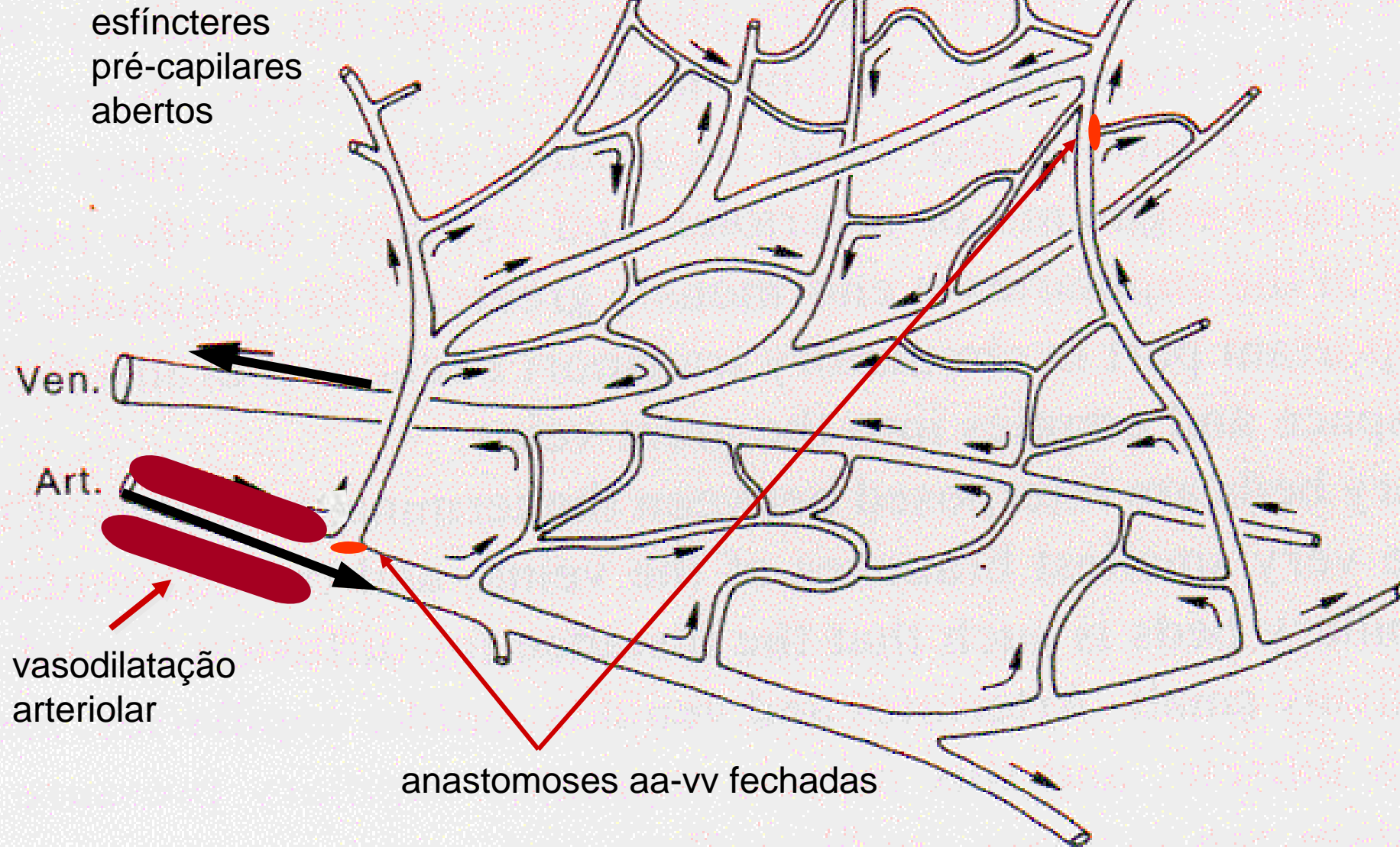
A Microcirculação

- A microcirculação
 - *é o conjunto de arteríolas-capilares-vênulas*
- É onde ocorre o **controle local do fluxo**
 - anastomoses aa-vv
 - esfíncter pré-capilar
 - musculatura lisa na parede das arteríolas

baixa demanda

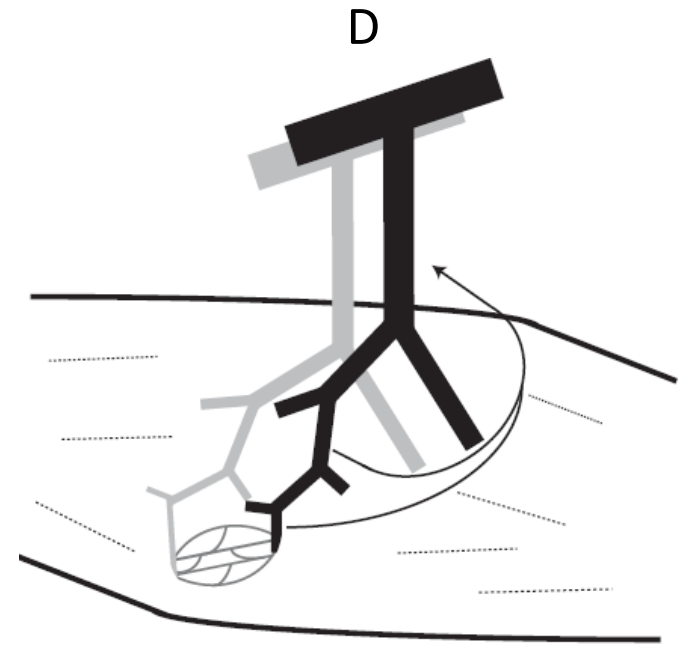
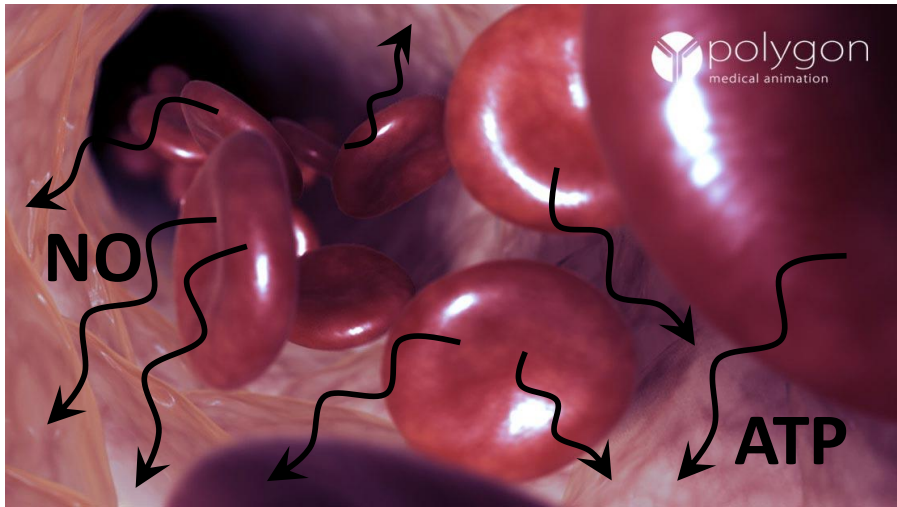
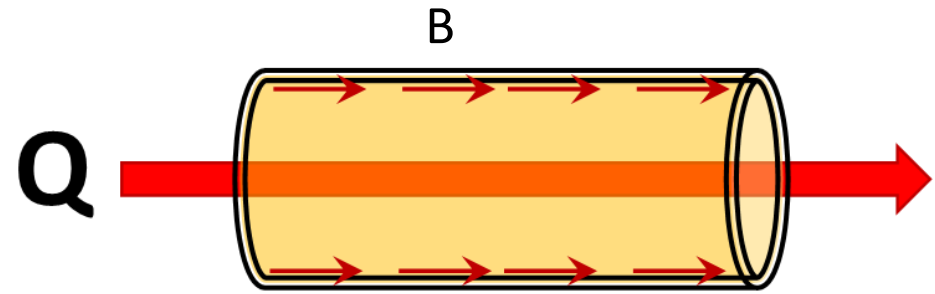
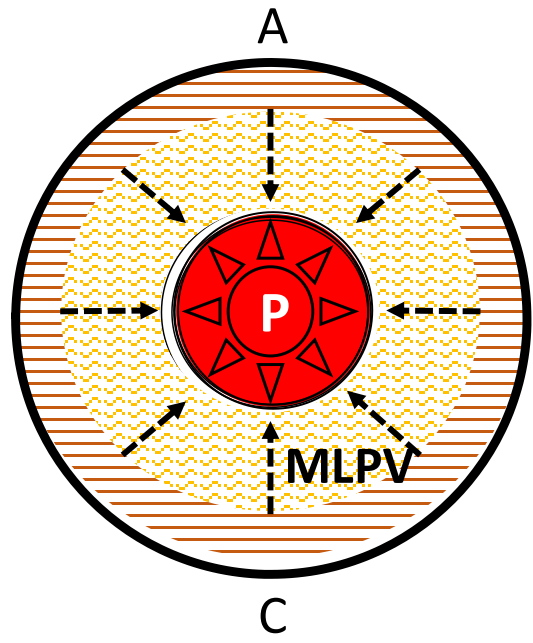


alta demanda



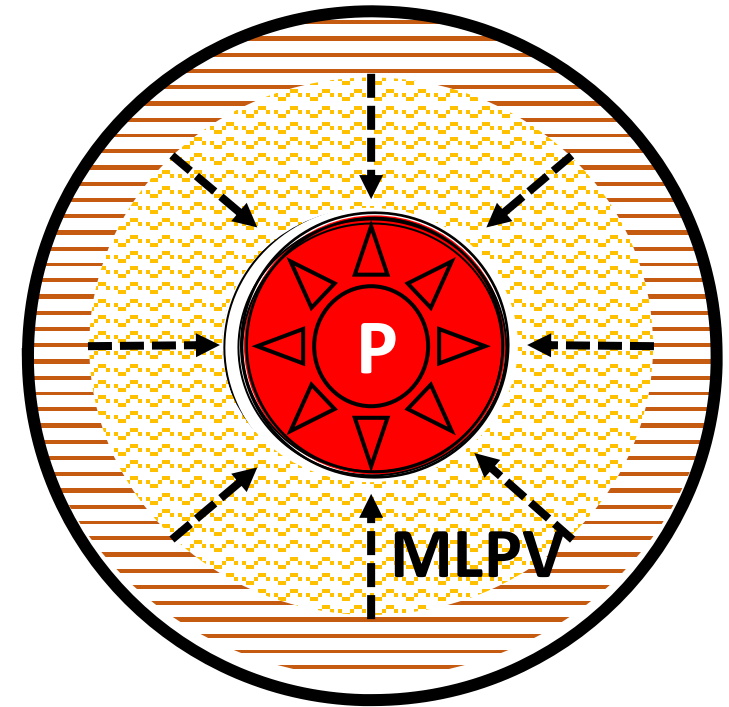
Fatores de controle local do fluxo

1. a resposta miogênica
2. a vasodilatação mediada por fluxo
3. a vasodilatação induzida por hipóxia capilar/venosa
4. condução retrógrada



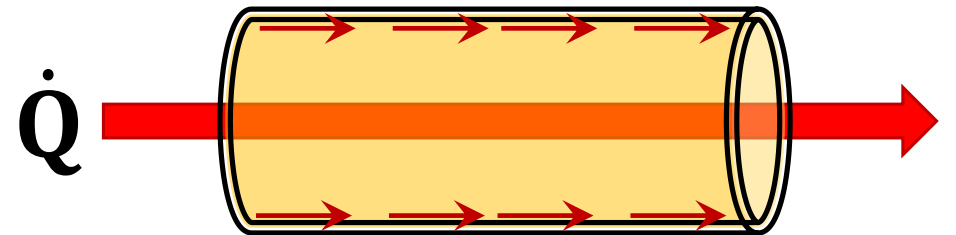
Resposta miogênica

- A resposta miogênica é o tônus da Musculatura Lisa da Parede Vascular (arteriolar) em decorrência da pressão sanguínea no vaso.
- O aumento da pressão, o qual tende a aumentar o calibre do vaso, causa uma resposta reflexa na própria musculatura lisa a qual aumenta seu grau de contração, sendo, portanto, uma resposta vasoconstritora.



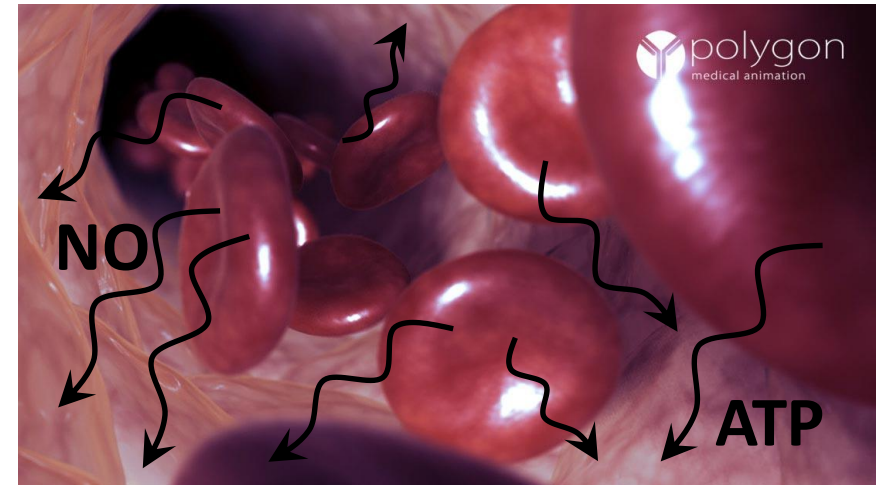
Vasodilatação mediada por fluxo

- É decorrente da tensão tangencial (tensão de cisalhamento - “shear rate”) do sangue sobre o endotélio.
- Como resposta a essa tensão tangencial, o endotélio secreta um conjunto de substâncias que agem como relaxantes da musculatura lisa vascular (e.g., NO).



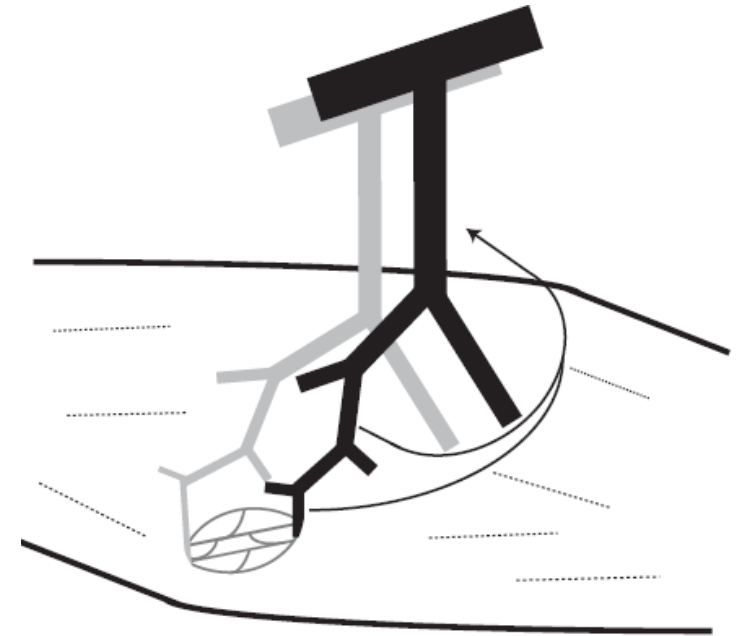
Vasodilatação induzida por hipóxia

- É uma resposta decorrente da quantidade de desoxihemoglobina presente nos capilares e na vênula que drena uma microrregião. A desoxihemoglobina libera NO e, ao mesmo tempo, as hemácias com pouco oxigênio têm ativação da glicólise e liberação de ATP. Estes dois fatores irão induzir uma resposta de diminuição de tônus na musculatura lisa arteriolar.



Condução retrógrada

- O estímulo em um local, como capilares ou vênulas, é conduzido retrogradamente, em direção às arteríolas.
- Desta maneira, o estado de perfusão de uma microrregião é percebido pelos vasos que suprem de sangue este local.
- Esta condução de sinal se dá através de junções celulares entre o próprio endotélio, entre o endotélio e camadas mais profundas e entre as células de musculatura lisa na parede vascular



☛ As características da microcirculação variam de órgão para órgão, dependendo do papel e da demanda energética de cada órgão

☛ Essa variação é multifatorial:

↔ relação aa:capilares

↔ nº de capilares/volume tecido

↔ junções das células endoteliais

↔ etc.

☛ Particularmente, as anastomoses são mais encontradas na pele e sua perfusão se relaciona, muito, à termorregulação.

