

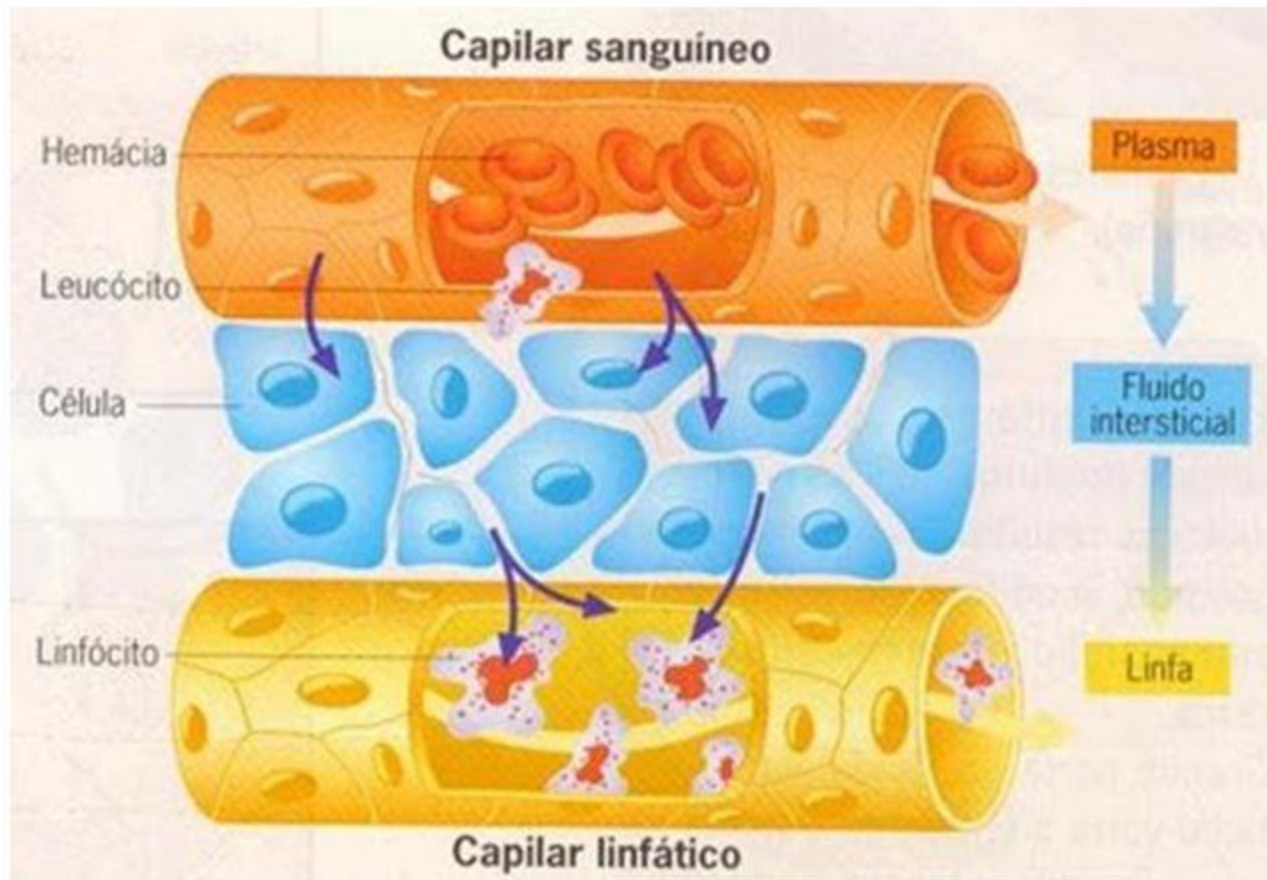
FISIOLOGIA CARDIOVASCULAR

Luiz Guilherme S. Branco

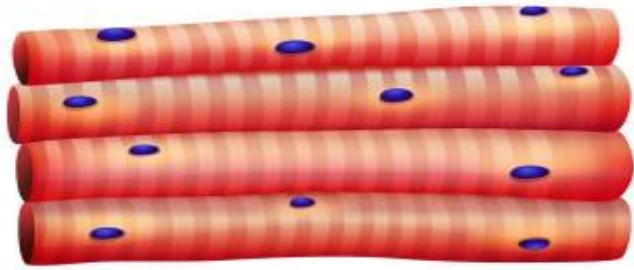
Fisiologia – FORP - USP

2020

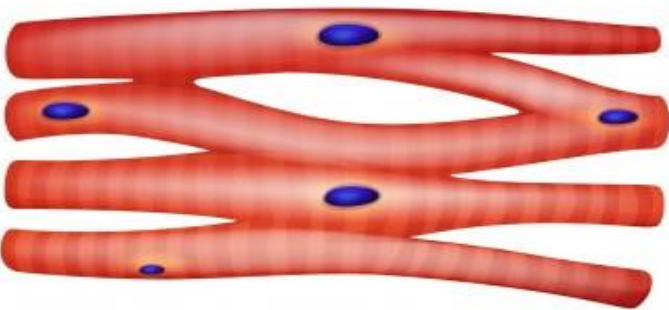
MEIO INTERNO



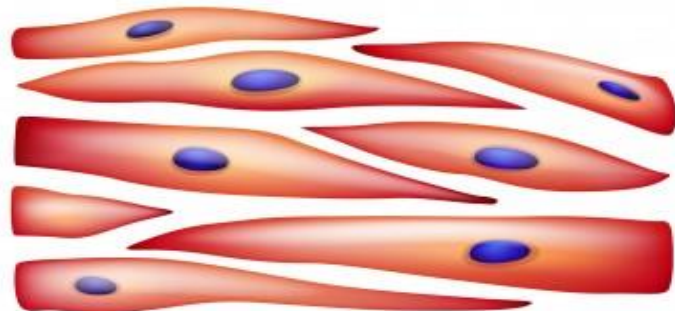
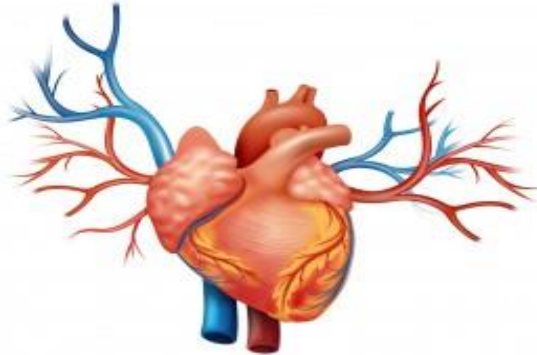
Types of Muscle Cells



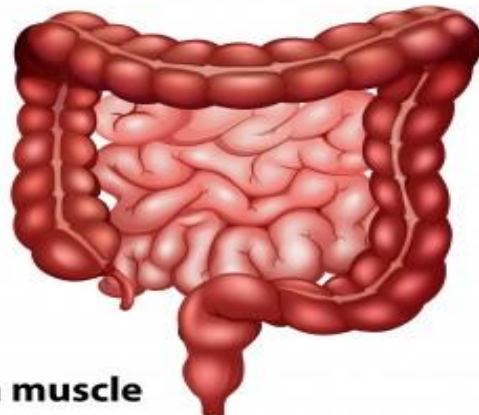
skeletal muscle

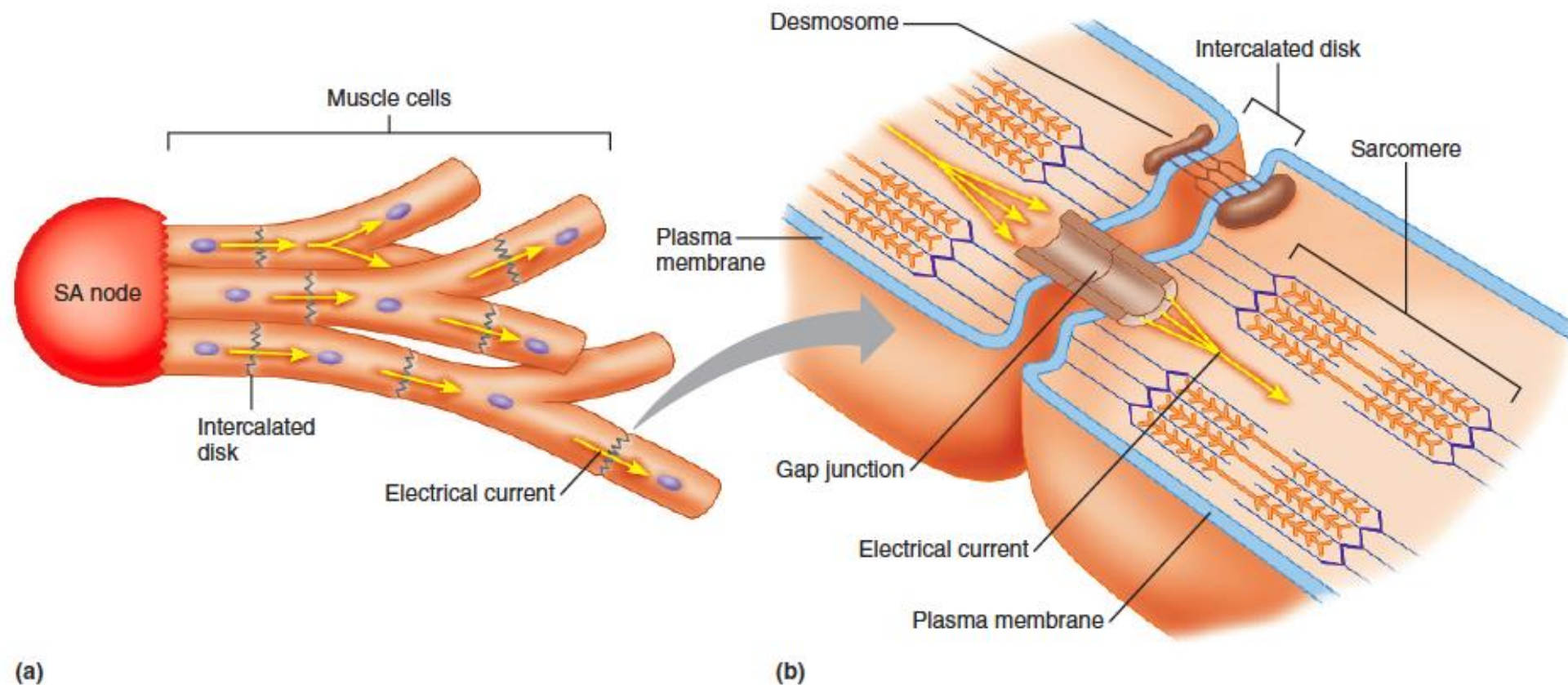


cardiac muscle



smooth muscle

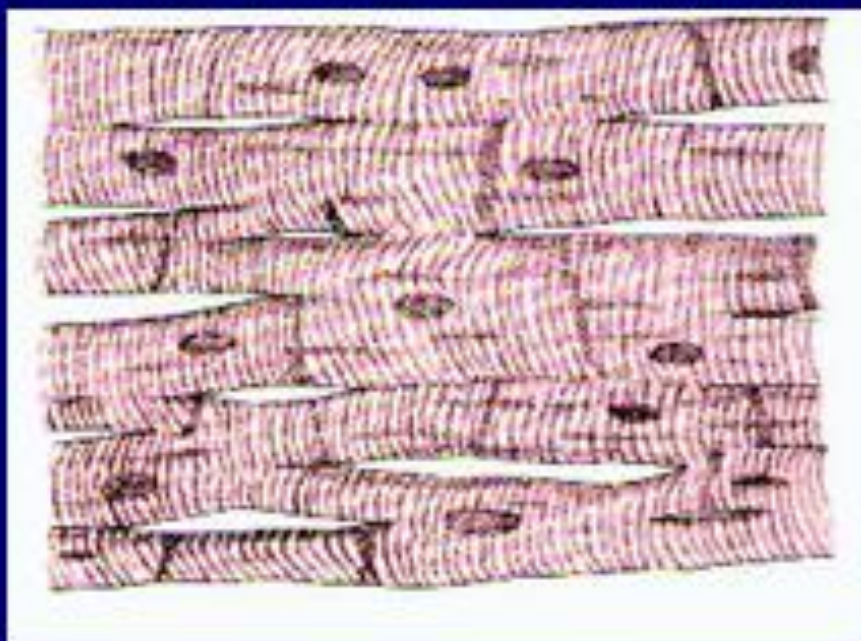




(a)

(b)

Figure 13.9 Electrical connections between cardiac muscle cells. (a) An action potential generated spontaneously in cells of the SA node spreads to adjacent muscle cells by means of electrical current passing through gap junctions in intercalated disks. (b) A schematic view of the junction between two adjacent muscle cells showing a gap junction and a desmosome.

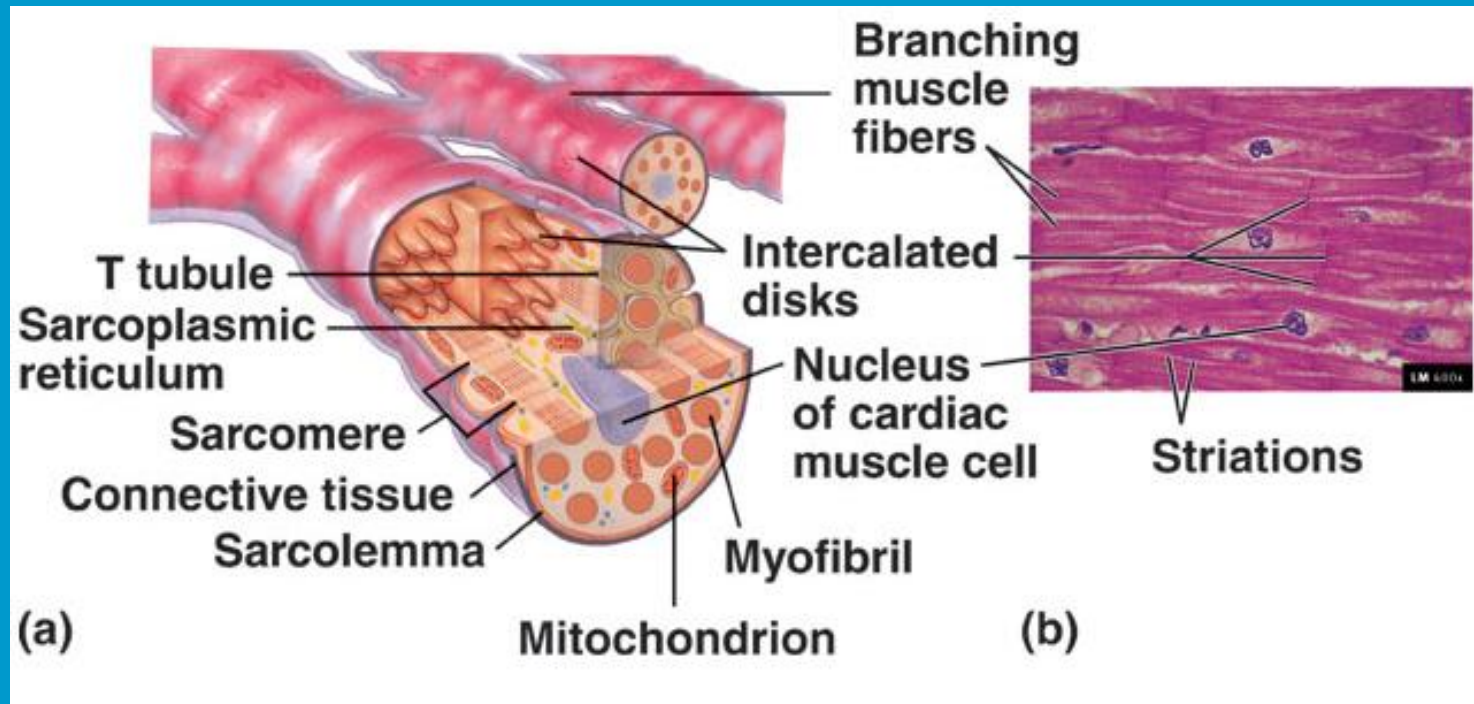


Existe uma natureza sincicial no músculo cardíaco. Existem, na verdade, 2 sincícios funcionais formando o coração: Um sincício atrial e um sincício ventricular. Um sincício é separado do outro por uma camada de tecido fibroso. Isto possibilita que a contração nas fibras que compõem o sincício atrial ocorra num tempo diferente da que ocorre no sincício ventricular.

Músculo cardíaco

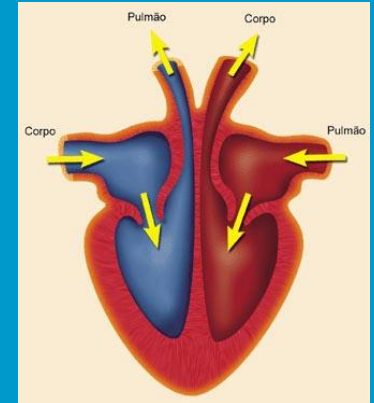
- Encontrado somente no coração
- **Estriado**
- Cada célula possui apenas um núcleo
- Células autorrítmicas
- Apresenta potenciais de ação de longa duração e longo período refratário
- Ca^{2+} regula a contração

Músculo cardíaco



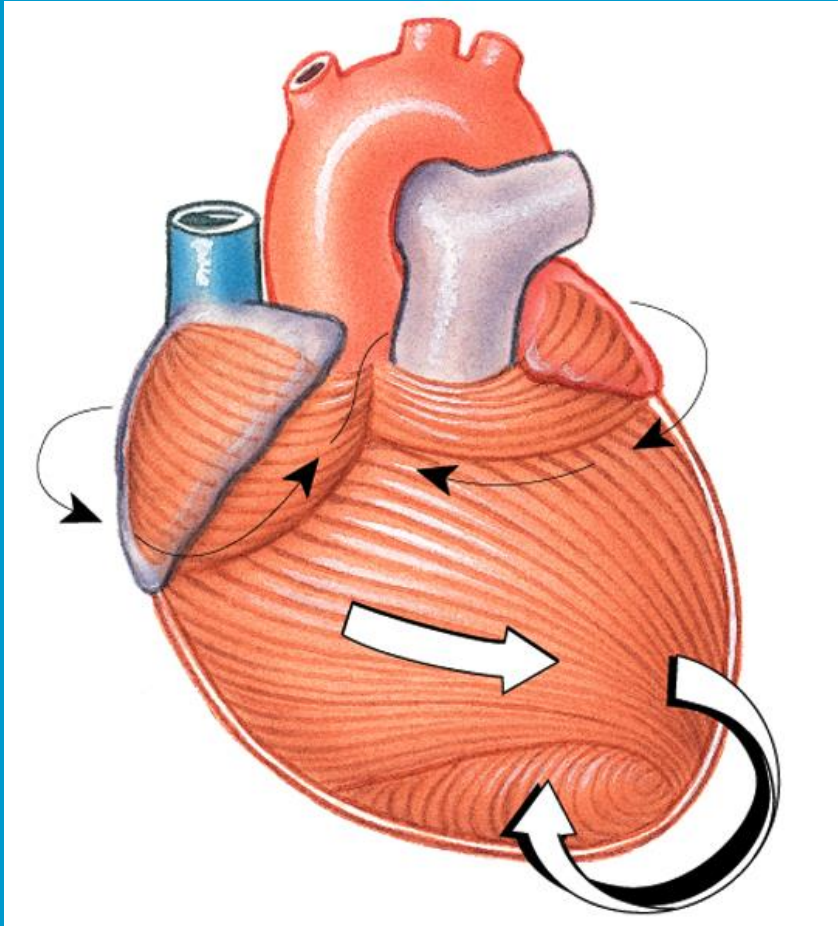
- Células alongadas contém núcleo localizado centralmente
- Contém miofilamentos de actina e miosina
- Contatos célula-célula especializados (gap junctions possibilita potenciais de ação)

Funções do coração

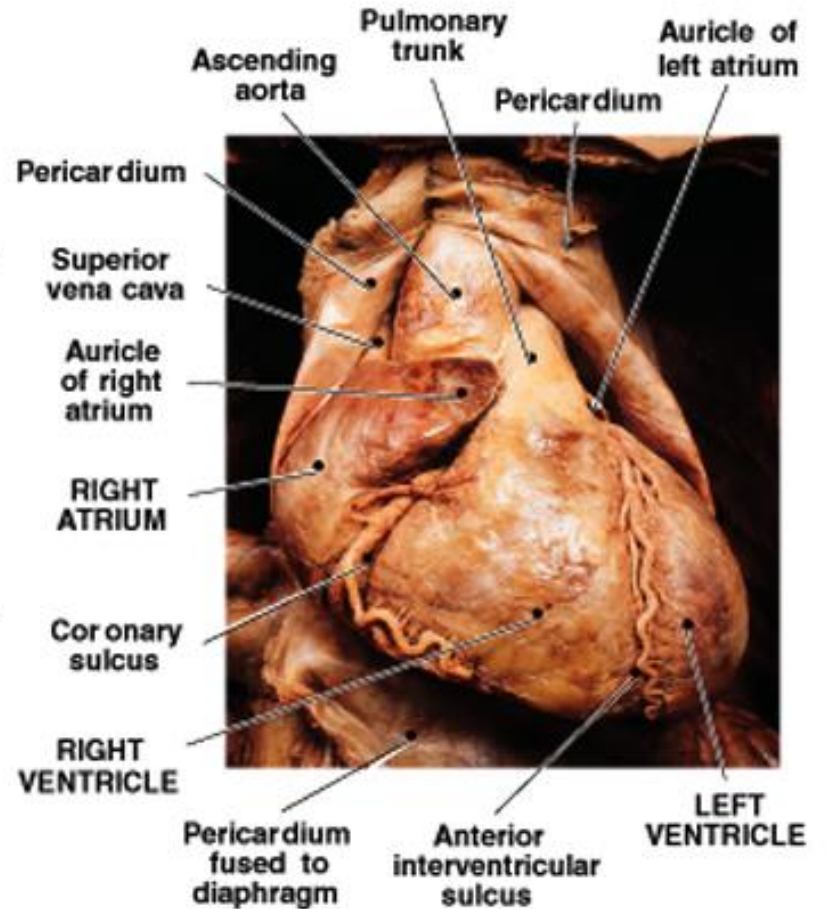
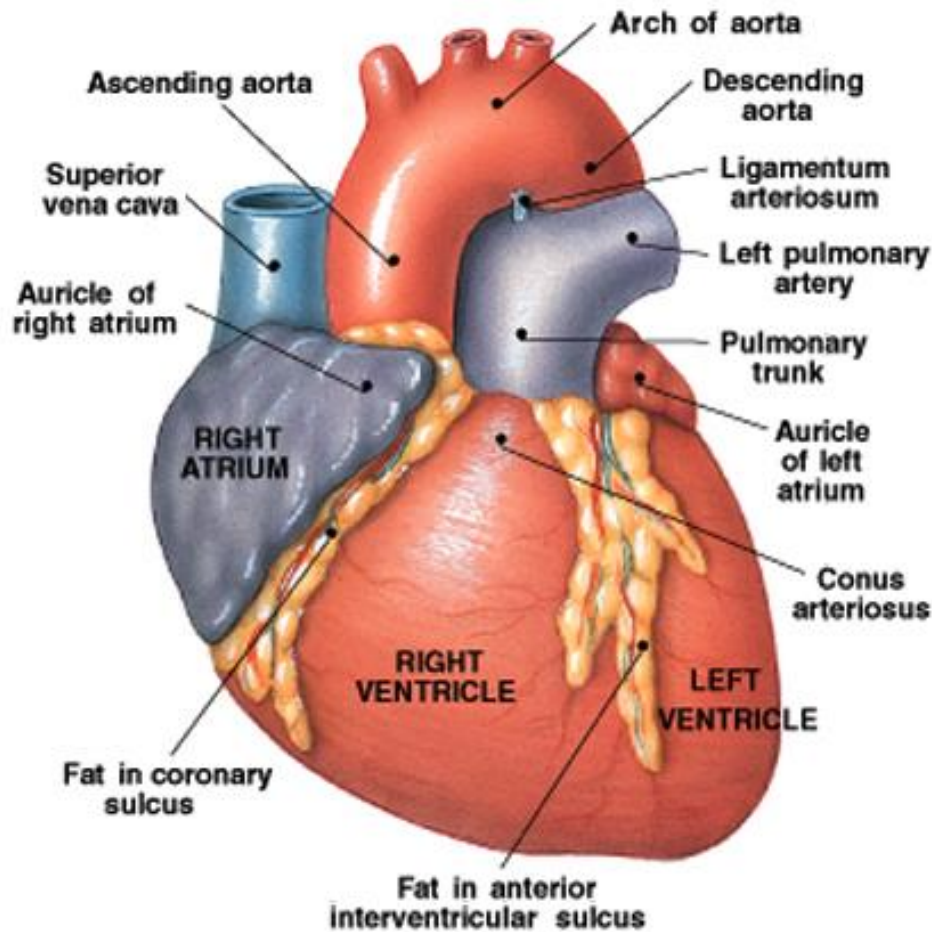


- Geração da pressão sanguínea
- A rota de fluxo do sangue
 - Coração separa a circulação sistêmica e pulmonar
- Assegura um fluxo único para o sangue (válvulas)
- Regula suprimento sanguíneo
 - Variações na FC e na força de contração responde as alterações metabólicas dos tecidos.

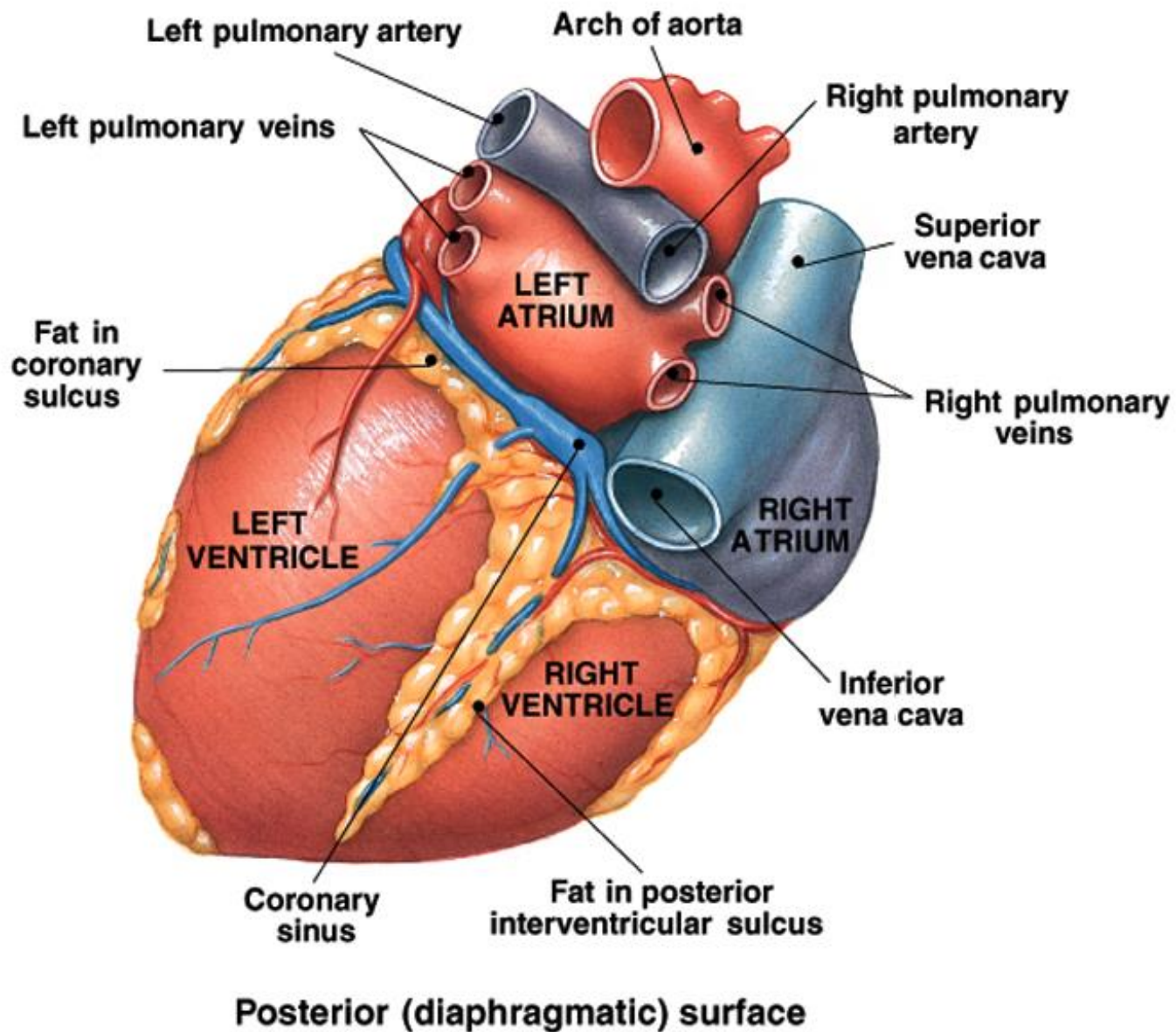
Orientação das fibras dos músculo cardíaco:



- Diferente da musculatura esquelética, músculo cardíaco possui contração em mais de uma direção.
- Músculo cardíaco são estriados, e contem ao longo do seu eixo.
- Para se contrair em dois eixos as fibras se enrolam sobre si.

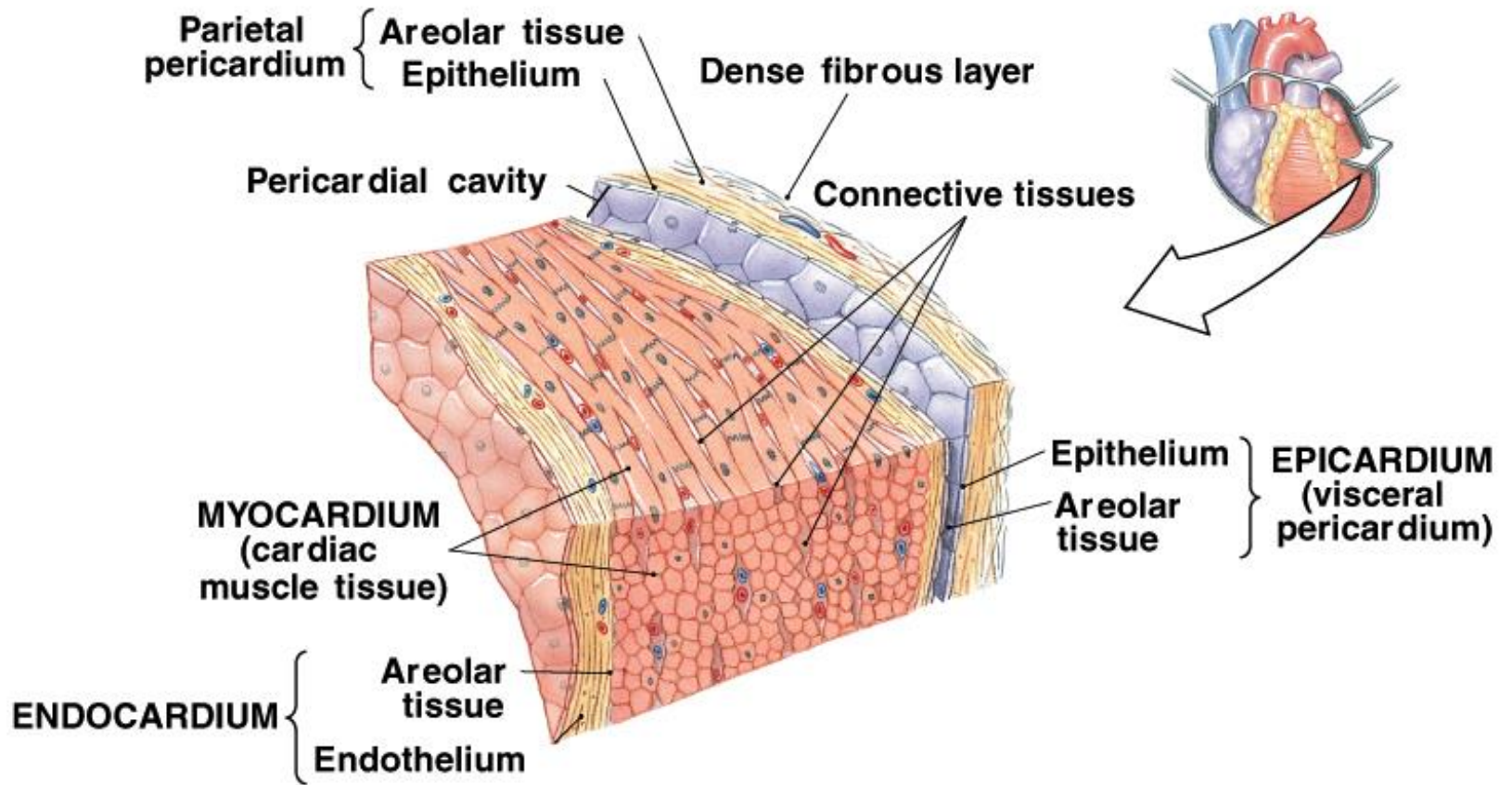


Anterior surface

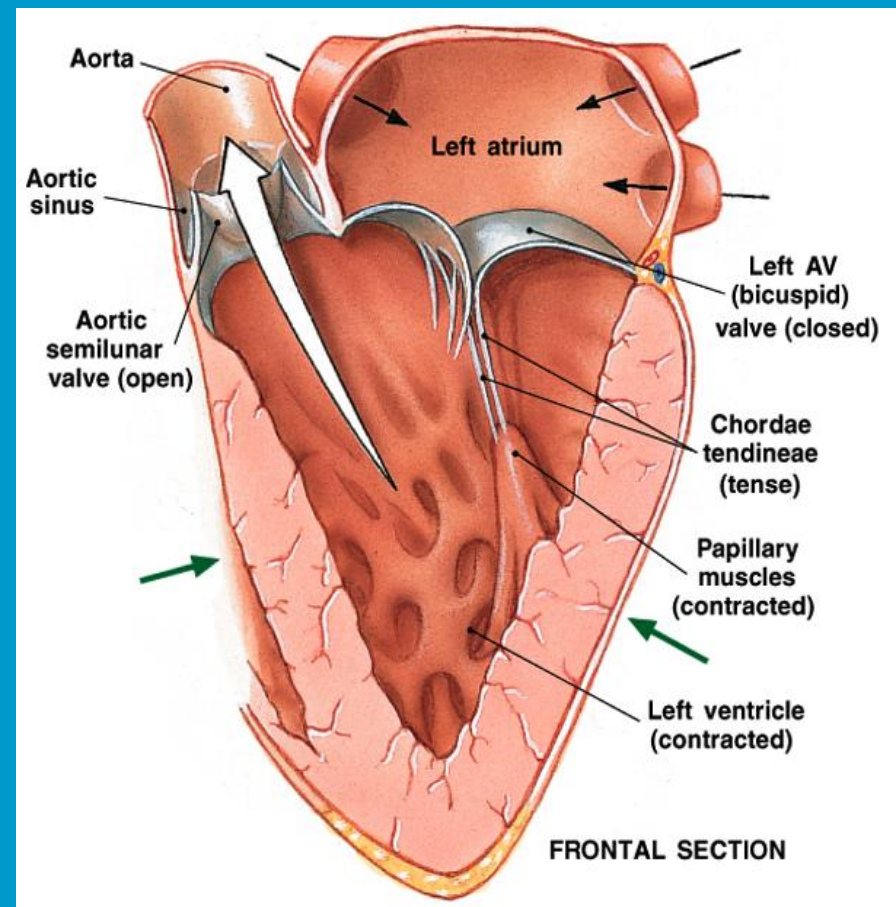
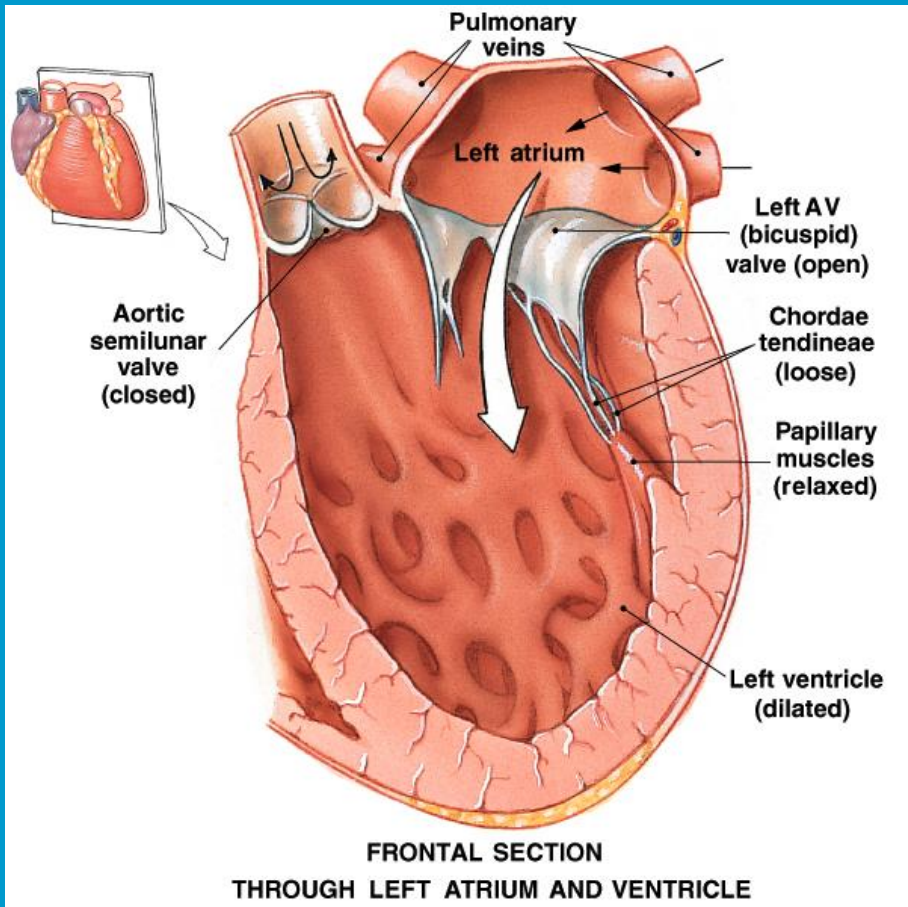


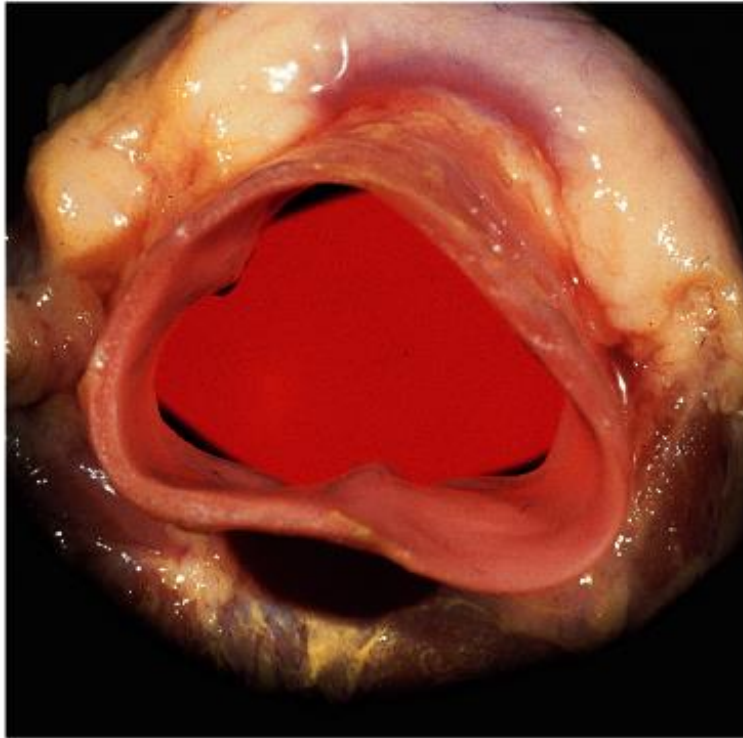
Parede cardíaca

- Três camadas de tecido
 - **Epicardio:** Membrana serosa que recobre a superfície do coração
 - **Miocardio:** Camada média composta de músculo cardíaco e responsável pela contratilidade cardíaca
 - **Endocardio:** Superfície interna das câmaras cardíacas

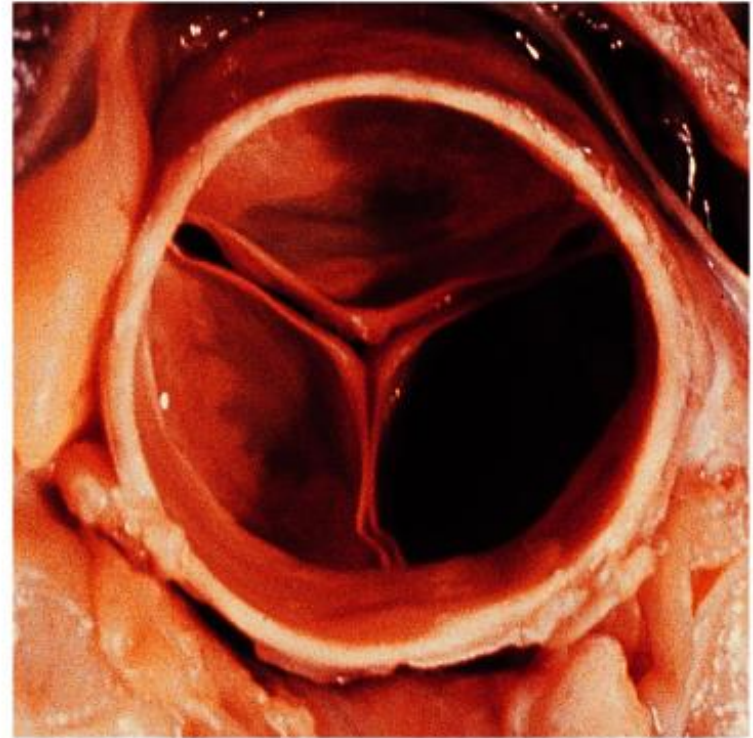


Função das valvas:





Open

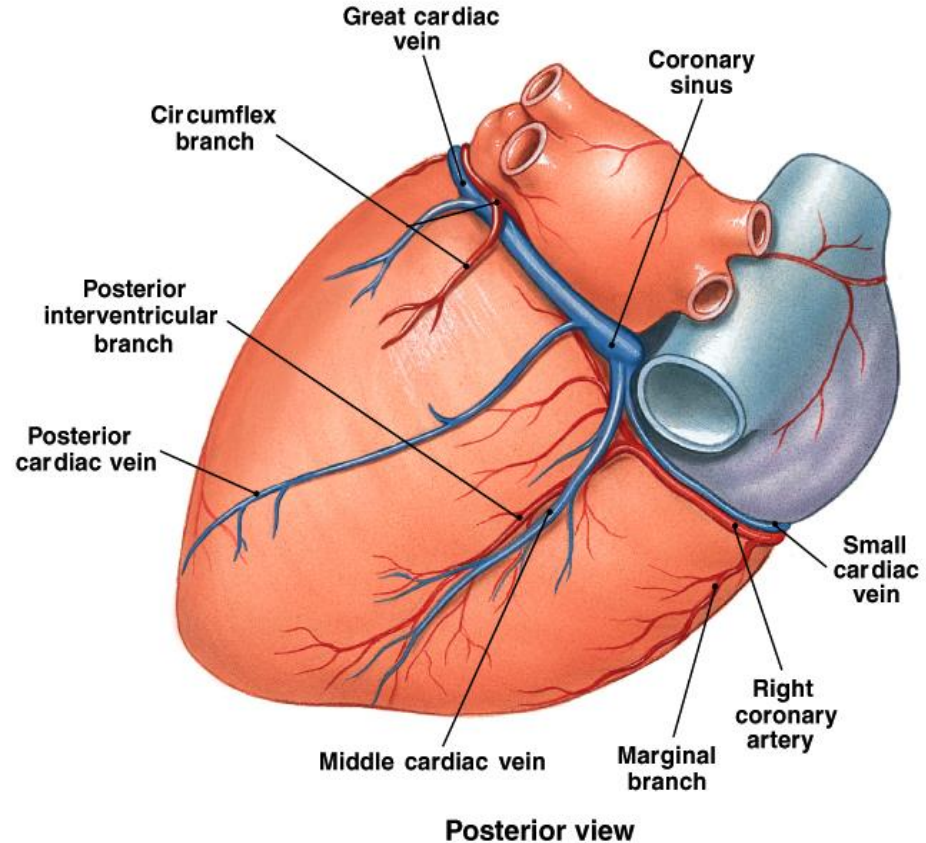
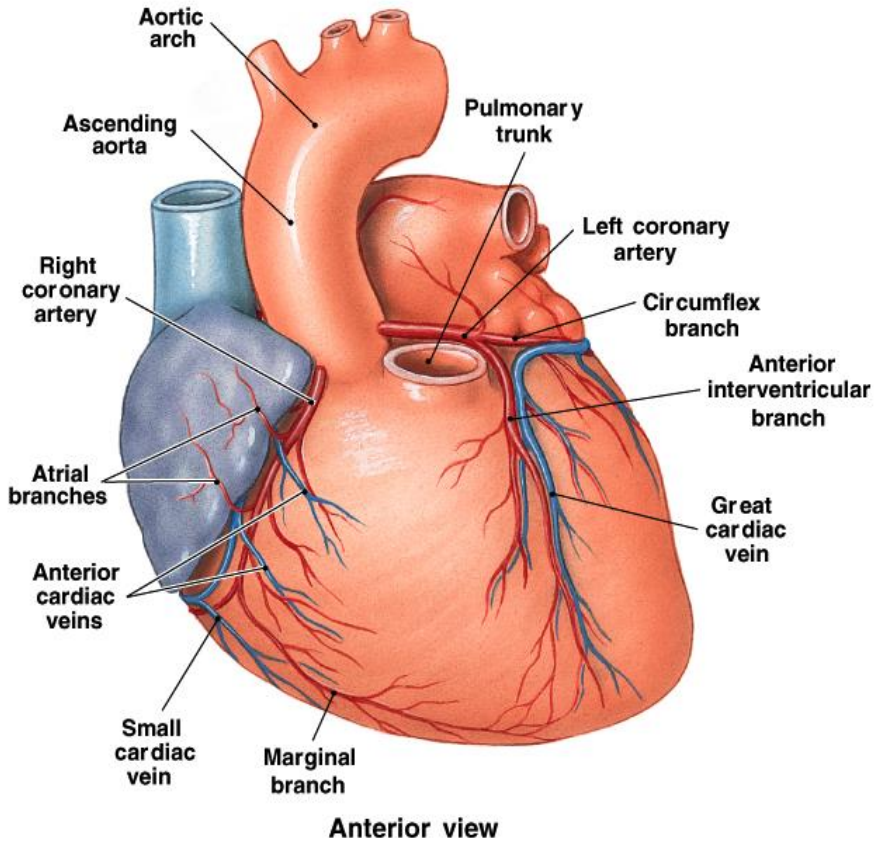


Closed

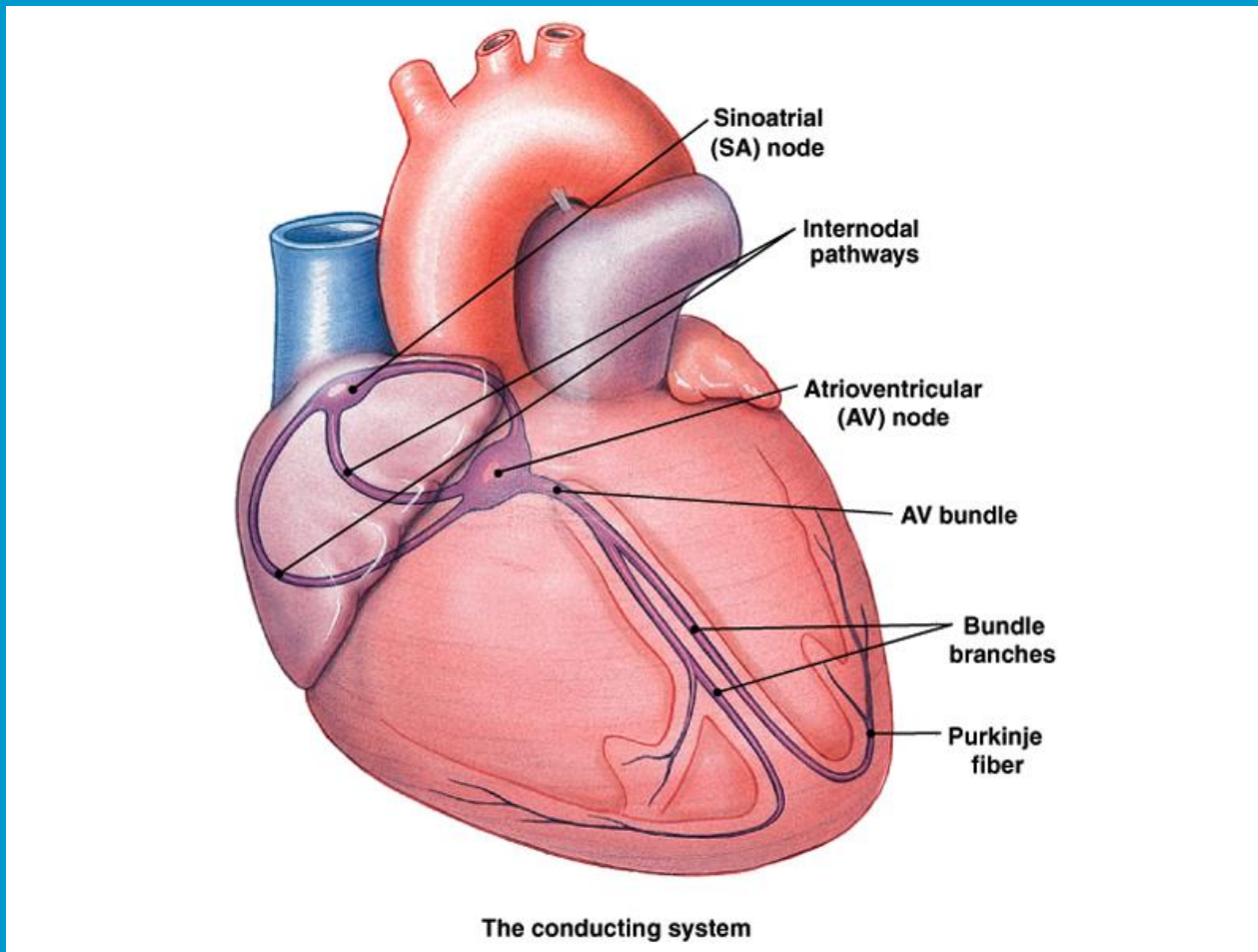
Semilunar valve function

<https://www.youtube.com/watch?v=AoCDO-kgtJE>

Circulação coronariana:



Sistema de condução cardíaco:



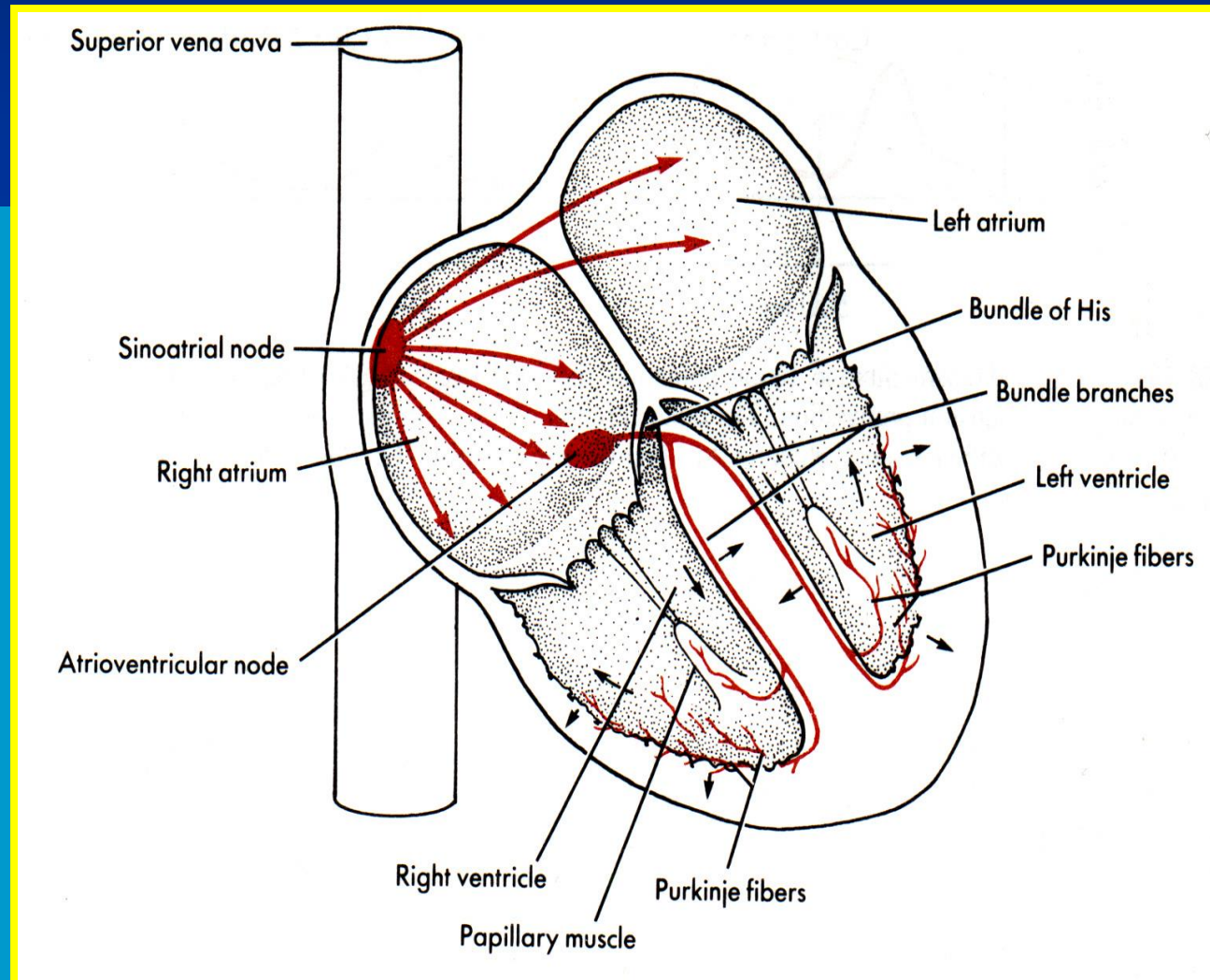
Eletrofisiologia Cardíaca

- Condução do Impulso Cardíaco -

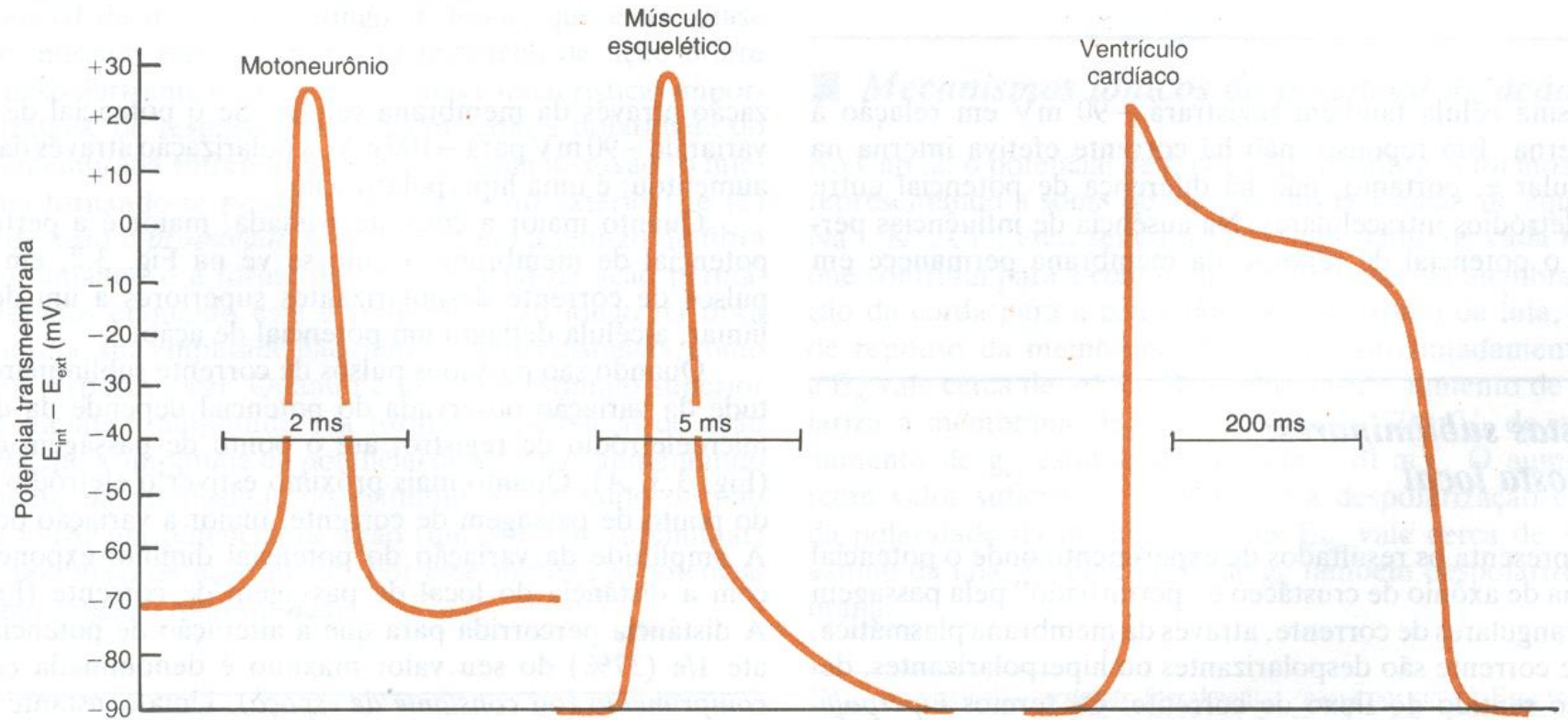
➤ Atrial

➤ Atrioventricular

➤ Ventricular

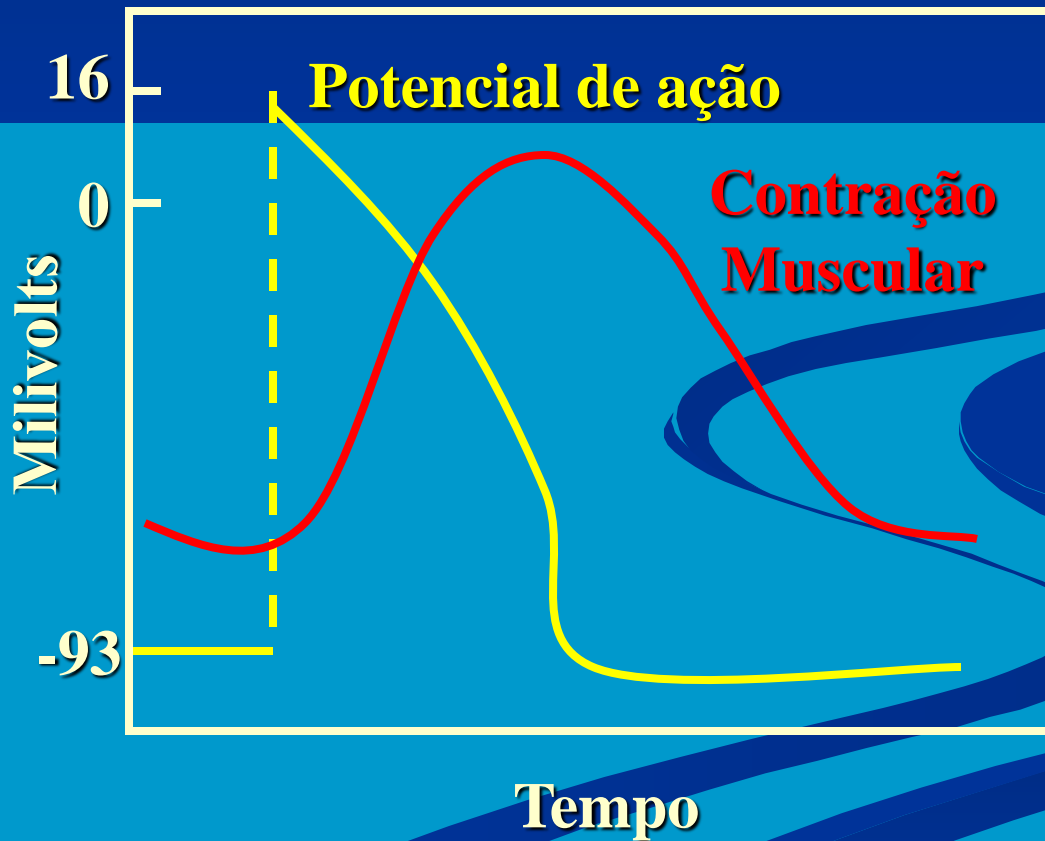


POTENCIAIS DE AÇÃO DE 3 TIPOS CELULARES



Eletrofisiologia Cardíaca

- Relações temporais entre a força desenvolvida e o potencial de ação do ventrículo -



Eletrofisiologia Cardíaca

- Canais Iônicos -

Canais rápidos
de sódio

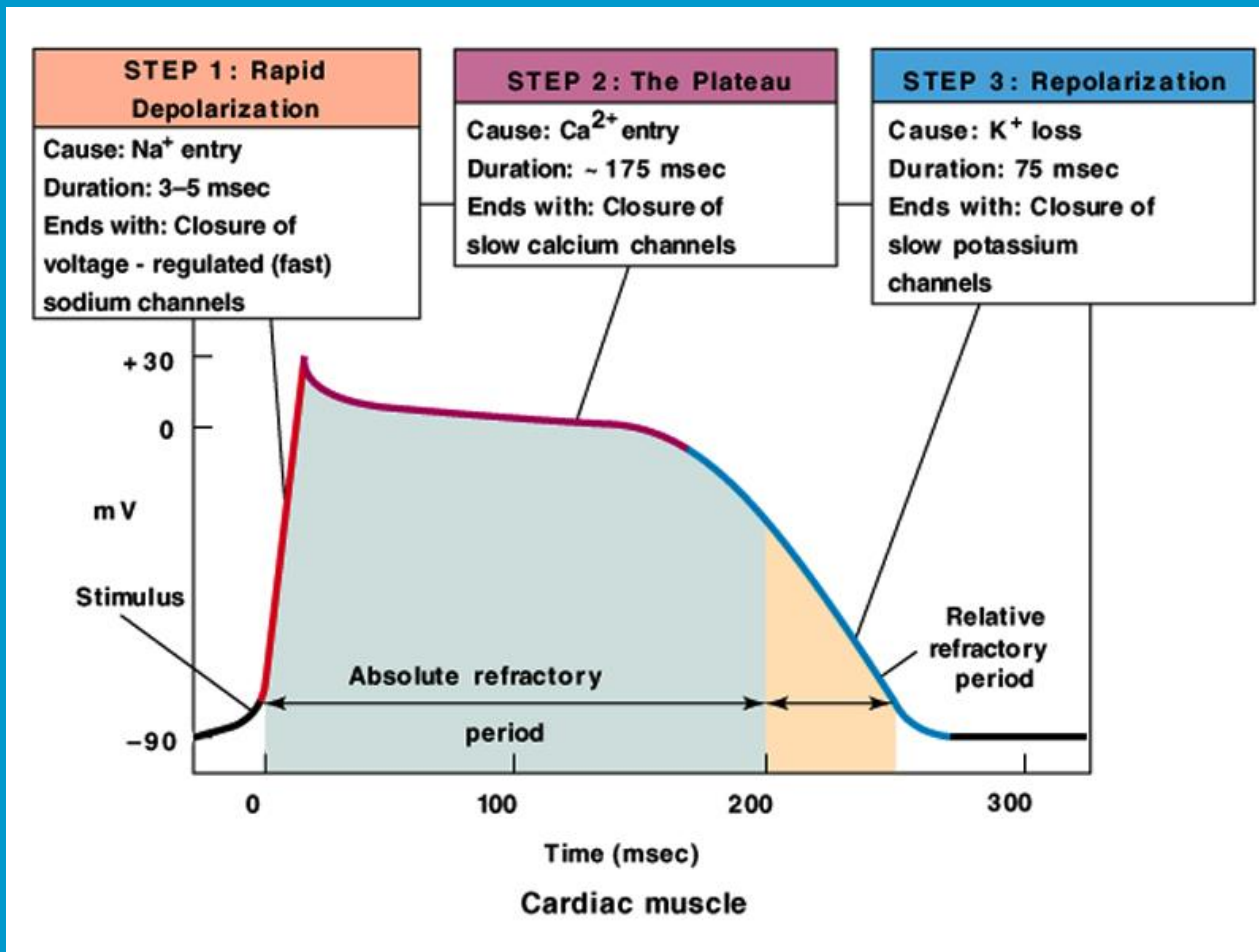


Canais de cálcio

Canais de potássio



Potencial de ação do miócito cardíaco



Período refratário

- **Absoluto:** Músculo cardíaco completamente insensível a estímulos subsequentes
- **Relativo:** Células exibem reduzida sensibilidade a estímulos adicionais
- Períodos refratários longos previnem contrações tetânicas

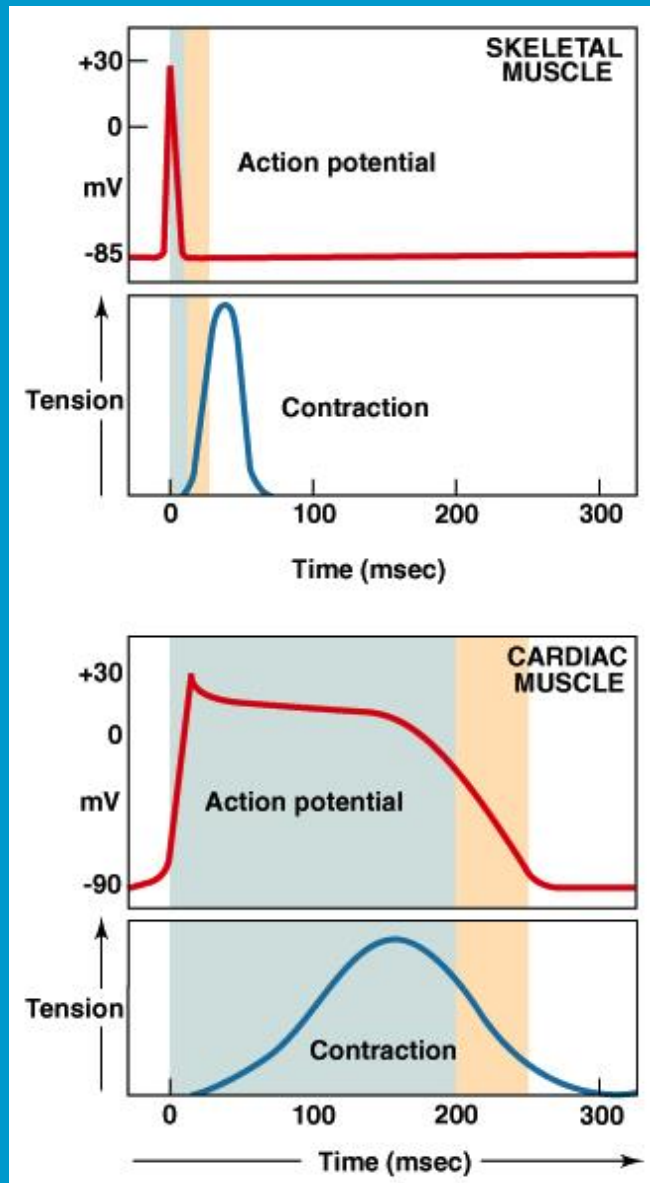
Relação potencial de ação-contração

- Potencial de ação em músculo esquelético meia vida muito curta

- Ocorre antes que qualquer aumento na tensão na musculatura possa ser medida.

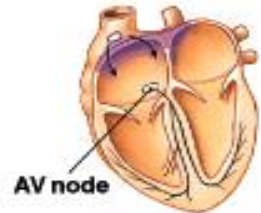
- Potencial de ação no músculo cardíaco é mais longo

- Possui um componente extra que se estende sua duração.
- A contração ocorre pouco antes do término do potencial de ação.

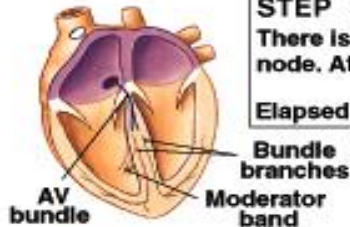




STEP 1:
SA node activity and atrial activation begin.
Time = 0



STEP 2:
Stimulus spreads across the atrial surfaces and reaches the AV node.
Elapsed time = 50 msec



STEP 3:
There is a 100-msec delay at the AV node. Atrial contraction begins.
Elapsed time = 150 msec



STEP 4:
The impulse travels along the interventricular septum within the AV bundle and the bundle branches to the Purkinje fibers and, via the moderator band, to the papillary muscles of the right ventricle.
Elapsed time = 175 msec



STEP 5:
The impulse is distributed by Purkinje fibers and relayed throughout the ventricular myocardium. Atrial contraction is completed, and ventricular contraction begins.
Elapsed time = 225 msec

START

(a) Atrial systole begins:
Atrial contraction forces a small amount of additional blood into relaxed ventricles.

(b) Atrial systole ends
atrial diastole begins

(c) Ventricular systole —
first phase: Ventricular contraction pushes AV valves closed but does not create enough pressure to open semilunar valves.

(d) Ventricular systole —
second phase: As ventricular pressure rises and exceeds pressure in the arteries, the semilunar valves open and blood is ejected.

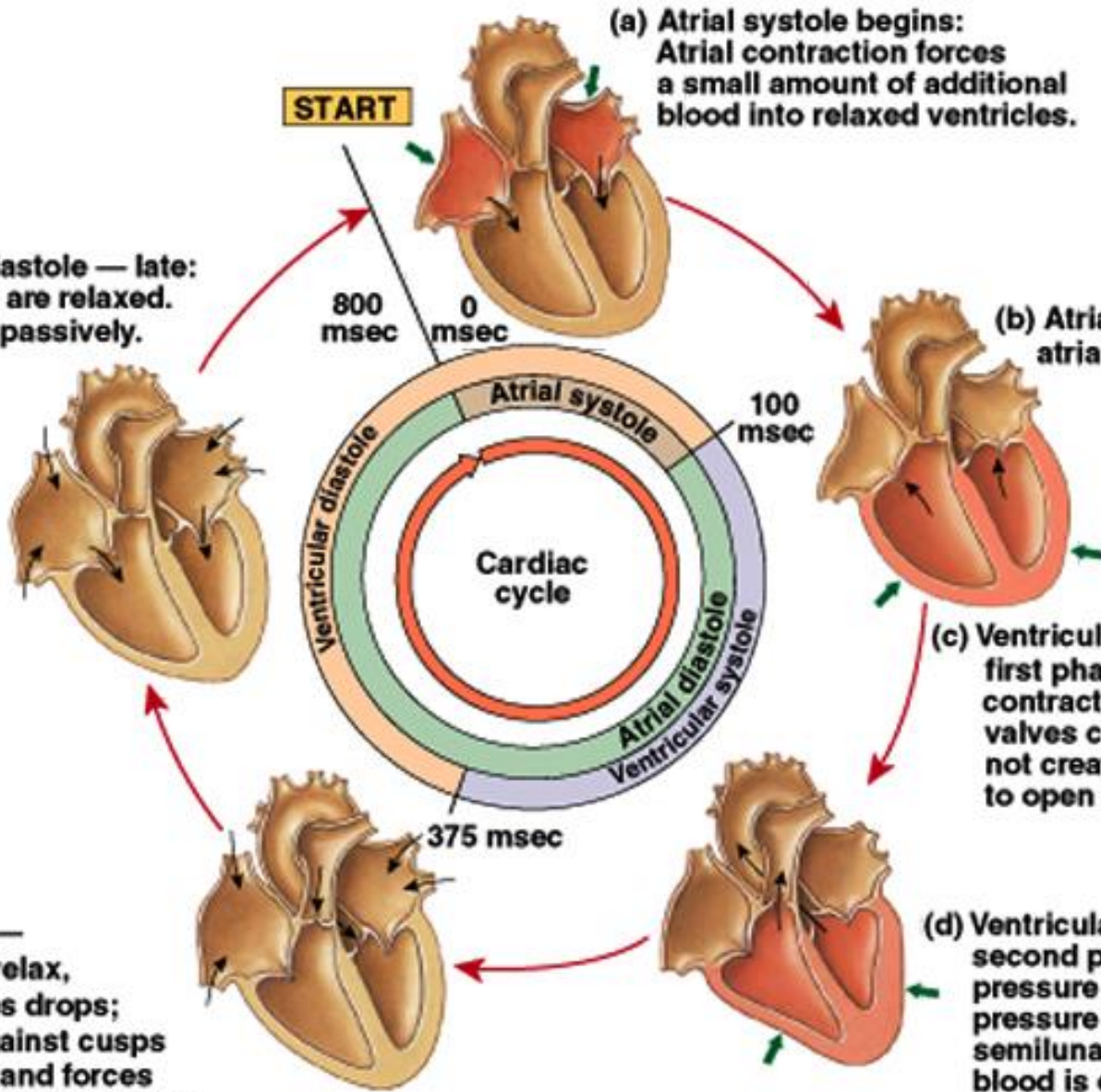
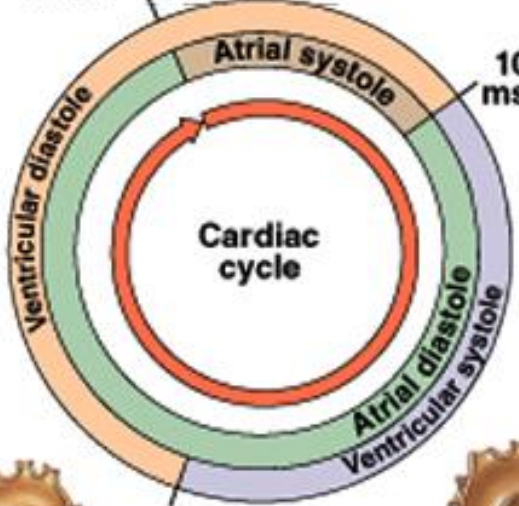
(f) Ventricular diastole — late:
All chambers are relaxed.
Ventricles fill passively.

800 msec

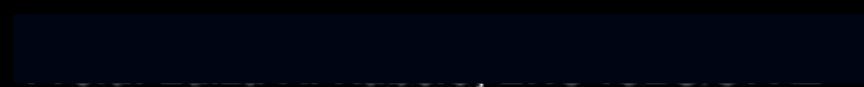
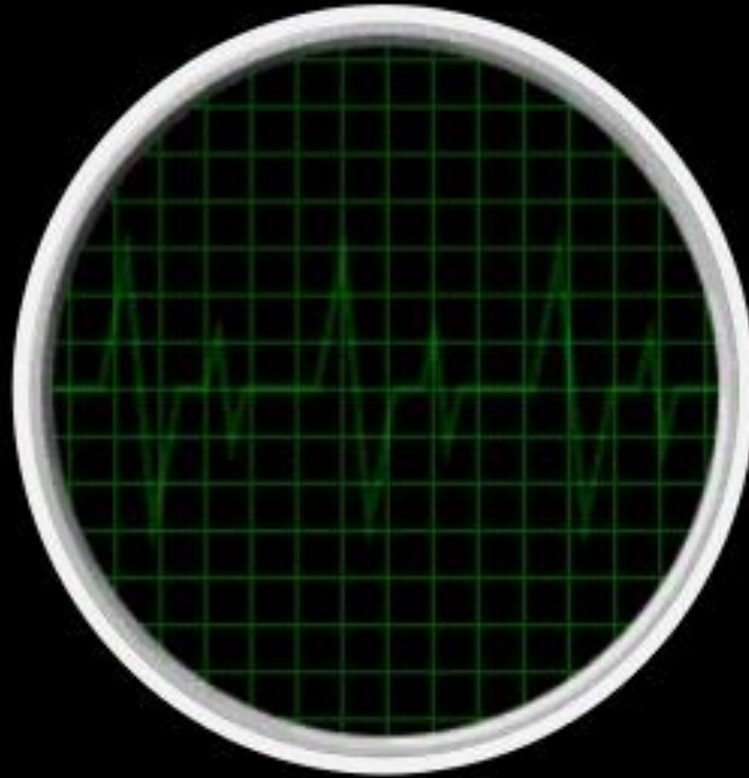
0 msec

100 msec

375 msec



Fundamentos do Eletrocardiograma (ECG)



Em 1903, o fisiologista holandês Willem Einthoven realizou a primeira prática com um eletrocardiógrafo.



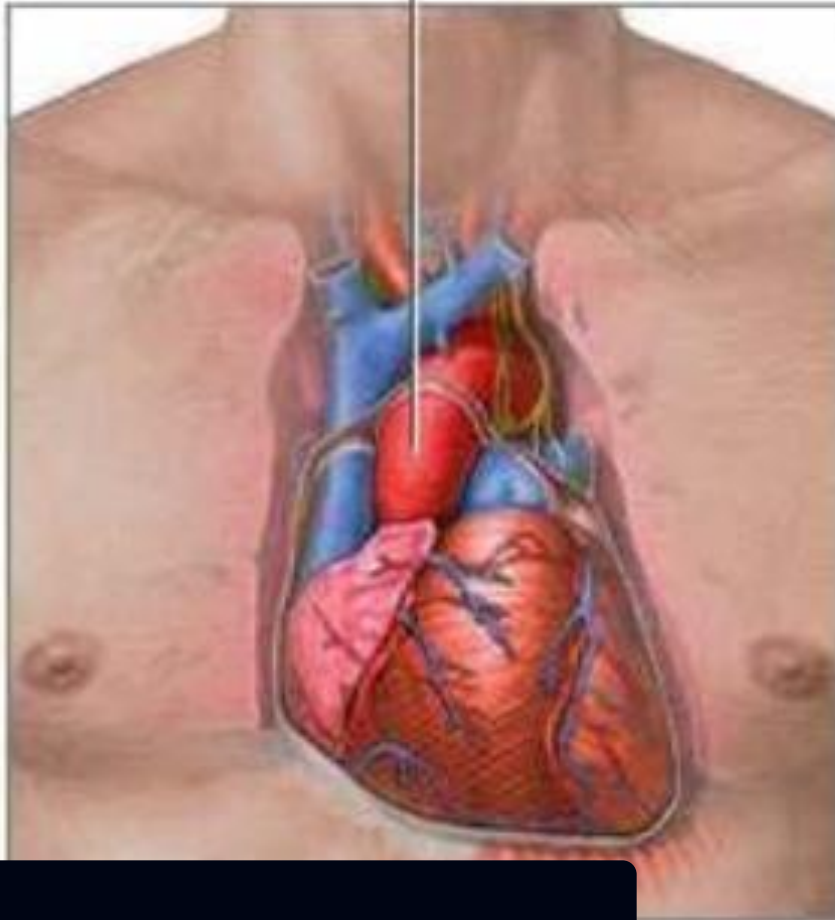
**Prêmio Nobel de
Fisiologia/Medicine de 1924**

Willem Einthoven

***21.05.1860 - † 29.09.1930**

Mas qual é a importância real do ECG ?

Coração



Eletrocardiograma



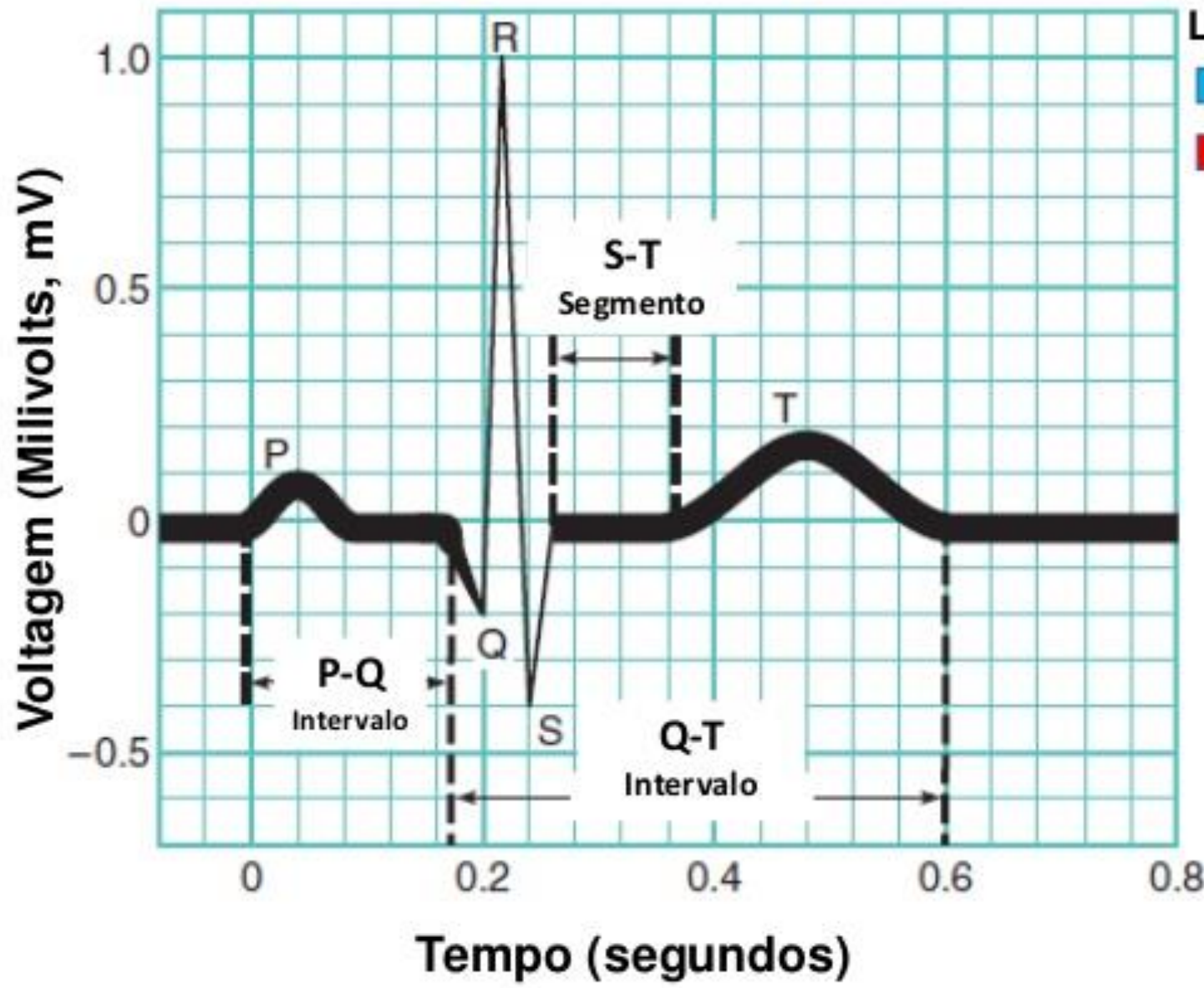


Sucintamente:

- 🔊 O trabalho cardíaco produz sinais elétricos que passam para os tecidos vizinhos e chegam à pele;
- 🔊 Assim, com a colocação de eletrodos no peito, pode-se gravar as variações de ondas elétricas emitidas pelas contrações do coração;
- 🔊 O registro dessas ondas pode ser feito numa tira de papel ou num monitor que, por sua vez, mostra os sinais digitais captados por um sistema de computador. Este histograma é denominado de **eletrocardiograma (ECG)**.

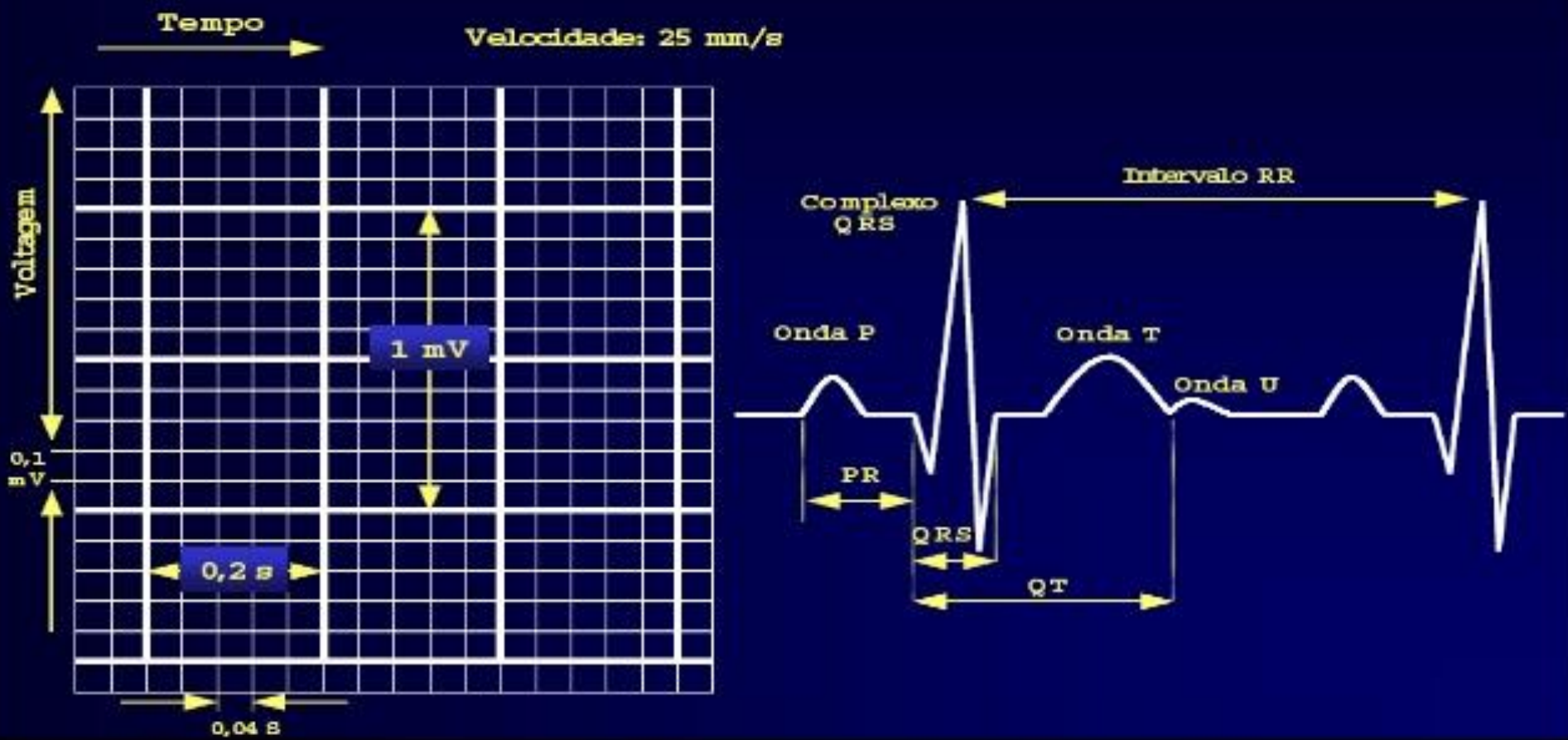
📌 **Este registro** é um auxiliar valioso no diagnóstico de um grande número de cardiopatias e outras condições patológicas (ex. distúrbios hidroeletrolíticos). **Ressalva-se** que algumas anomalias cardíacas não alteram o **ECG**.



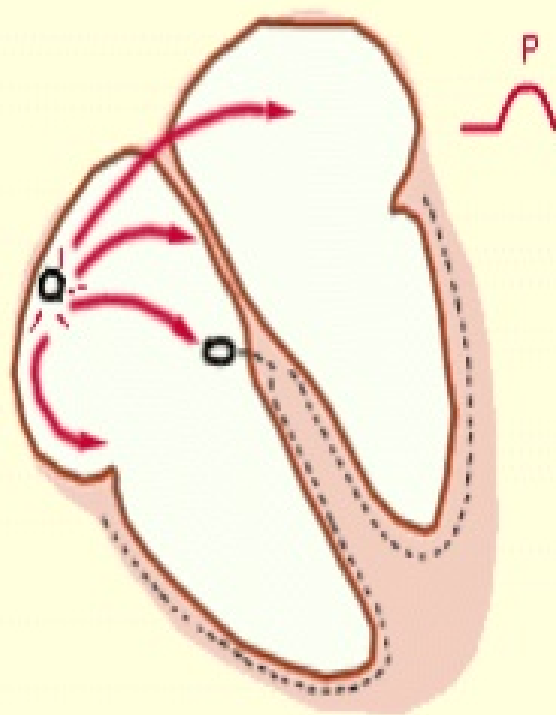


Legenda:
Contração Atrial
Contração Ventricular

Quais são os componentes gráficos do ECG ?



Entendendo as ondas do ECG...



ONDA P: Despolarização Atrial.

ONDA QRS: Despolarização ventricular.

ONDA T: Repolarização Ventricular.

Segmentos e Intervalos

SEGMENTO PR: Fim da contração atrial ao início da contração ventricular.

SEGMENTO ST: Fim da contração ventricular ao início da repolarização ventricular.

INTERVALO PR: Início da contração atrial até o início da contração ventricular.

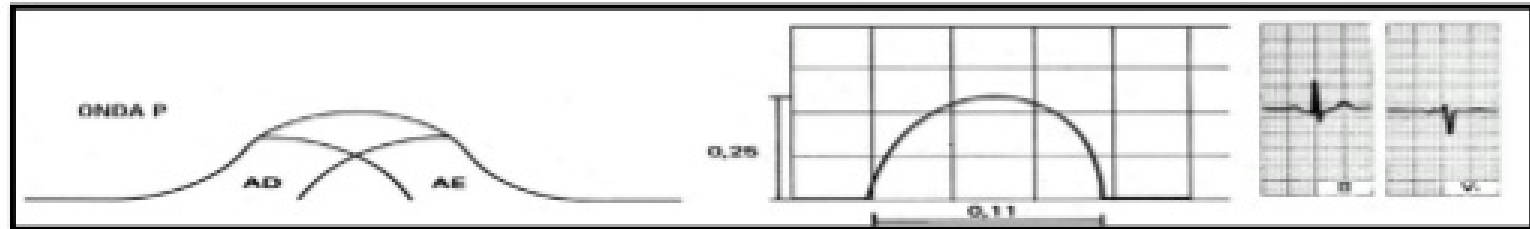
INTERVALO QT: Início da contração ventricular até o fim da repolarização ventricular.

INTERVALO RR: Intervalo entre duas contrações ventriculares.



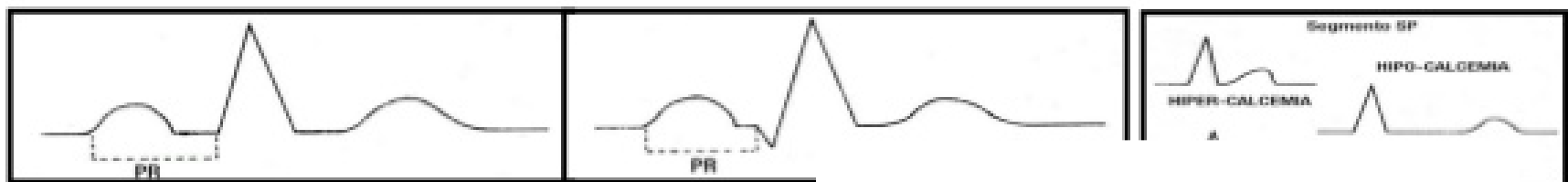
Para não esquecer que no ECG normal, tem-se:

👉 **Onda P:** É a propagação da despolarização dos átrios. A primeira parte corresponde a despolarização do átrio direito e a parte final a despolarização do átrio esquerdo.



👉 **Intervalo PR:** O espaço desde o início da ativação atrial até o início da ativação ventricular é denominado intervalo PR. Este varia de acordo com a idade do paciente e a frequência cardíaca. Em geral o normal varia de 0,12 a 0,20 s.

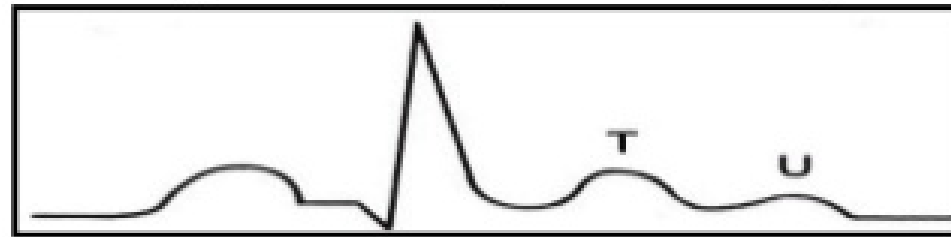
👉 **Segmento ST:** Intervalo entre o final do QRS e o início da onda T. É normalmente isoelétrico e sua duração geralmente não é determinada pois é avaliado englobado ao intervalo QT.



☞ **Complexo QRS:** ocorre despolarização ventricular e repolarização atrial. Duração normal 0,05 a 0,10 s.

☞ **Onda T:** representa a repolarização ventricular com voltagem menor que a do QRS.

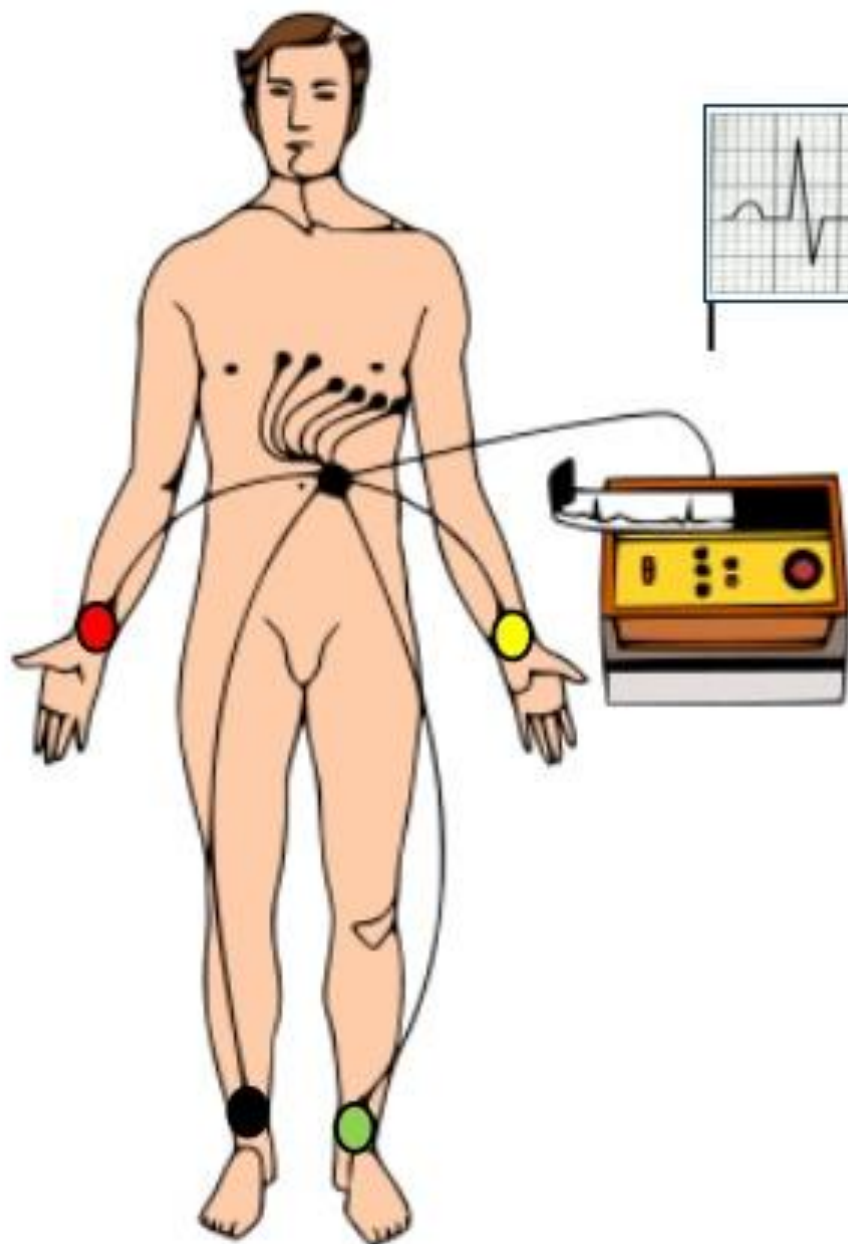
☞ **Onda U:** Onda que se segue a onda T. não é constante. Quando normal é sempre positiva. Sua gênese ainda é discutida . Poderia representar um pós-potencial, a duração mais prolongada do potencial de ação do sistema de Purkinje e, finalmente, a repolarização dos músculos papilares. Uma onda U negativa é sempre sinal de algum agravo.



☞ **Intervalo QT:** Medido do início do QRS até o final da onda T. Varia com a frequência cardíaca, sendo maior em mulheres. Corresponde a duração total da sístole elétrica ventricular. O QTc corresponde ao intervalo QT corrigido para a frequência cardíaca de 60 bpm. O valor médio da normalidade no homem é de 0,425 e na mulher 0,440 s.



Como o registro do ECG é obtido?



Existe 10 posições para colocação de eletrodos

Punho direito (R) - **Vermelho**

Punho esquerdo (L) - **Amarelo**

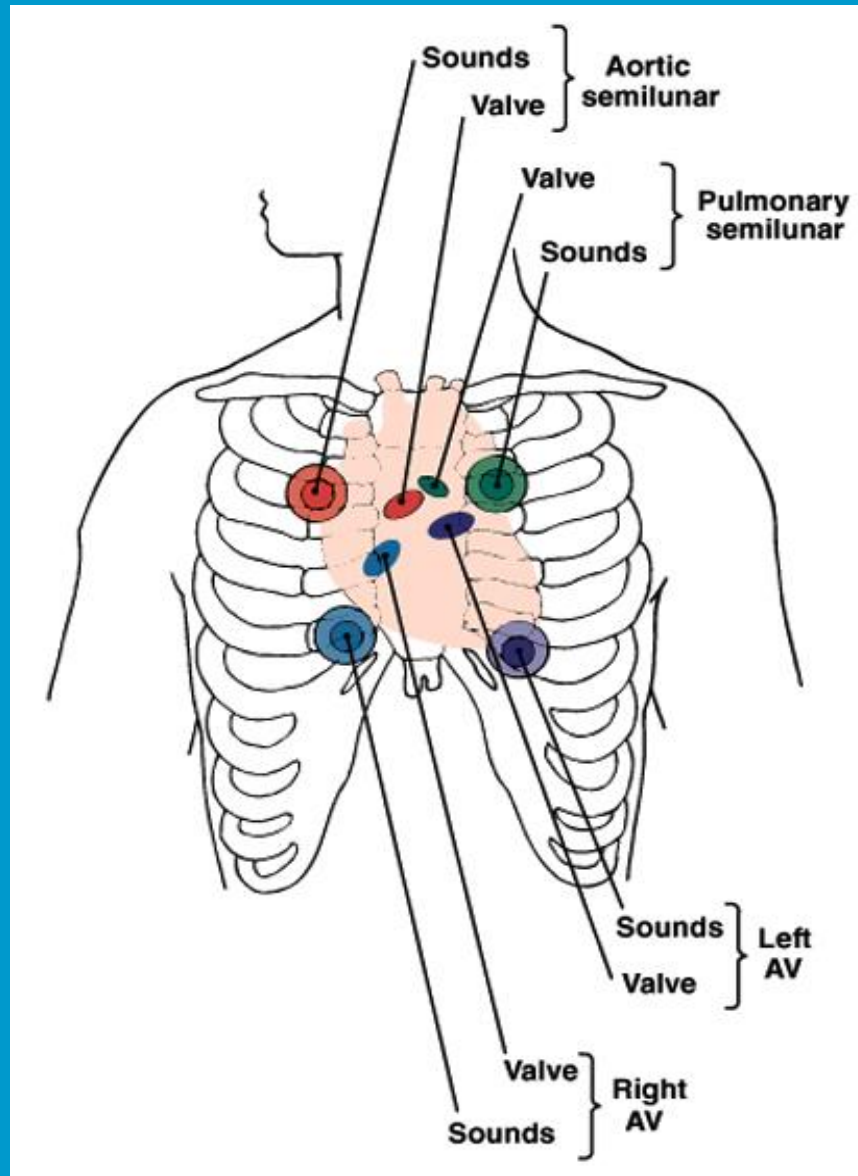
Tornozelo esquerdo (F) - **Verde**

Tornozelo direito - **Preto**

<https://www.youtube.com/watch?v=RYZ4daFwMa8>



Sons cardíacos:



BULHAS CARDÍACAS



Primeira Bulha

fechamento abrupto da
válvula AV

Segunda Bulha

fechamento abrupto da
válvulas semilunares

Terceira bulha: cessação abrupta da distensão ventricular,

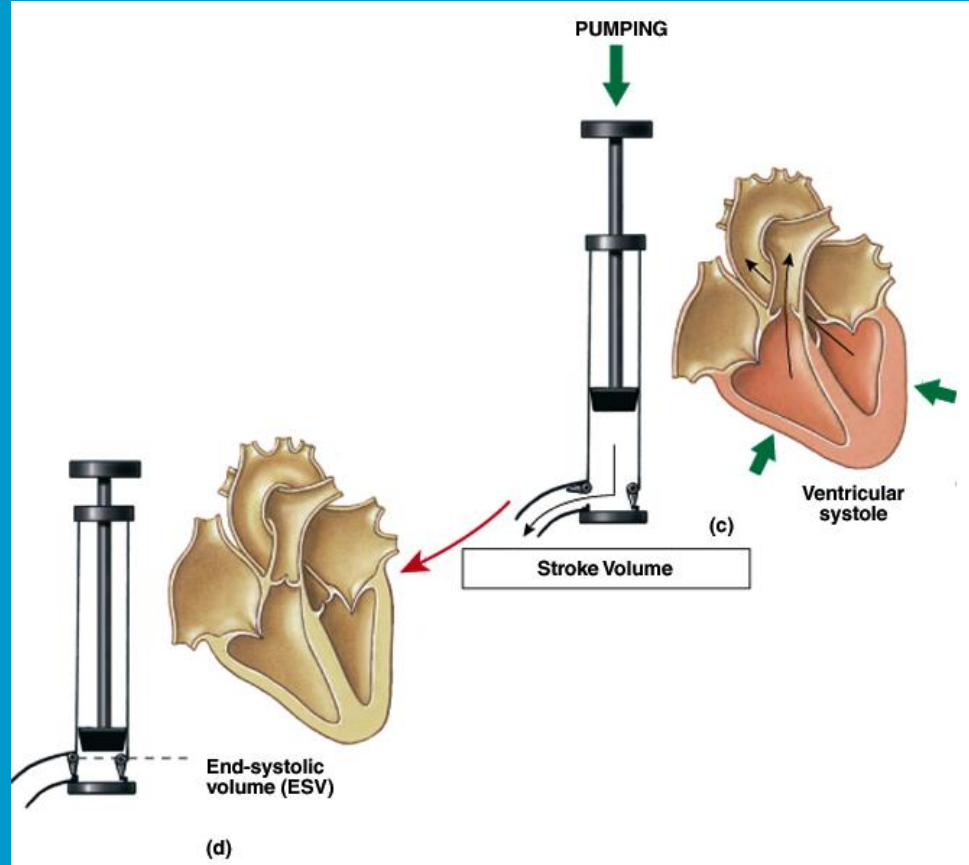
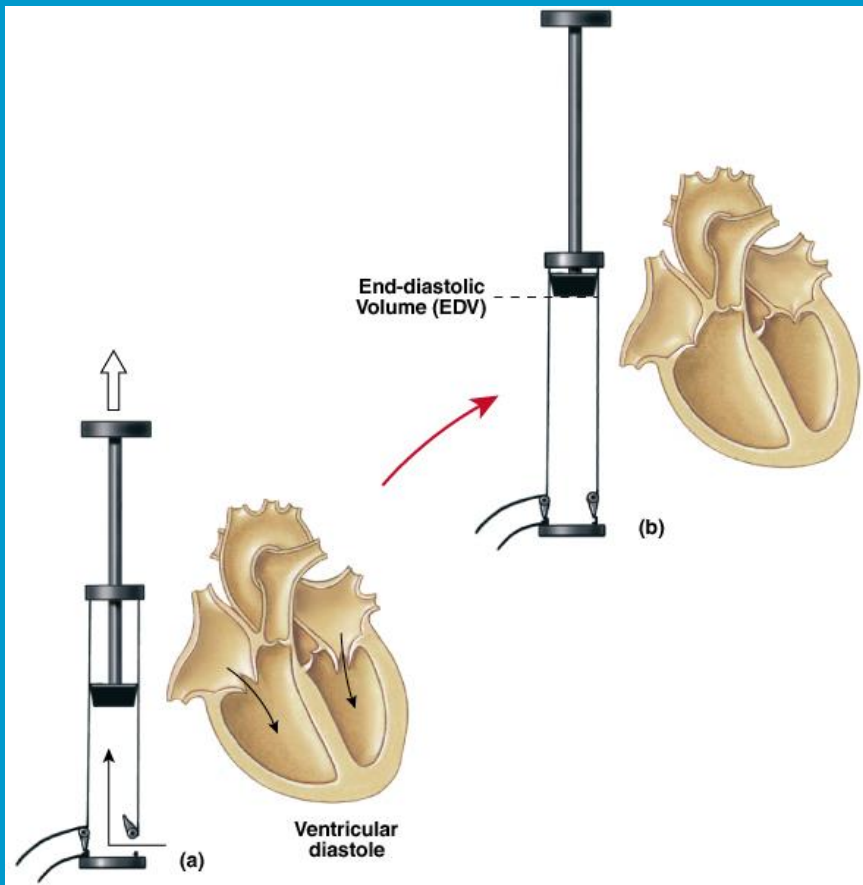
Quarta bulha: vibração de sangue na contração atrial.

Arritmias cardíacas

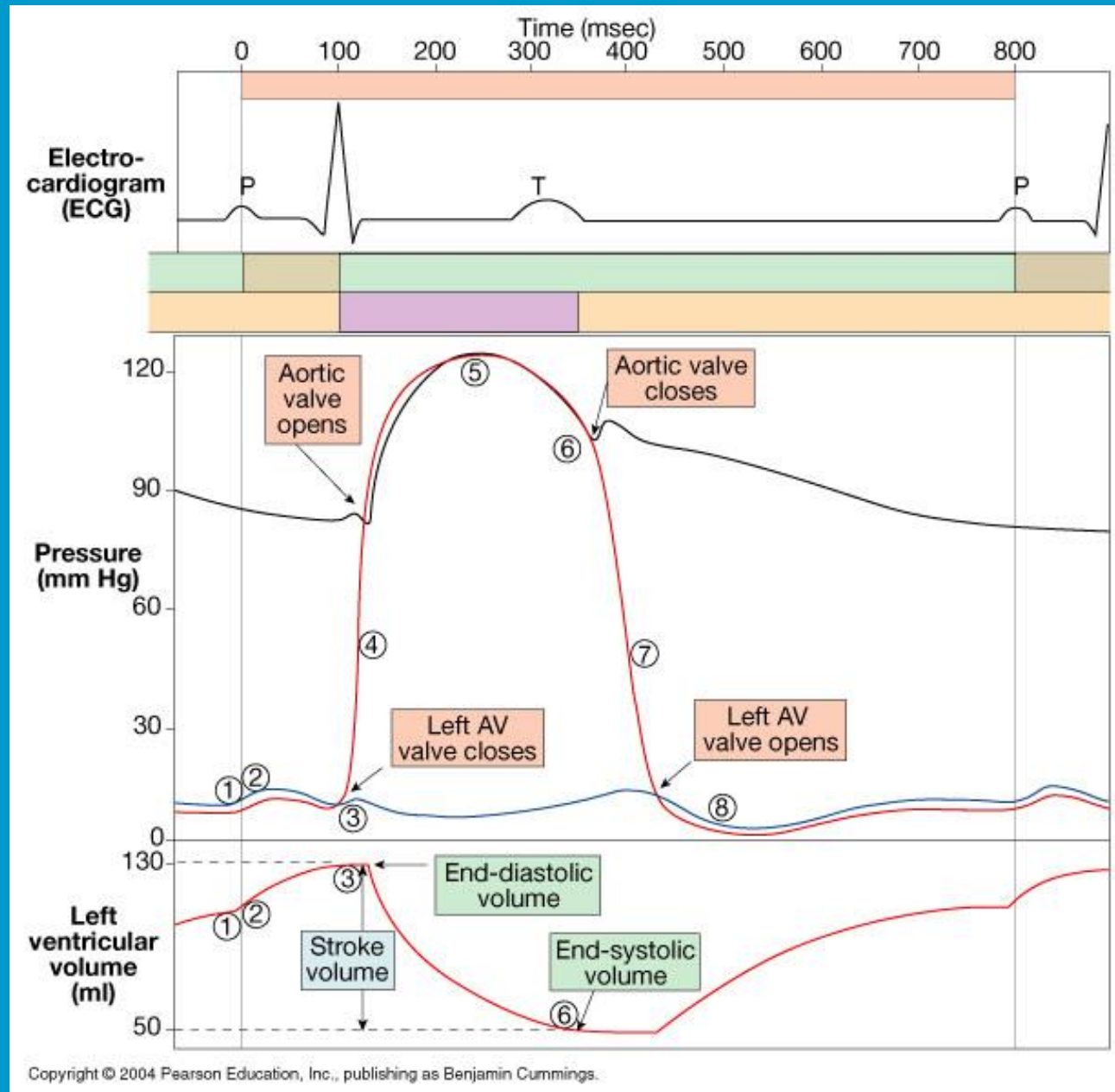
- **Taquicardia:** Frequência cardíaca maior que 100 bpm
- **Bradycardia:** Frequência cardíaca menor que 60 bpm
- **Arritmia sinusal:** Frequência cardíaca varia 5% durante o ciclo respiratório e 30% durante a respiração profunda

Ciclo cardíaco

- O coração é uma bomba que trabalha com o lado direito e esquerdo juntos
- Contrações repetitivas (**sístole**) e relaxamento (**diastole**) das câmaras cardíacas
- Sangue se move através do sistema circulatório das áreas de maior pressão para de menor pressão.
- A contração do coração produz a pressão

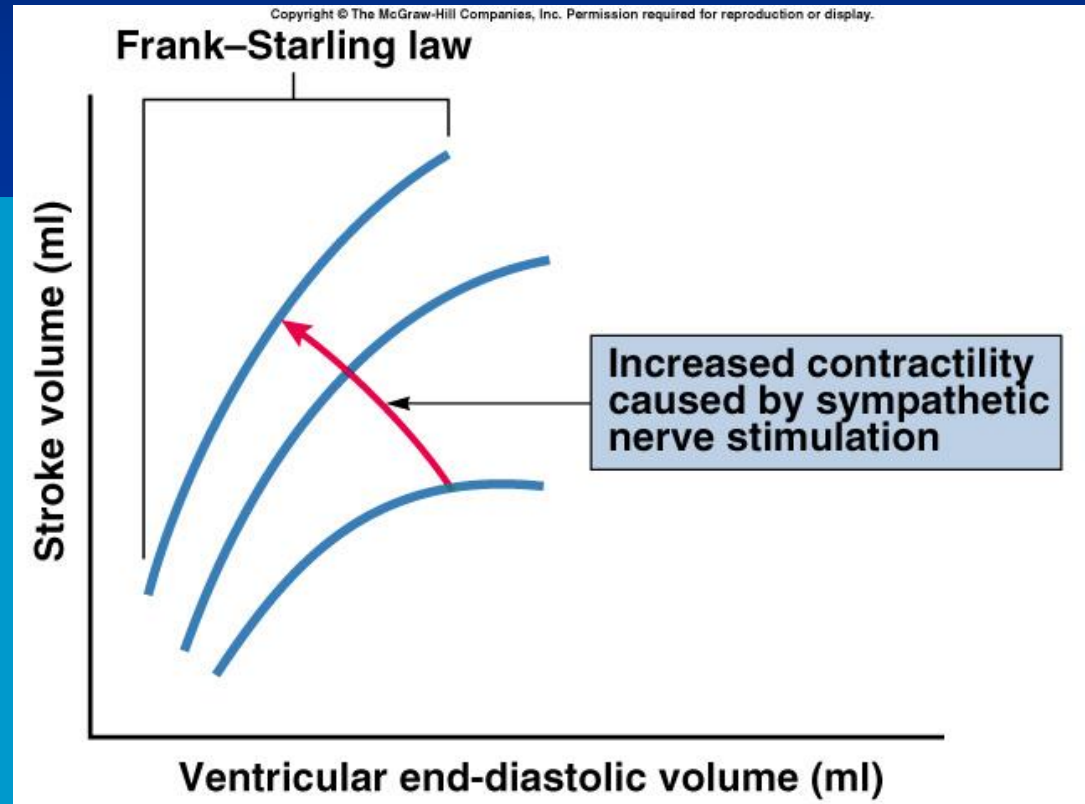


Relações entre as pressões



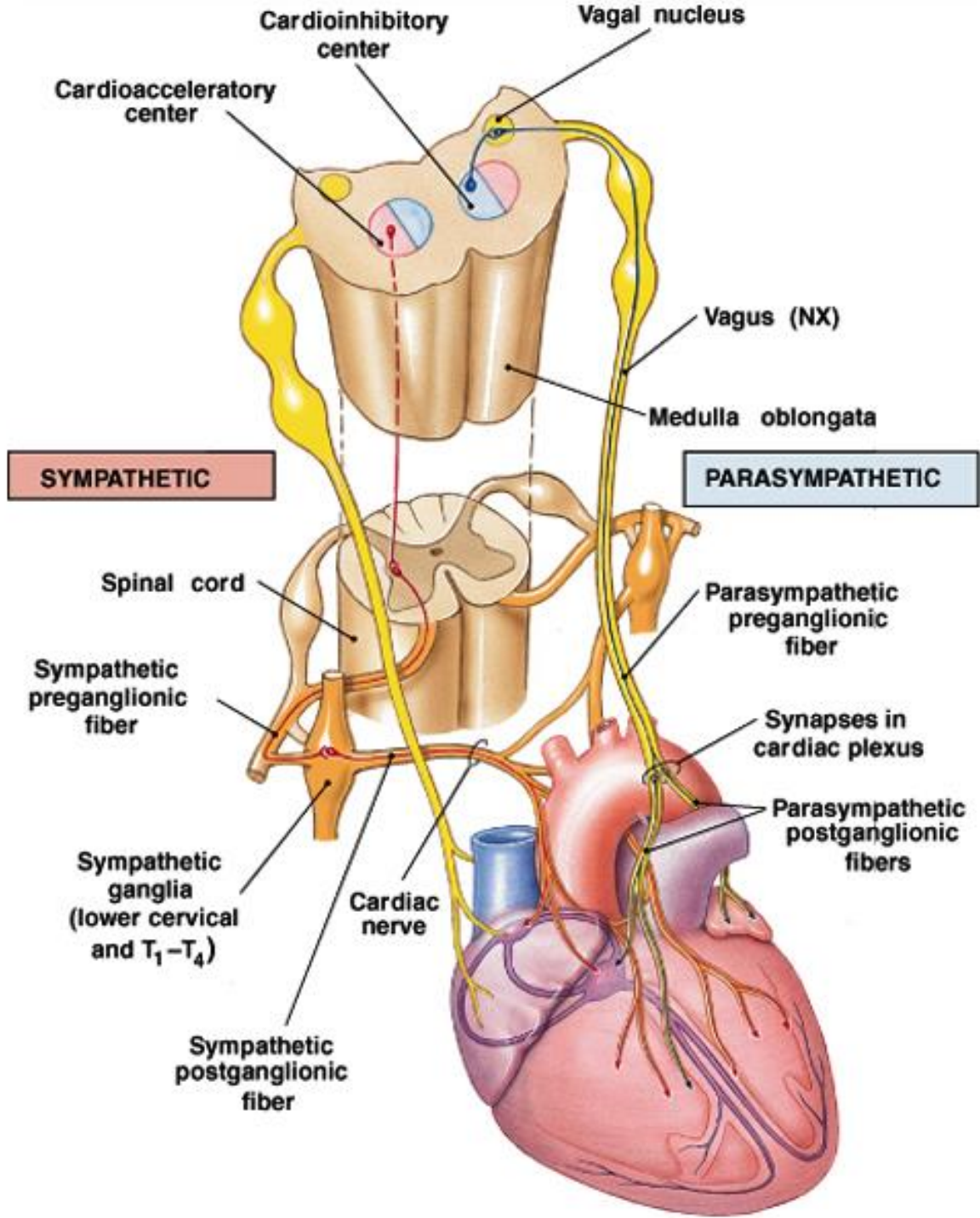
Lei de Frank-Starling

- Relação entre VDF e força de contração e VS.
- Mecanismo intrínseco:
 - Varia o grau de estiramento do miocárdio pelo VDF.
 - Com o aumento do VDF, aumenta o estiramento do miocárdio.
 - Contraí com mais força.



REFLEXOS CARDÍACOS

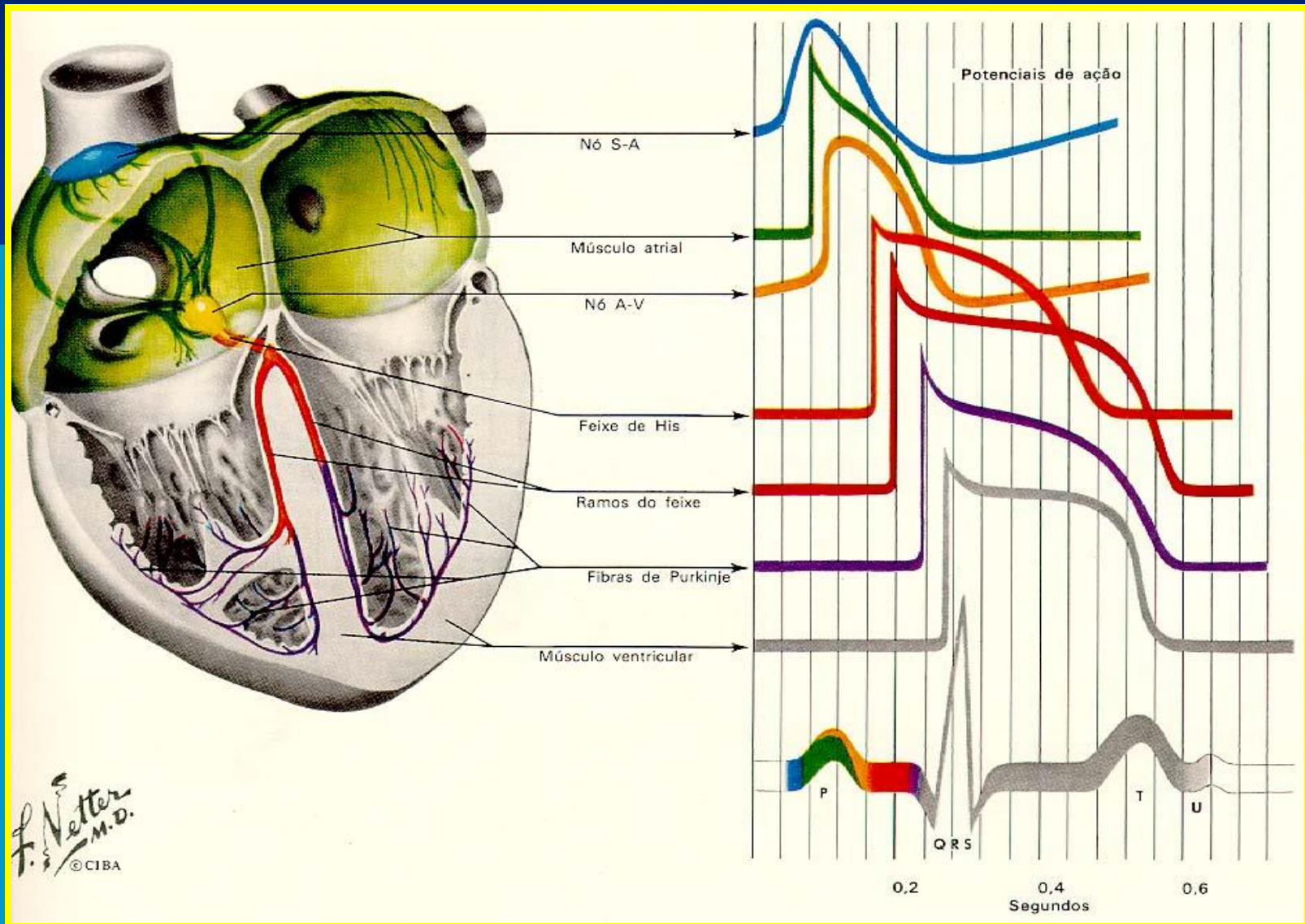
- **Efeito de Starling** – Aumento da força de contração quando ocorre um aumento do retorno venoso (pré-carga).
- **Efeito de Anrep** – Aumento da força de contração quando ocorre um aumento na pressão aórtica (pós-carga).
- **Efeito Bowdich** – Aumento da força de contração quando ocorre aumento da frequência cardíaca.



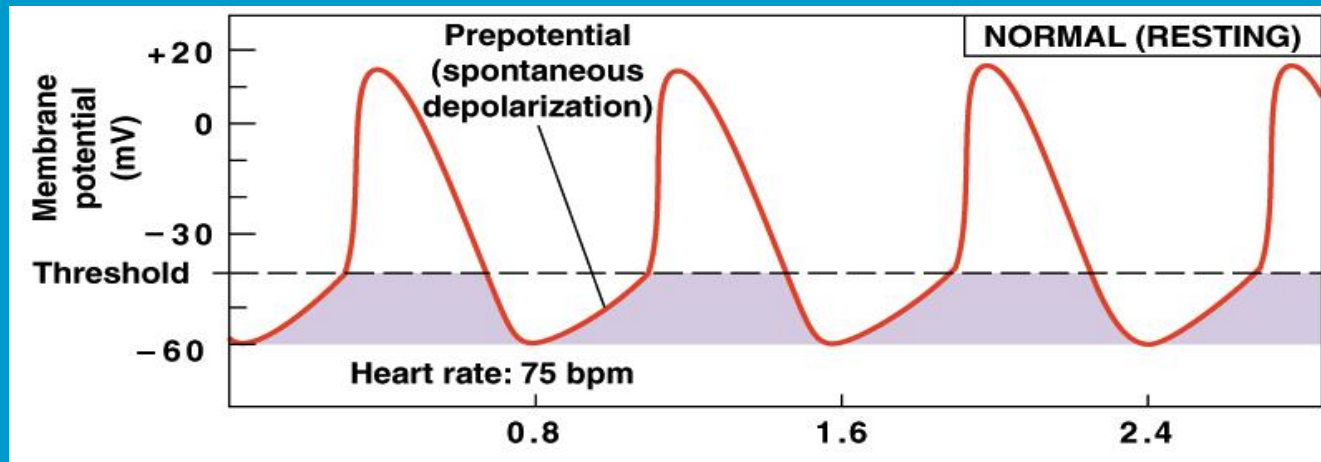
Inervação cardíaca:

Eletrofisiologia Cardíaca

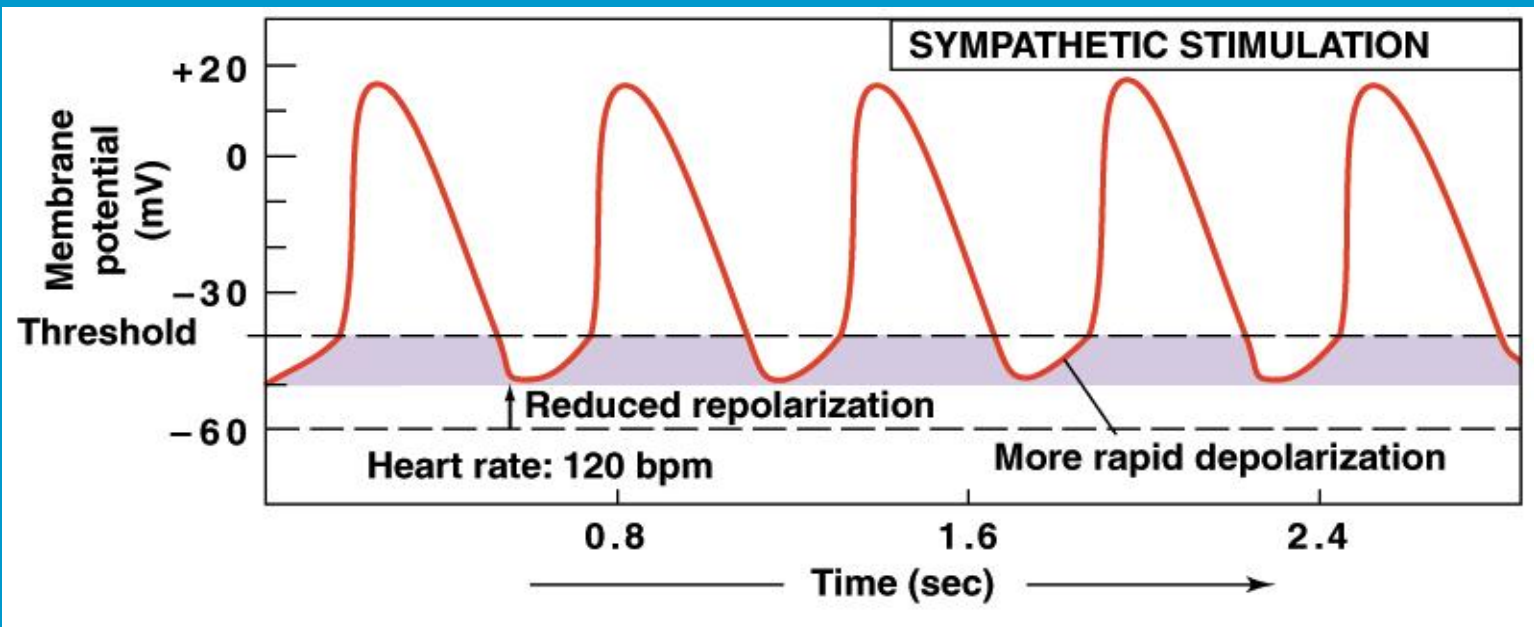
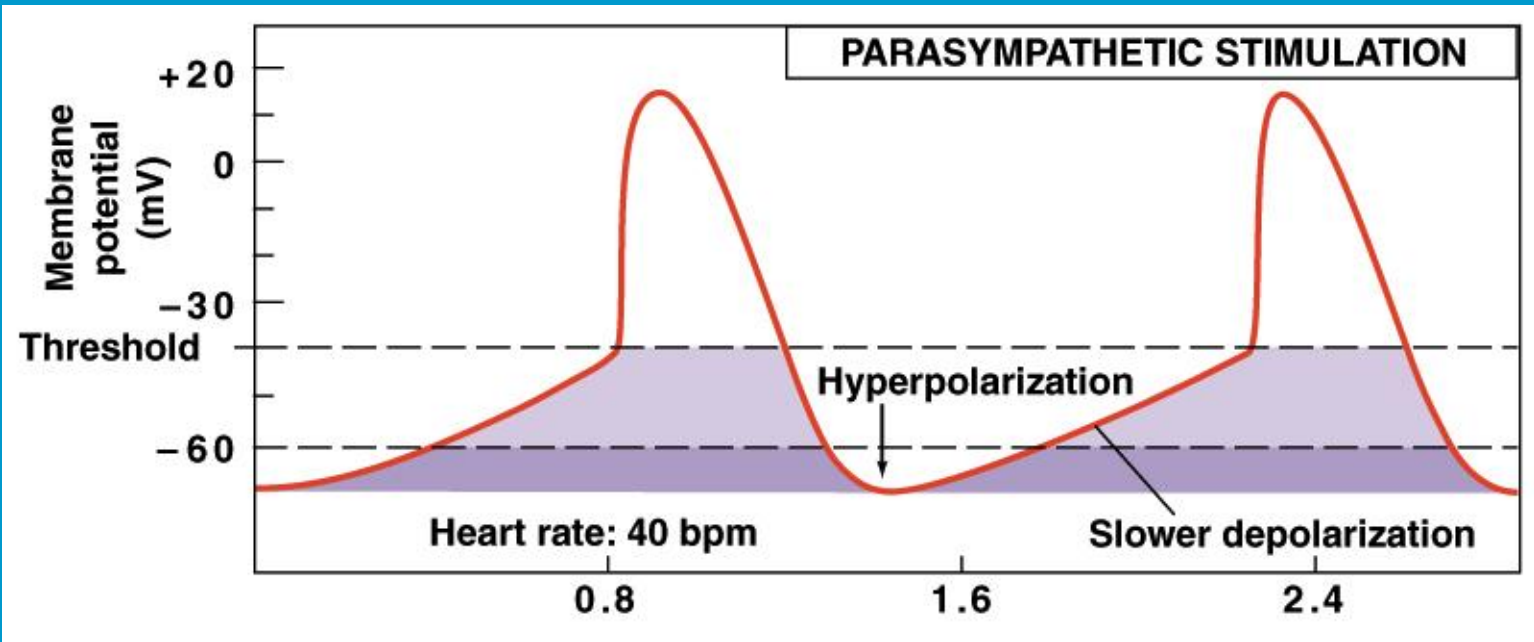
- Potencial de ação nas regiões cardíacas -



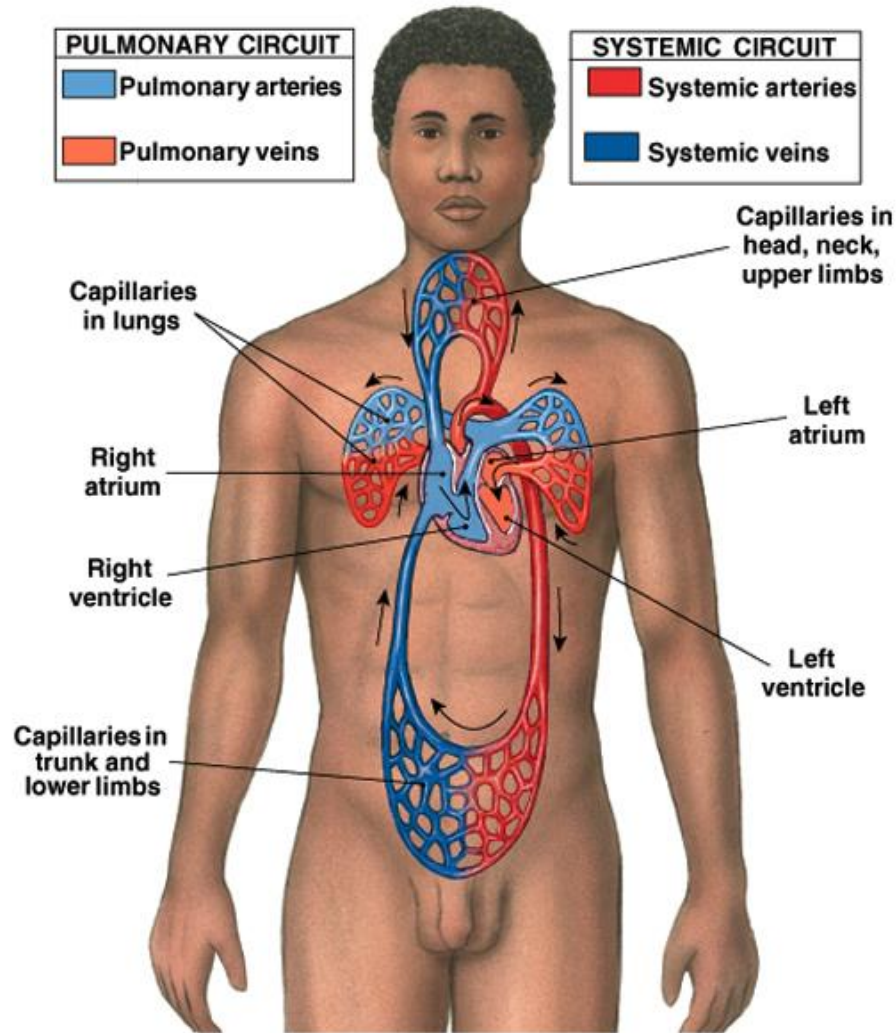
Regulação marcapasso:



- Uma vez que as células marcapasso alcançam o limiar, a magnitude e a duração do potencial de ação é a mesma.
- Para variar a frequência, o tempo entre os potenciais de ação deve variar.
 - Estes intervalos podem variar somente de duas formas:
 - A frequência de despolarização variar
 - A quantidade de despolarização requerida para alcançar o potencial puder variar.



Fisiologia Vascular



Sistema vascular periférico

- **Vasos sistêmicos**

- Transporta sangue para a maior parte do corpo partindo do ventrículo esquerdo e retornando para o átrio direito

- **Vasos pulmonares**

- Transporta sangue do ventrículo direito para os pulmões e retorna para o átrio esquerdo

- Vasos sanguíneos são regulados para assegurar que a pressão sanguínea seja alta o suficiente para atender as necessidades metabólicas dos tecidos

Estrutura dos vasos sanguíneos

■ Arterias

- Elásticas, parede muscular, arteríolas

■ Capilares

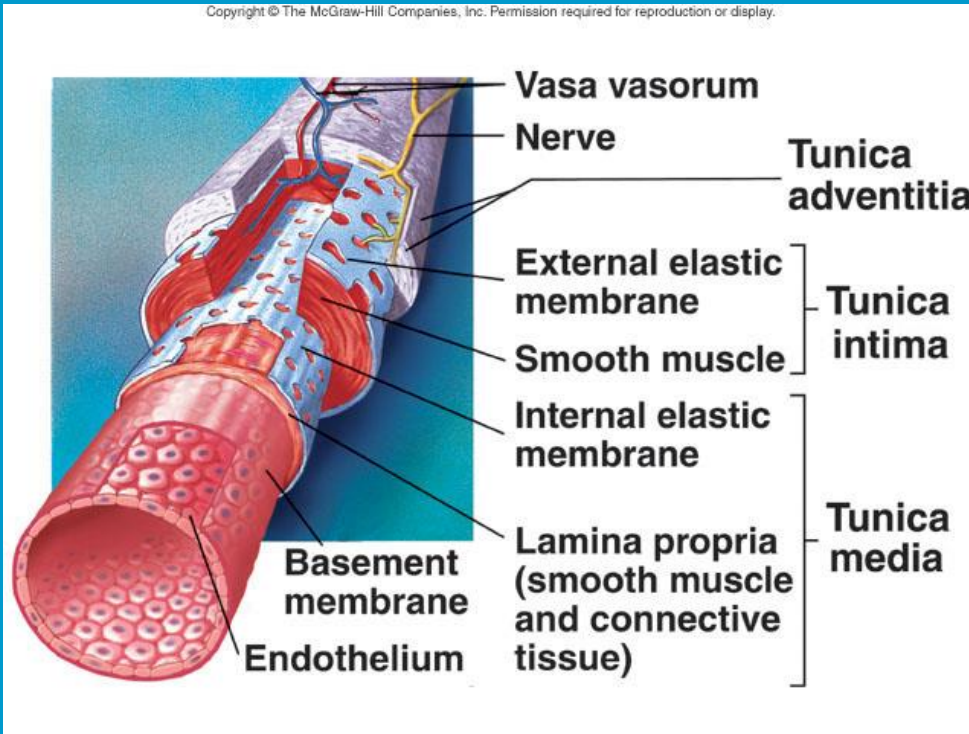
- Sangue flui das arteríolas para os capilares
- A maioria das trocas entre o sangue e o espaço intersticial ocorre através das paredes.
- Fluxo sanguíneo dos capilares para o sistema venoso

■ Veias

- Vênulas, pequenas, médias e grandes

Estrutura das Arterias e Veias

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



- Três camadas, exceto os capilares e as vênulas
- Tunica intima (interna)
 - Endotélio
- Tunica média
 - Vasoconstrição
 - Vasodilação
- Tunica adventicia (externa)
 - Recobre o vaso sanguíneo

Estrutura das artérias

■ Elásticas

- Diâmetros maiores, alta pressão
- Musculares
- Musculatura lisa permite a constrictão ou dilatação regulando o suprimento sanguíneo

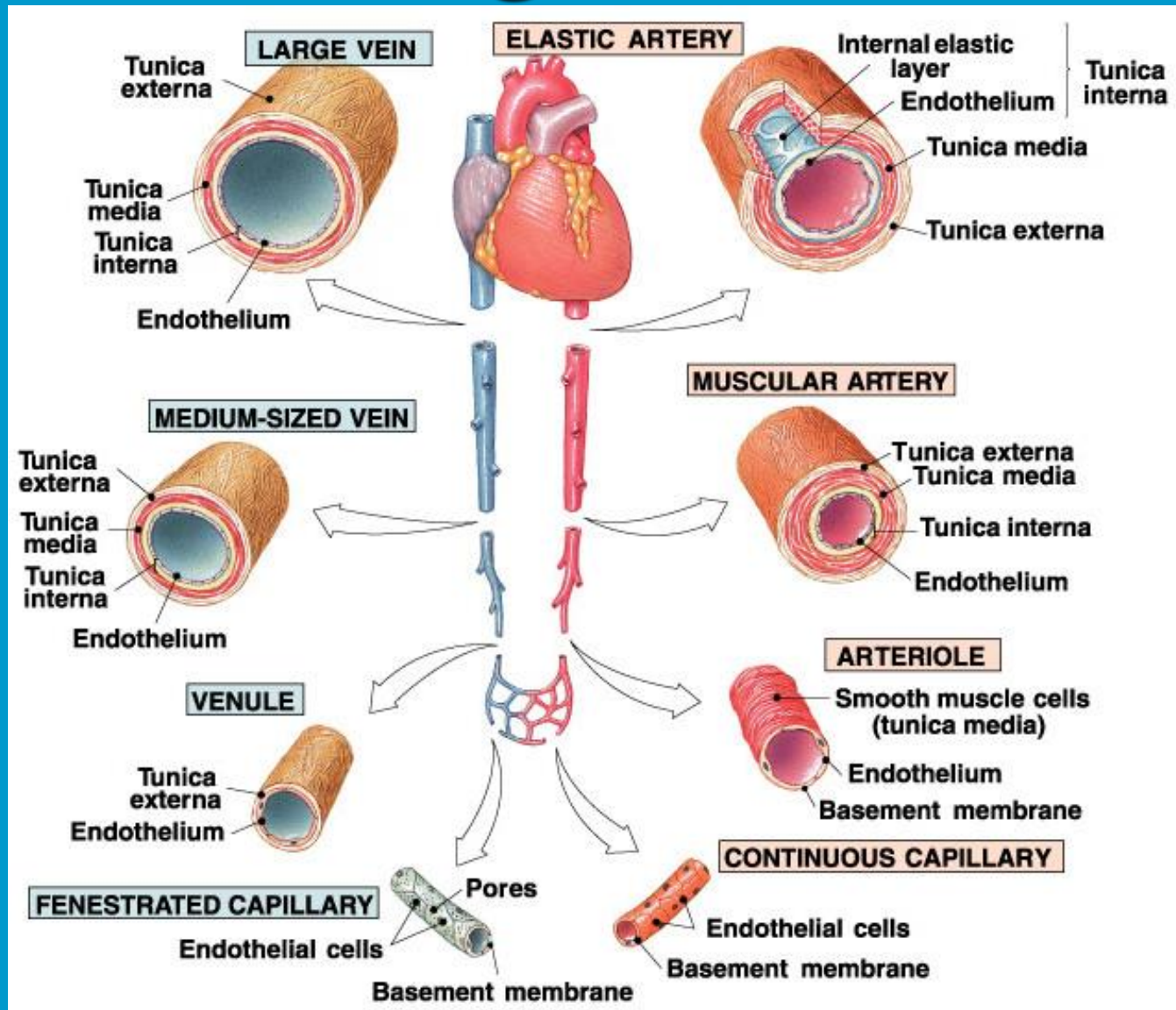
■ Arteriolas

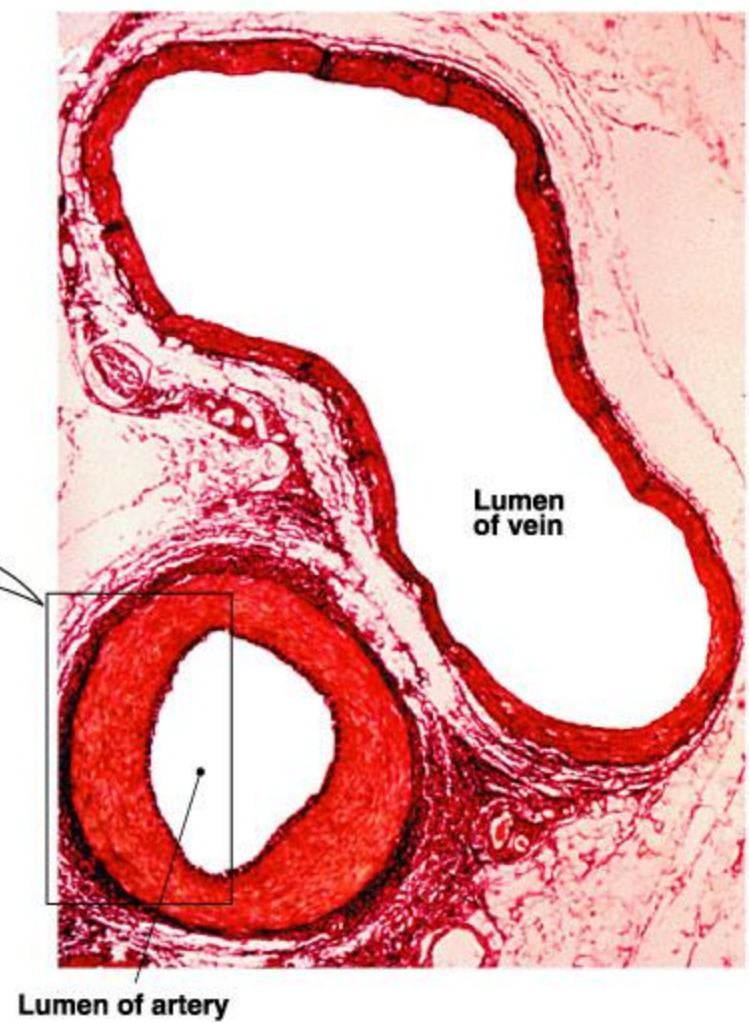
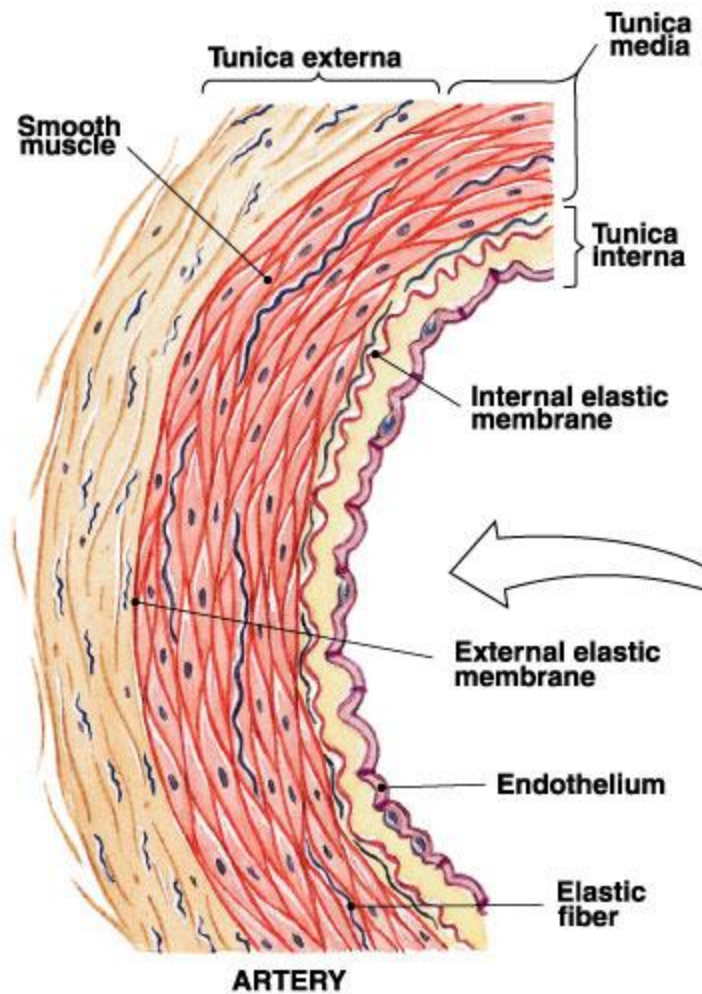
- Transporte de sangue de pequenas artérias até os capilares

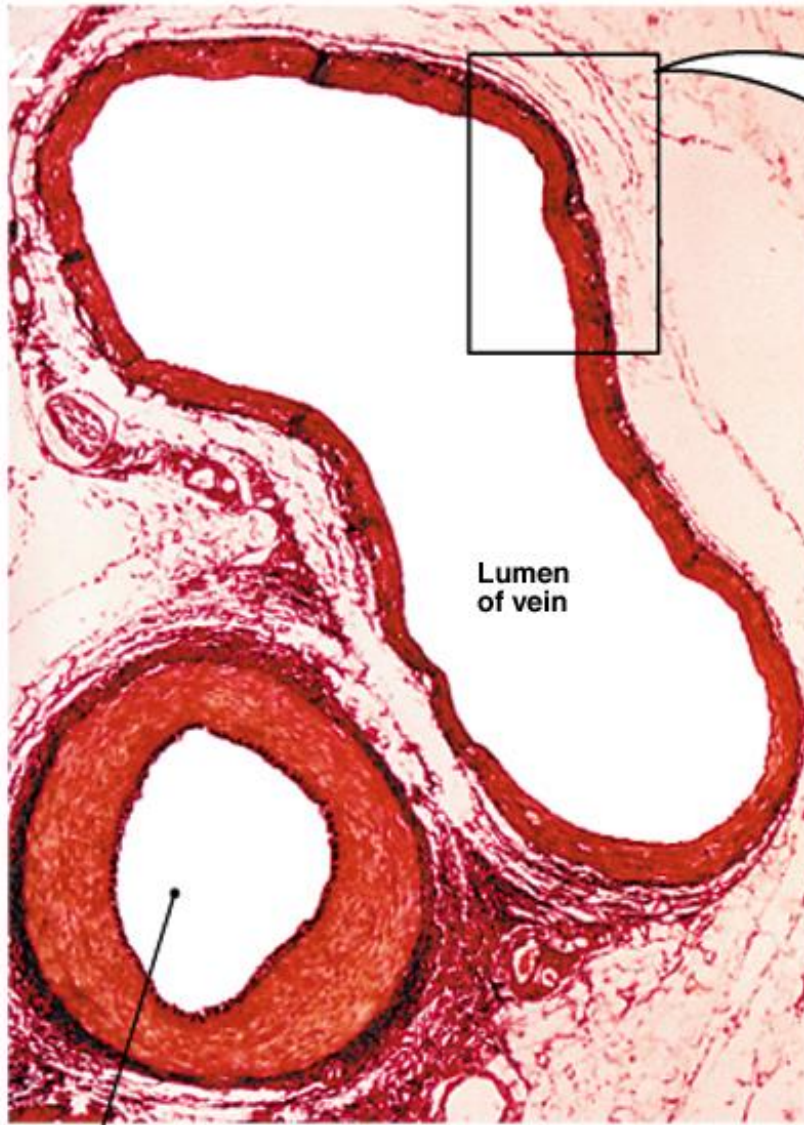
Estrutura das veias

- **Vênulas e pequenas veias**
 - Tubos de endotélio e delicada membrana basal
 - **Veias grandes e médias**
- **Válvulas**
 - Força o sangue de volta ao coração e não em direção oposta
- **Anastomose arteriovenosa**
 - Permite que o sangue flua das arteríolas para as veias sem passar através dos capilares

Comparação entre os vasos sanguíneos

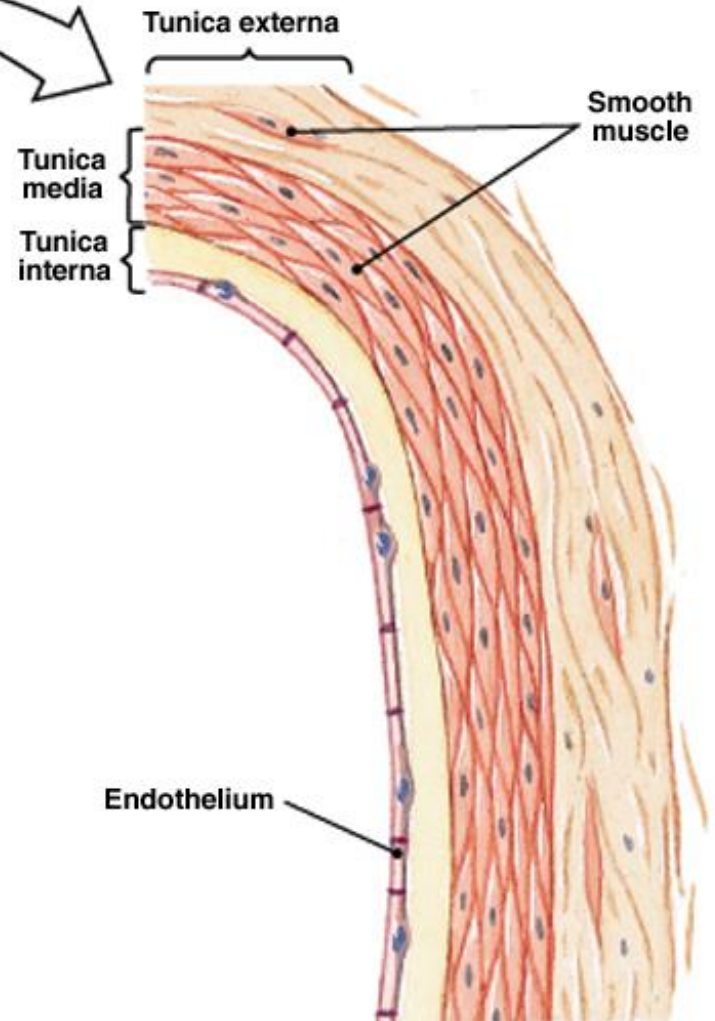






Lumen of artery

Lumen of vein



Endothelium

VEIN

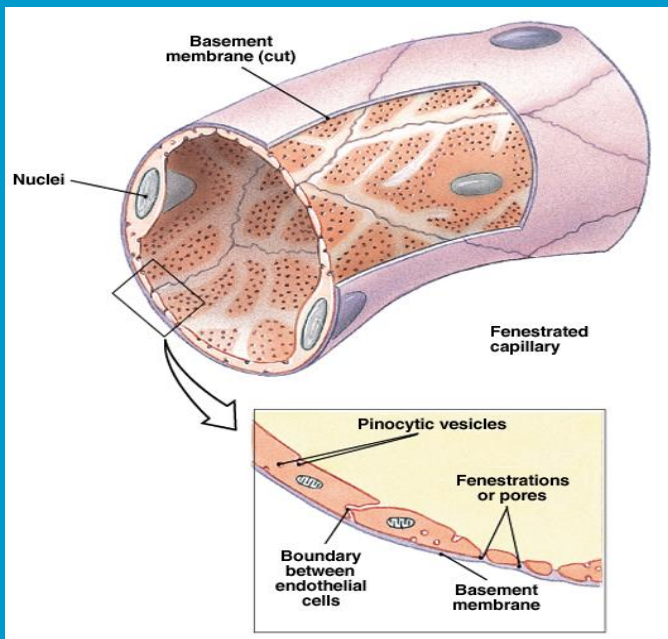
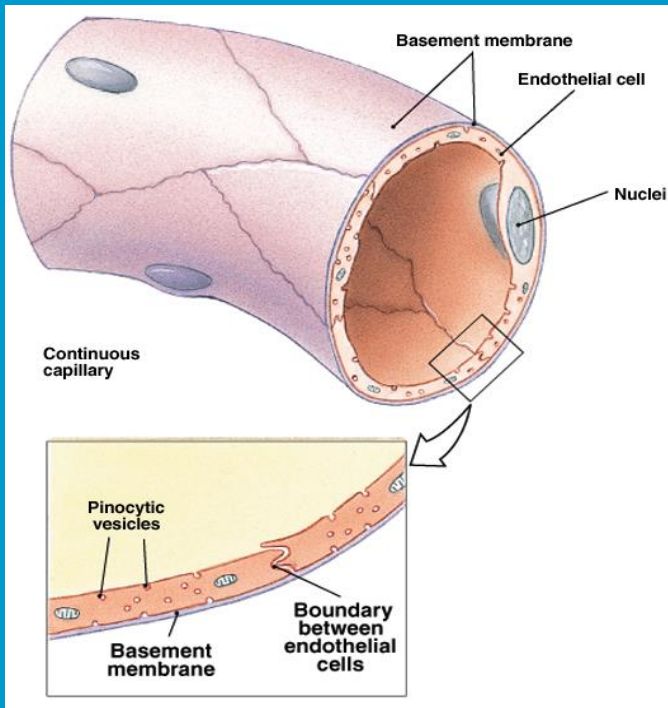
Tunica externa

Tunica media
Tunica interna

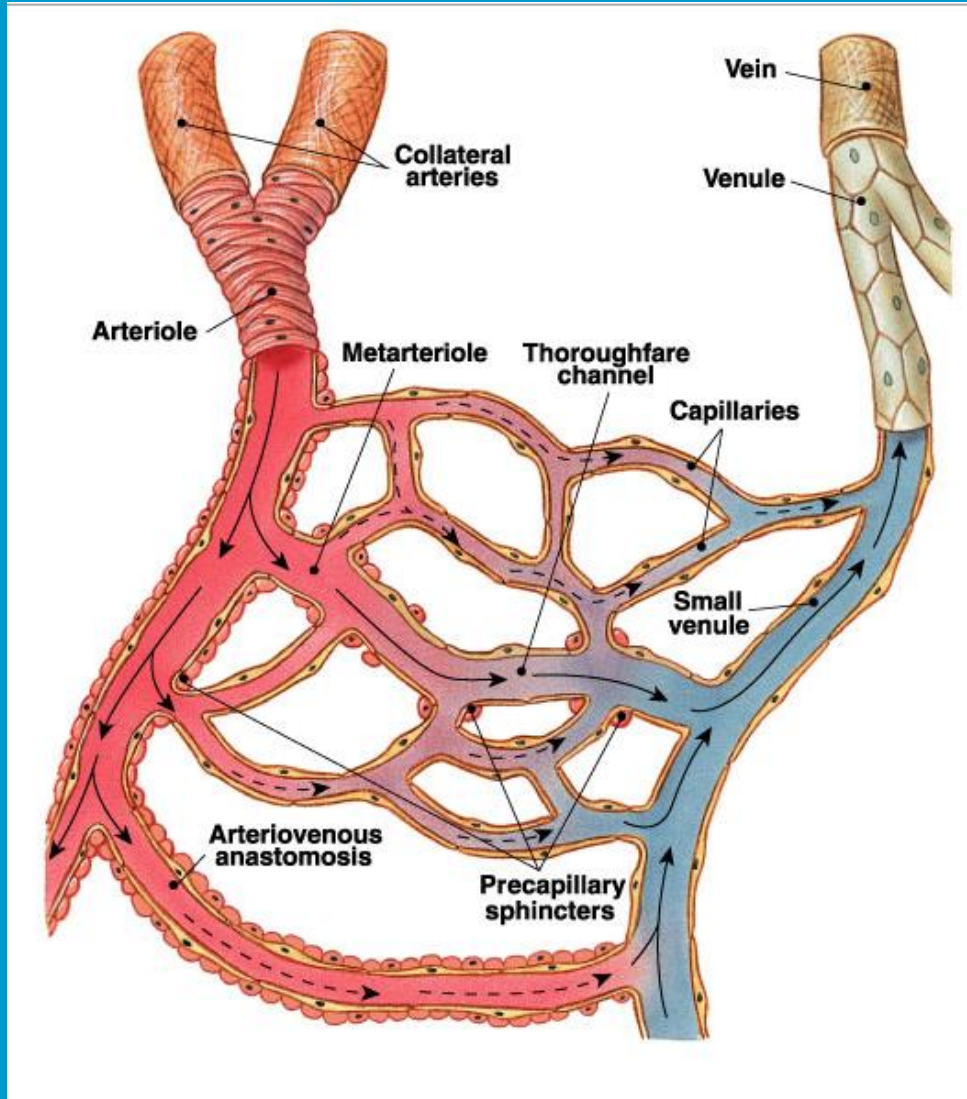
Smooth muscle

Capilares:

- A parede do capilar consiste principalmente de células endoteliais
- Tipos classificadas por **diâmetro/permeabilidade**
 - Contínuo
 - Não possui fenestras
 - Fenestrados
 - Apresenta poros
 - Sinusoidal
 - Grandes diâmetros com grandes fenestras

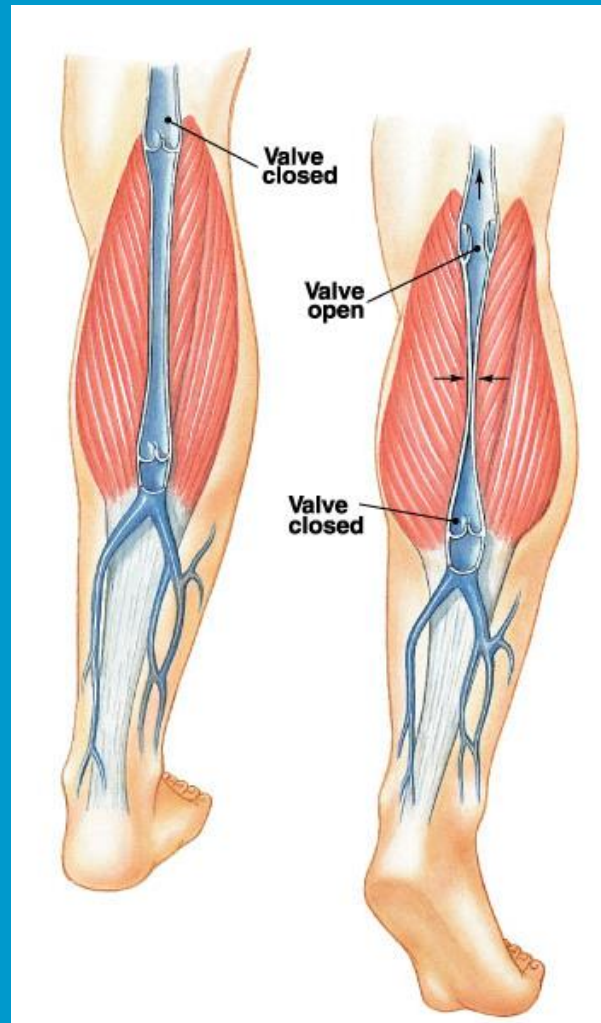


Rede de capilares



- O fluxo sanguíneo flui através das metarteríolas, e então através da rede de capilares
- Venulas drenam a rede
- Músculo liso nas arteríolas, metarteríolas, esfíncteres pre-capilares regulam o fluxo sanguíneo

Contração muscular e retorno venoso:



Circulação pulmonar

- Move o sangue para e dos pulmões
- Suprimento sanguíneo pulmonar
 - Proveniente do átrio direito
- **Artérias pulmonares**
 - Ramos da circulação pulmonar que se projeta para os pulmões
- **Veias pulmonares**
 - Deixam os pulmões e chegam no átrio esquerdo

Circulação sistêmica: Artérias

■ Aorta

- Da qual todas as artérias são derivadas direta ou indiretamente
- Partes:
 - Ascendente, descendente, torácica, abdominal

■ Artérias coronarianas

- Suprimento sanguíneo para o coração

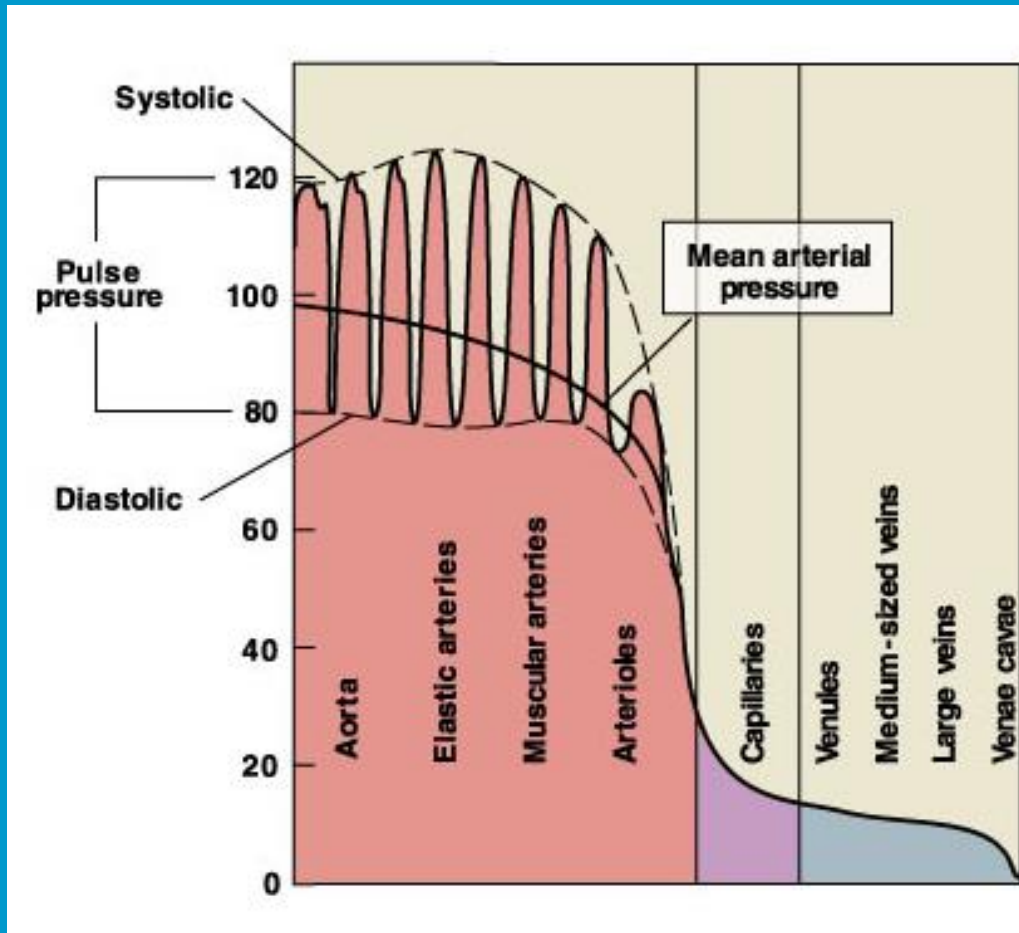
Circulação sistêmica: Veias

- Retorna o sangue do corpo para o átrio direito
- Veias maiores
 - Sinus coronariano (coração)
 - Veia cava superior (cabeça, pescoço, torax, membros superiores)
 - Veia cava inferior (abdomen, pelvis, membros inferiores)
- Tipos de veias
 - Superficial, profunda

Dinâmica da circulação sanguínea

- Interrelação
 - Pressão
 - Fluxo
 - Resistência
 - Mecanismos que controlam a pressão arterial
 - Fluxo sanguíneo através dos vasos

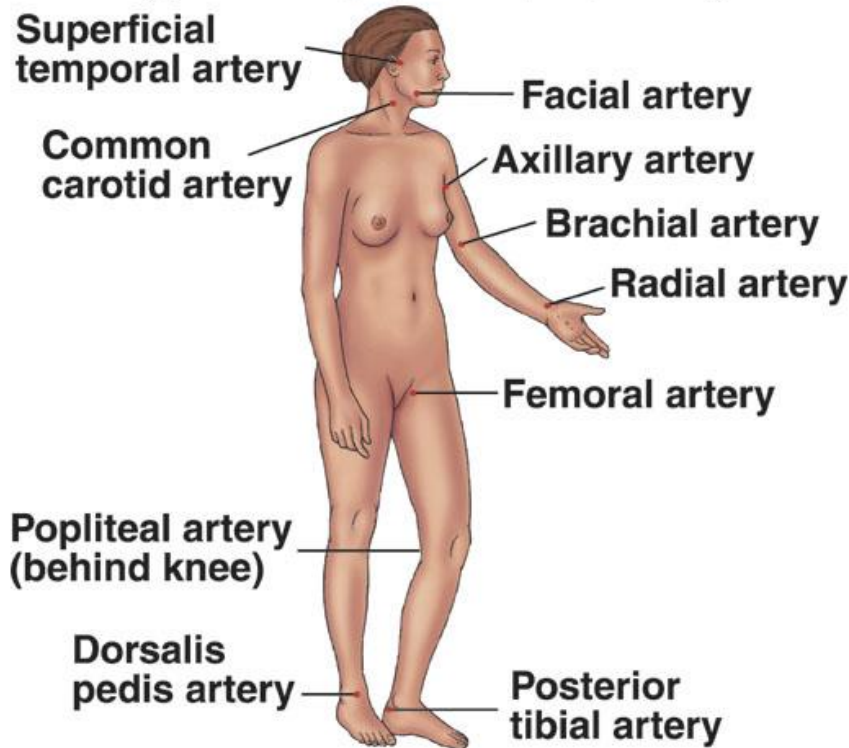
Resistência e pressão



- Pressão sanguínea média **100 mm Hg** na aorta e cai para 0 mmHg no átrio direito
- A maior redução ocorre nas arteríolas que regulam o fluxo de sangue para os tecidos

Pressão de pulso

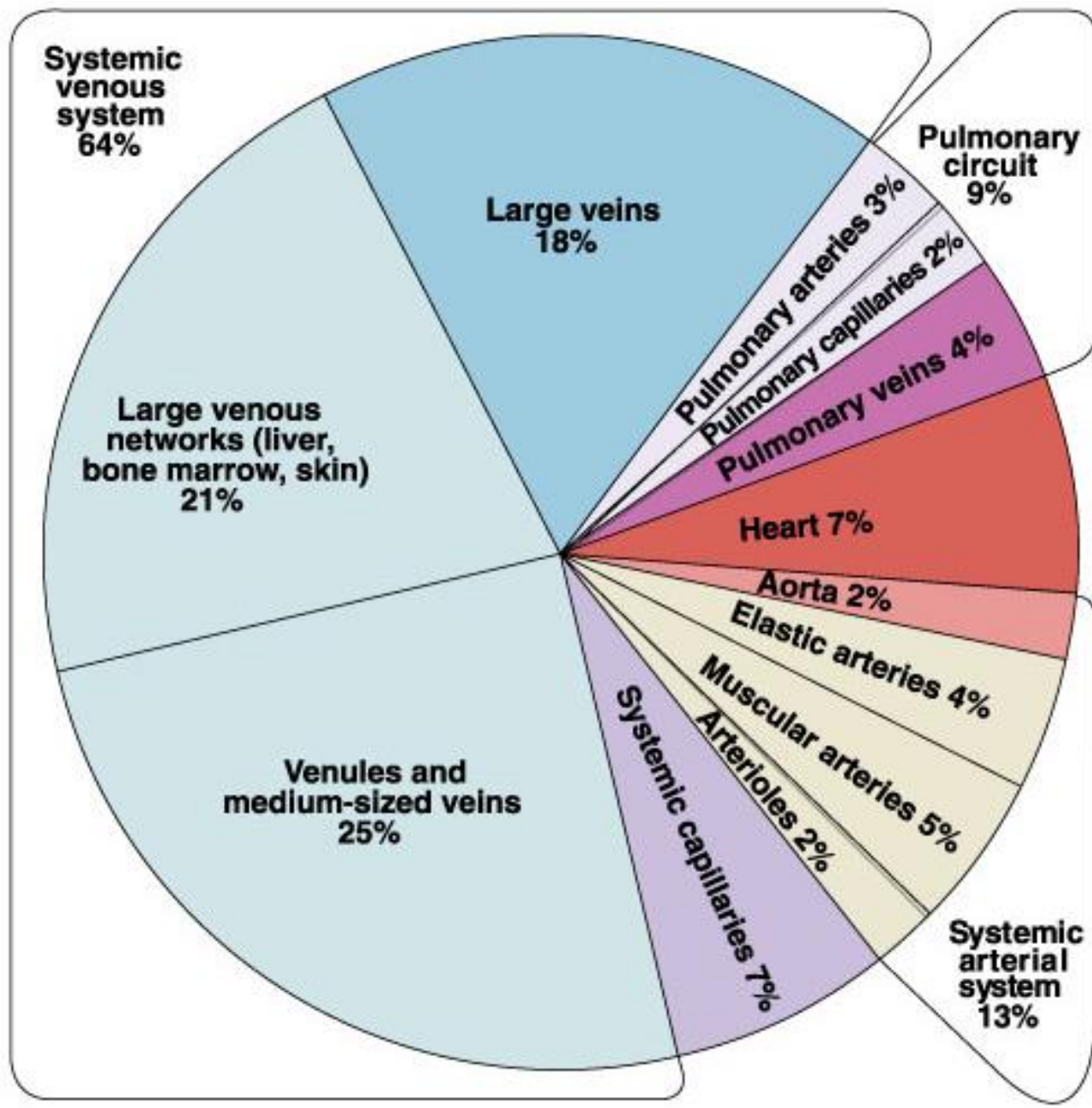
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



- Diferença entre as pressões **sistólica e diastólica**
- Aumenta quando o volume de sangue aumenta ou a complascência vascular diminui

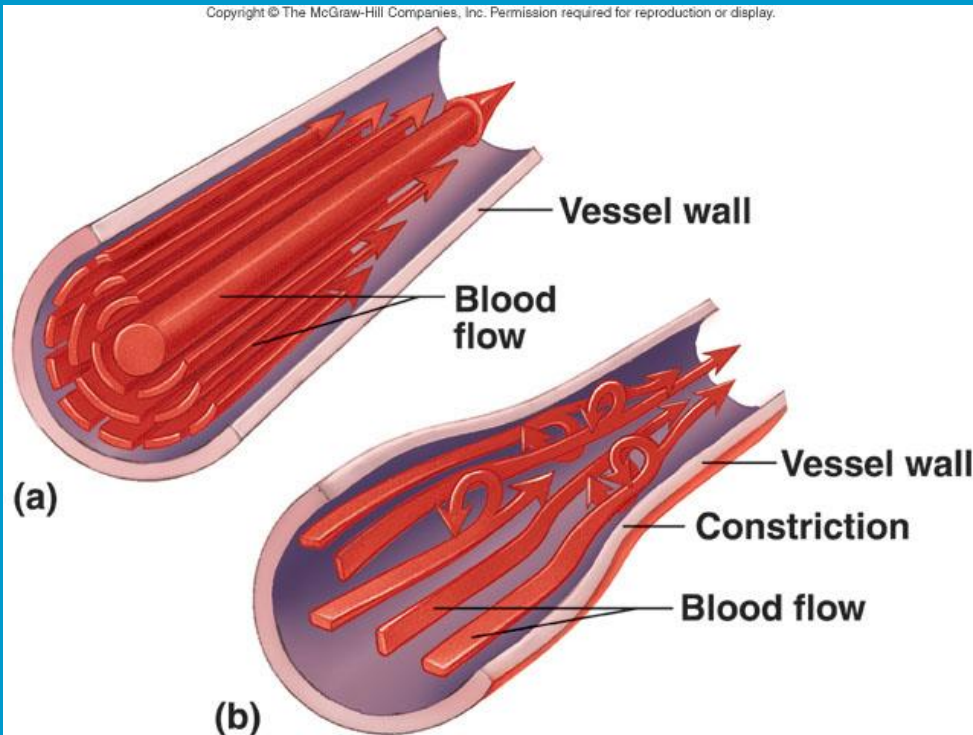
Fisiologia da Circulação Sistêmica

- Determinada por:
 - Anatomia da circulação sistêmica
 - Dinâmica do fluxo sanguíneo
 - Mecanismo regulatório que controla o coração e os vasos sanguíneos
- Volume sanguíneo
 - Maioria nas veias
 - Menores volumes nas artérias e nos capilares



Fluxo laminar e turbulento

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



■ Fluxo laminar

■ Linear

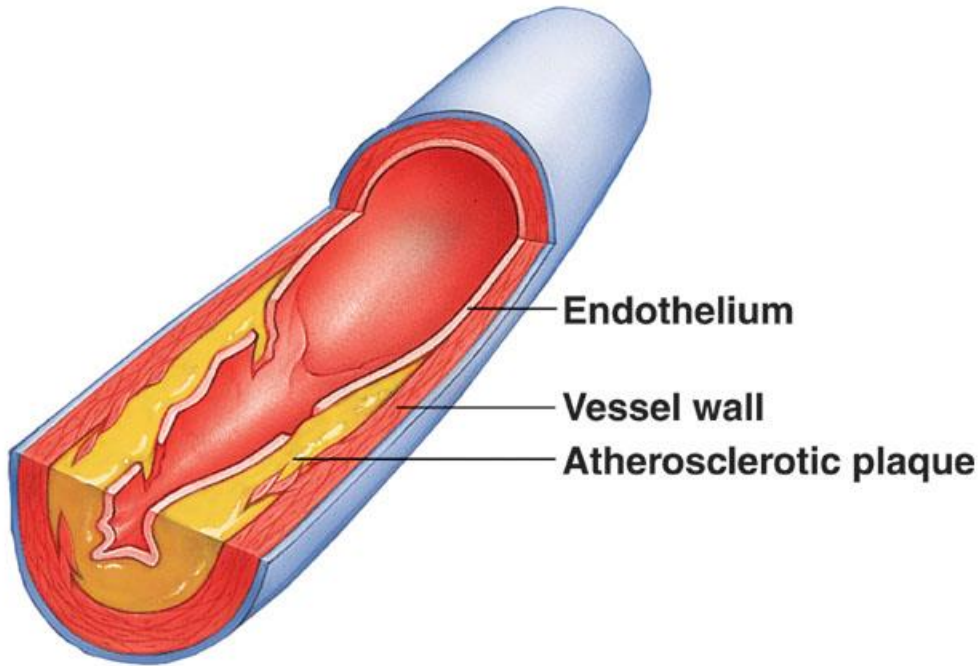
- Uma parte se move mais rápido e outra mais lento

■ Fluxo turbulento

- Interrompido
- Fluido passa por uma constricção e turbilhona através da superfície

Idade das artérias

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

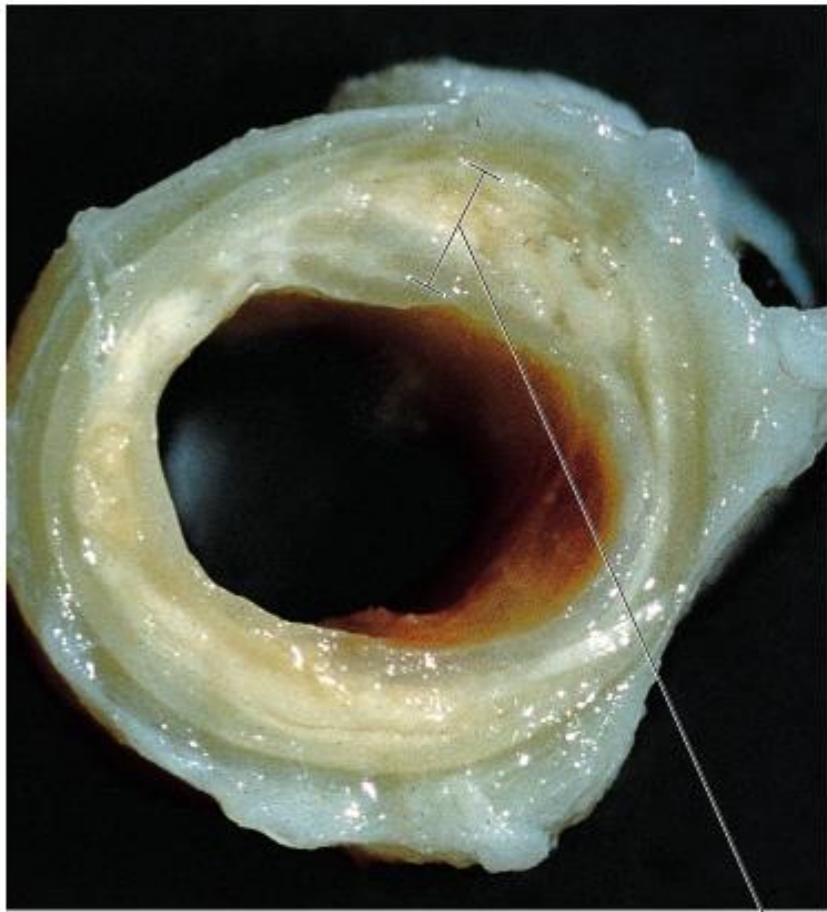


■ Arterioesclerose

- Termo geral usado para as variações degenerativas nas artérias tornando-as menos elásticas

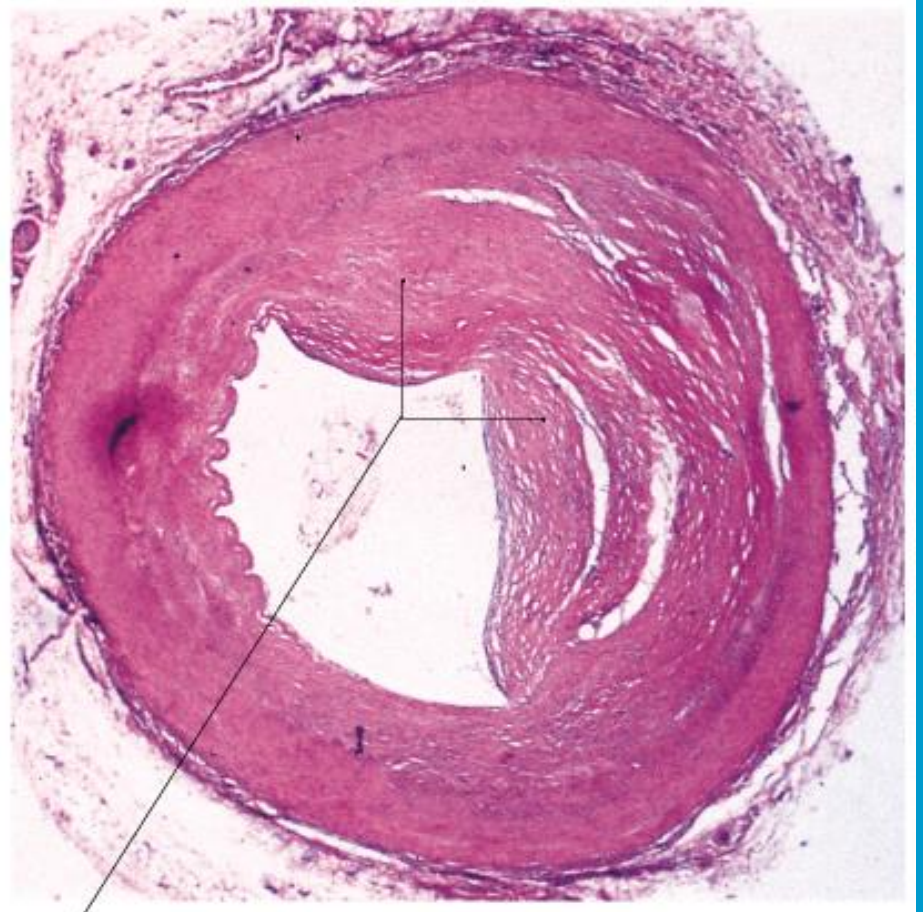
■ Aterosclerose

- Deposição de placas de gordura nas paredes das artérias



(a)

Plaque deposit in
vessel wall

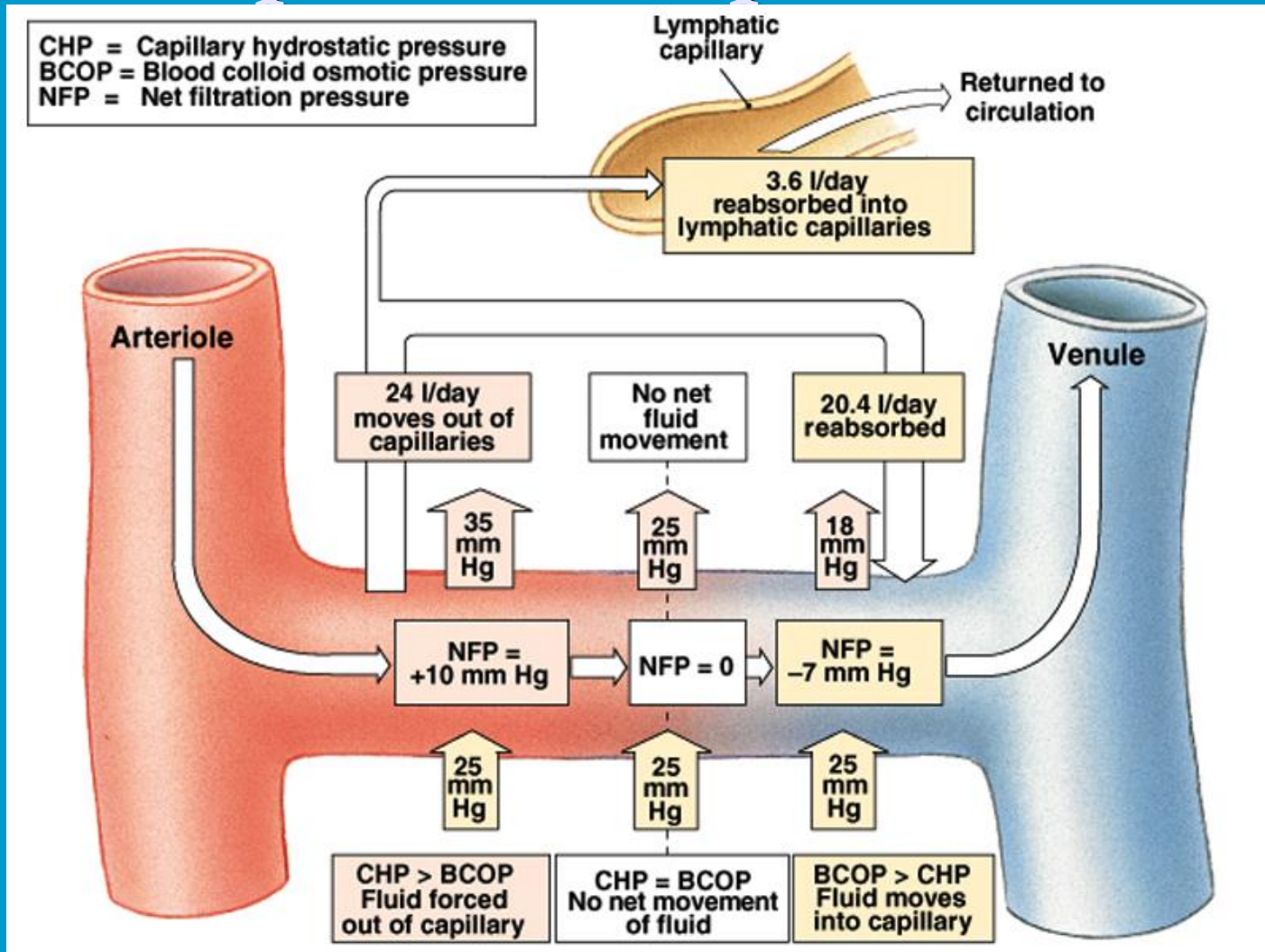


(b)

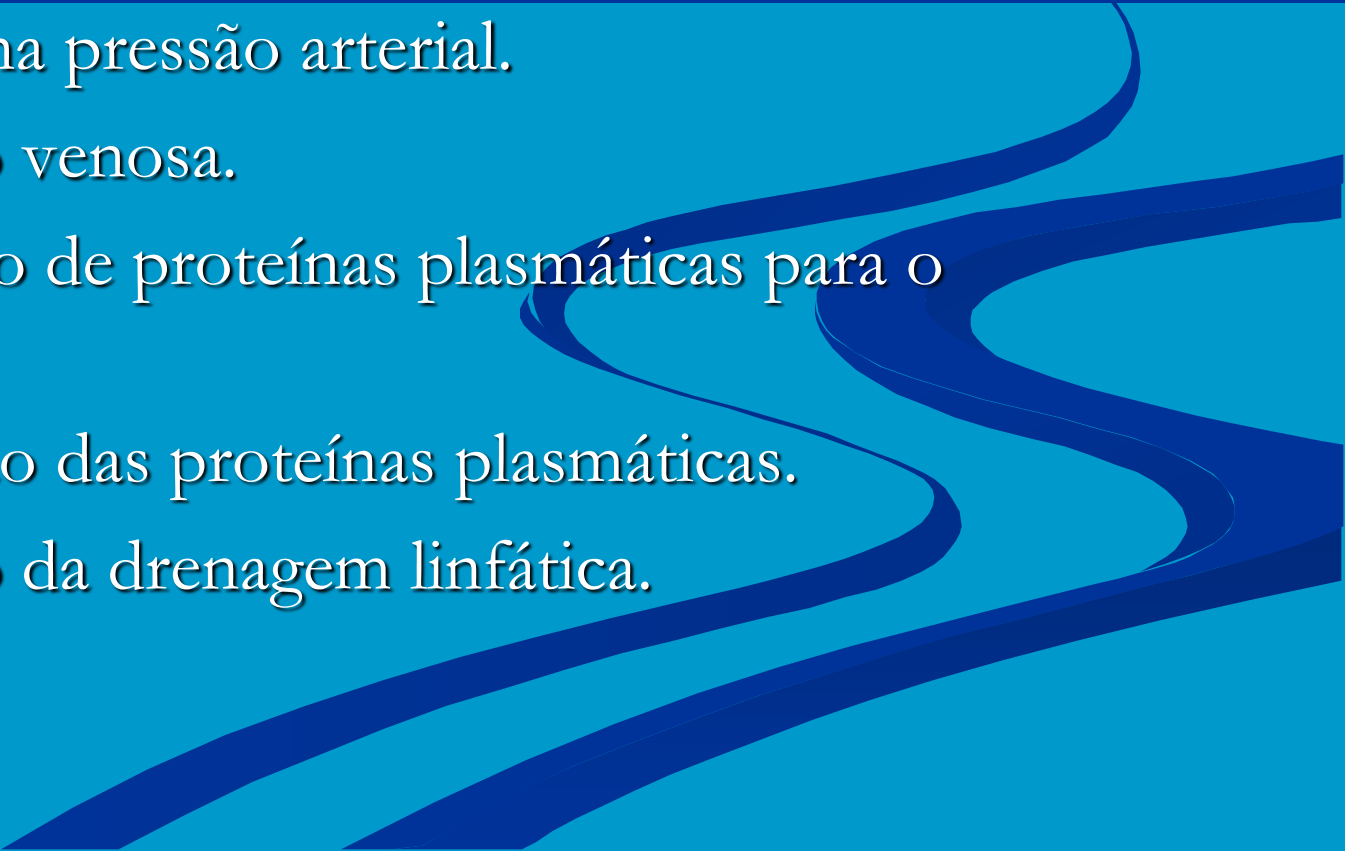
Troca capilar e regulação do volume intersticial

- Volume sanguíneo, permeabilidade capilar e osmose afetam o movimento de fluído dos **capilares**
- Um movimento de fluído ocorre do sangue para os tecidos. O fluído ganho pelos tecidos é removido pelo **sistema linfático**.

Troca de fluido através das paredes capilares



Causas do Edema

- Acúmulo excessivo de fluido no tecido.
 - Pode resultar de:
 - Elevação na pressão arterial.
 - Obstrução venosa.
 - Vazamento de proteínas plasmáticas para o interstício.
 - Diminuição das proteínas plasmáticas.
 - Obstrução da drenagem linfática.
- 

Características das veias e efeito da gravidade na pressão sanguínea

Características das veias

- O retorno venoso para o coração aumenta devido ao aumento no volume sanguíneo, tônus venoso e dilatação das arteríolas

Efeito da gravidade

- Em pé a a pressão hidrostática causada pela gravidade aumenta o fluxo sanguíneo para o coração e diminui para porções superiores ao coração

Controle do fluxo sanguíneo para os tecidos

■ Controle local

- Em muitos tecidos o fluxo sanguíneo é proporcional às necessidades metabólicas dos tecidos

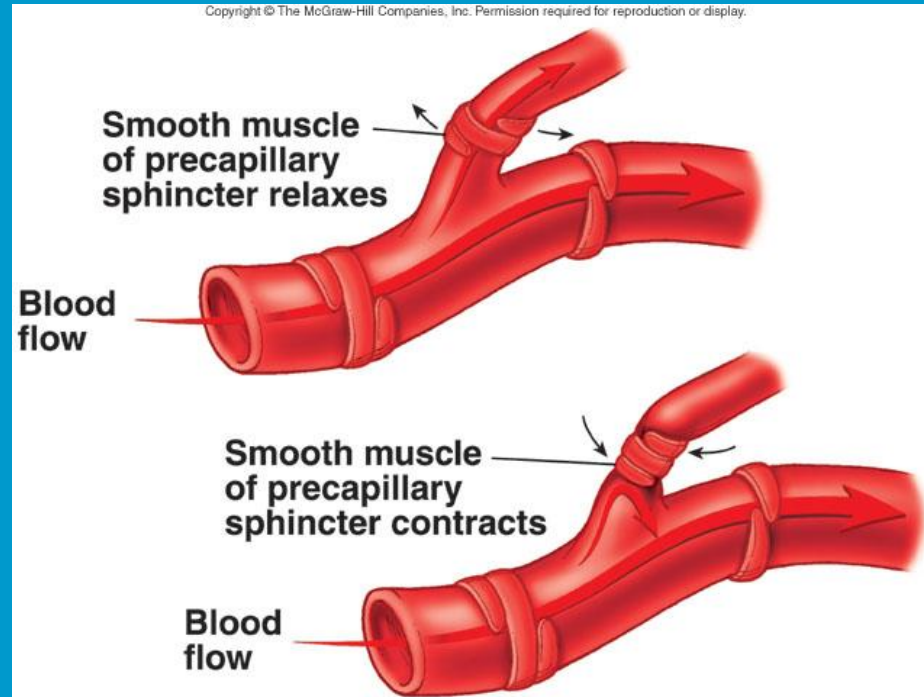
■ Sistema nervoso

- Responsável pelo fluxo sanguíneo e pela manutenção da pressão

■ Controle hormonal

- Potenciais de ação do sistema nervoso simpático estimulam a liberação de adrenalina e noradrenalina

Controle local do fluxo sanguíneo para os tecidos



- Fluxo sanguíneo pode aumentar de 7 a 8 vezes como resultado da vasodilatação das arteríolas e esfínteres capilares em resposta ao aumento da taxa de metabolismo
 - Substâncias produzidas com o aumento do metabolismo
 - Vasomotricidade contração periódica e relaxamento dos esfínteres pré-capilares