



SISTEMA CARDIOVASCULAR

Função cardíaca

Profa. Dra. Iris Callado Sanches

www.orientacaoadistancia.com

ATENÇÃO: Este material serve de apoio para a explicação durante as aulas. Façam suas anotações!

Funções do Sistema cardiovascular



Transporte

- Respiratórias: eritrócitos (hemácias) transportam O₂, CO₂ também é transportado pelo sangue para ser eliminado nos pulmões (ar exalado)
- Nutritivas: sangue transporta nutrientes absorvidos na digestão
- Excretórias: produtos da decomposição metabólica (como a uréia), o excesso de água e de íons e outras moléculas desnecessárias são transportados pelo sangue para os rins

Regulação

- Hormonal: sangue transporta hormônios de glândulas endócrinas
- Temperatura: regulação da temperatura realizada através do desvio do sangue de vasos mais profundos para os mais superficiais

Proteção

- Coagulação: protege contra a perda de sangue em vasos lesados
- Imunológica: leucócitos (glóbulos brancos) protegem contra agentes patogênicos

Posição anatômica

Coração

Bomba → impulsiona o sangue por todo o sistema vascular

4 câmaras

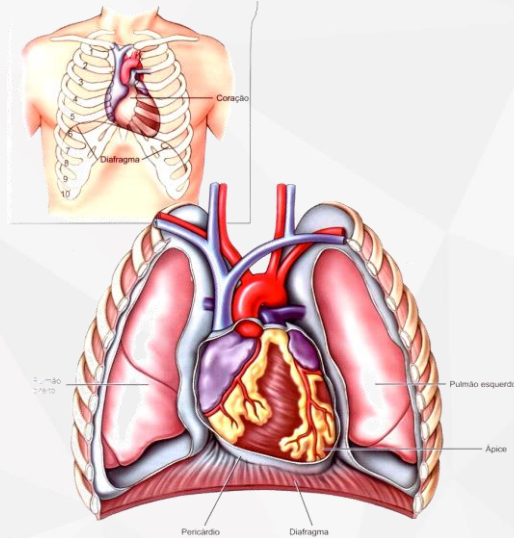
Tamanho de um punho

FC média:

70 x/minuto (bpm) =

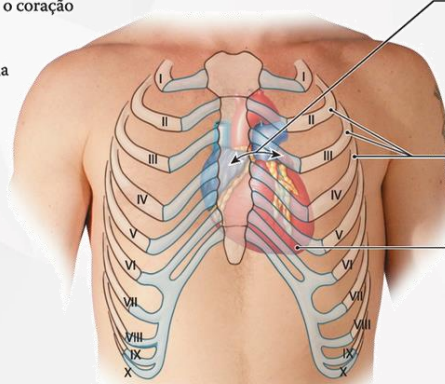
100.800 x/dia =

36,8 milhões x/ano



Estrutura do coração

1 O coração está localizado próximo à parede anterior do tórax, imediatamente posterior ao esterno. Uma seção sagital mediana do corpo não divide o coração em duas metades iguais, porque o centro se encontra ligeiramente à esquerda da linha média. Todo o coração está voltado para a esquerda, de modo que o átrio e o ventrículo direitos ocupam a maior parte da vista anterior.



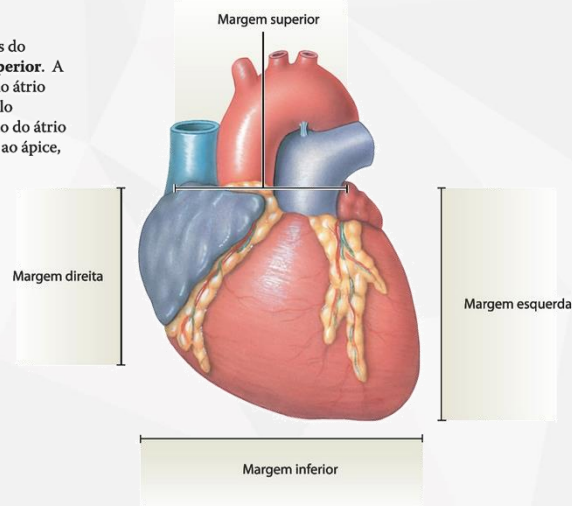
A **base** do coração está na face superior, na qual se conectam os grandes vasos (veias e artérias). A base acomoda-se posteriormente ao esterno, no nível da terceira cartilagem costal, centrada cerca de 1,2 cm para o lado esquerdo.

O **ápice** é a ponta do coração, localizada inferiormente. Um coração adulto típico mede cerca de 12,5 cm da base ao ápice, que ocupa o quinto espaço intercostal, aproximadamente 7,5 cm, à esquerda da linha média.

Estrutura do coração



2 Esta vista anterior mostra as margens do coração. A base forma a **margem superior**. A **margem direita** do coração é formada pelo átrio direito; a **margem esquerda** é formada pelo ventrículo esquerdo e uma pequena porção do átrio esquerdo. A margem esquerda estende-se ao ápice, no qual encontra a margem inferior. A **margem inferior** é formada principalmente pela parede inferior do ventrículo direito.



Posição anatômica

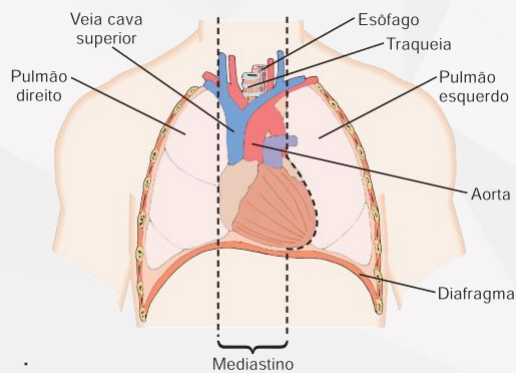


Figura 7.2 Localização do coração no mediastino – a região da cavidade torácica entre os dois pulmões.

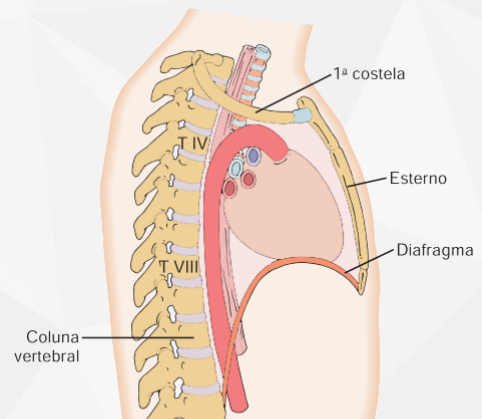


Figura 7.3 A posição do coração entre duas superfícies rígidas (esterno e coluna vertebral) na cavidade torácica torna possível a aplicação de compressão cardíaca (na RCP) para provocar diferenças de pressão no coração, que continuará bombeando sangue para o encéfalo.

Câmaras cardíacas

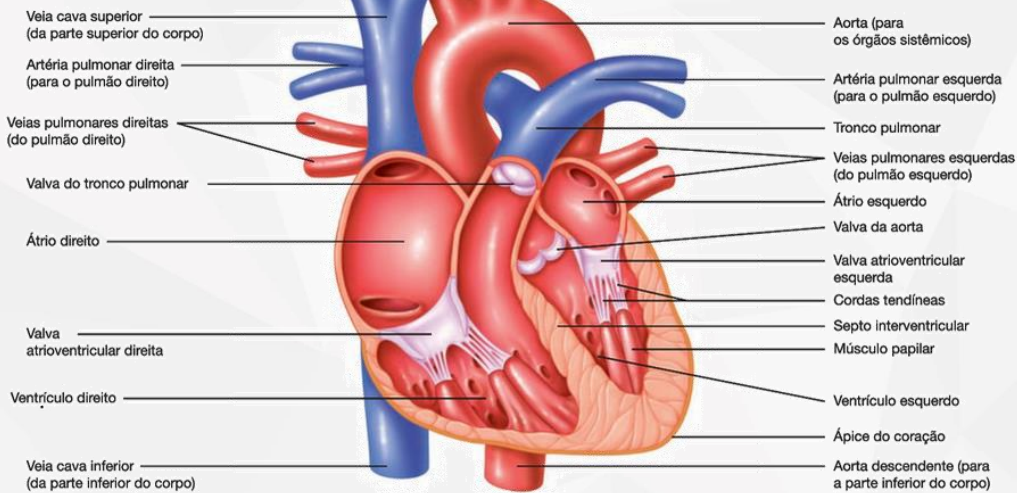
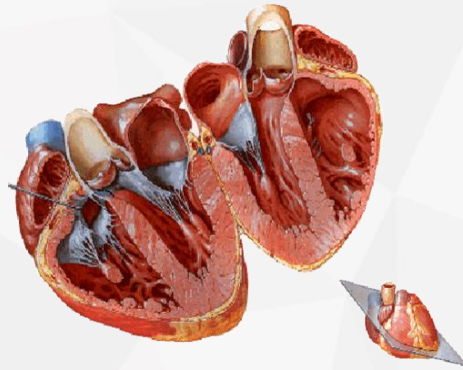


Átrios

Paredes finas
Baixa pressão
Bombas para enchimento ventricular

Ventrículos

Continuidade de fibras
Ejeção: diminui circunferência e eixo longitudinal (saída de sangue)



Fluxo sanguíneo através do coração

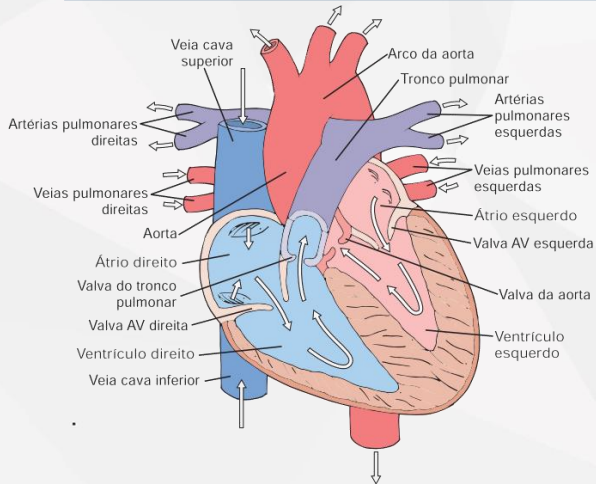


Figura 7.5 Fluxo sanguíneo através do coração.

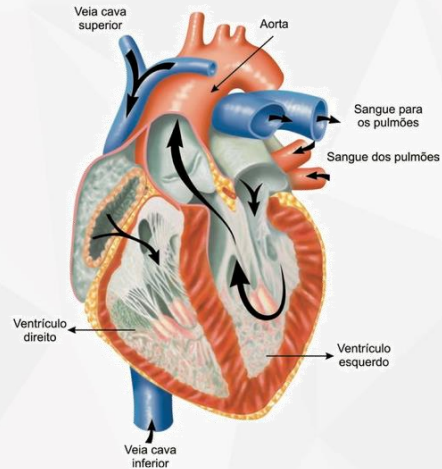


Fig. 23.3 Corte longitudinal do coração mostrando a disposição dos músculos papilares conectados às cúspides das válvulas atrio-ventriculares através das cordas tendíneas.

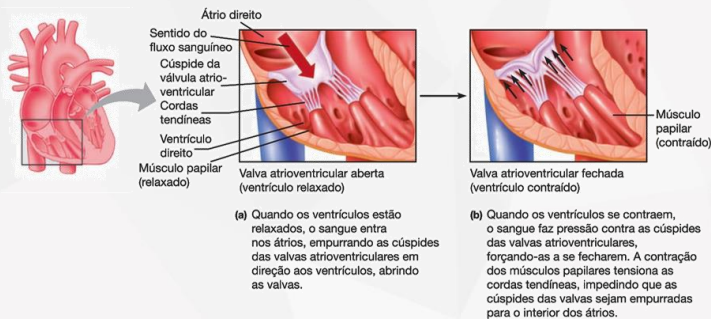


Figura 13.7. Ação das válvulas atrio-ventriculares.

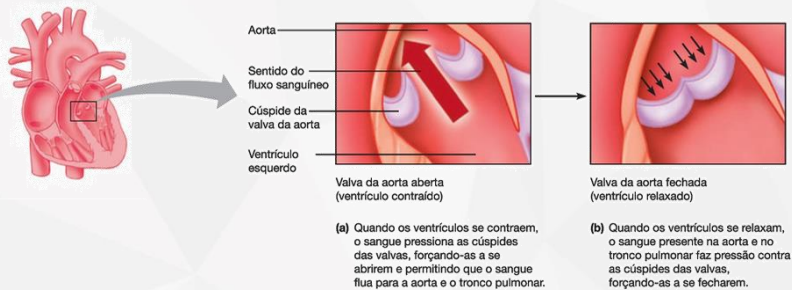


Figura 13.8. Ação das válvulas da aorta e do tronco pulmonar.

Coração: 2 bombas separadas

Circulação pulmonar

Recebe sangue que retorna de todas as partes do corpo (AD)
Bombeia para os pulmões (VD)

Circulação sistêmica

Recebe sangue oxigenado dos pulmões (AE)
Bombeia para o corpo (VE)

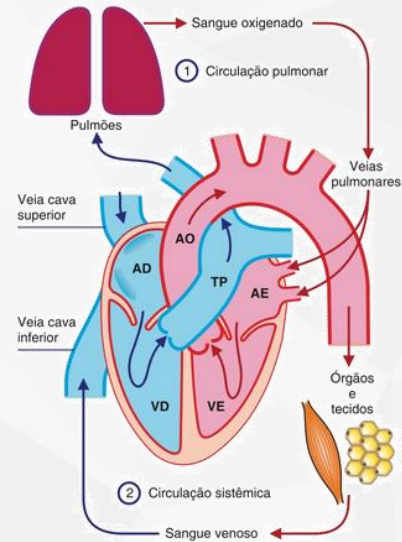
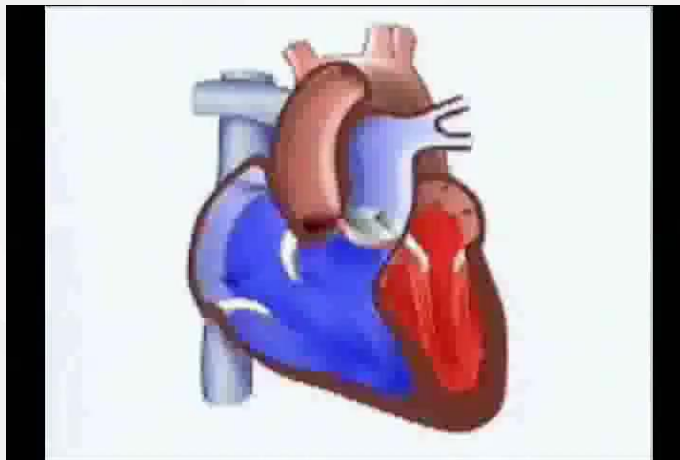


Figura 10.4 Esquema da circulação pulmonar e sistêmica. A circulação pulmonar envolve a saída de sangue venoso do ventrículo direito pela artéria pulmonar, que chega aos pulmões, nos quais ocorre a oxigenação do sangue. Ele retorna ao átrio esquerdo do coração pelas veias pulmonares. A circulação sistêmica envolve a saída do sangue do ventrículo esquerdo pela aorta, que irriga todas as células e órgãos. AD = átrio direito; VD = ventrículo direito; AE = átrio esquerdo; VE = ventrículo esquerdo; AO = artéria aorta; TP = tronco pulmonar.



O coração



Relação gráfica entre volume x pressão



A curva é cíclica e, portanto, permite uma análise a partir de qualquer ponto. Tomemos, por exemplo, o momento (A) em que, mantido o volume, a pressão despenca, o que corresponde ao relaxamento isovolumétrico; ainda não há abertura da válvula mitral (B). A partir da abertura da válvula, o volume aumenta gradativamente até que, iniciando-se a sístole (C), começa a contração isovolumétrica; na qual, como explica o próprio nome, o volume não varia, embora a pressão esteja em franca ascensão, até que a válvula aórtica (D) se abra e agora rapidamente o volume começa a decair, pois o sangue está sendo impulsionado para a aorta.

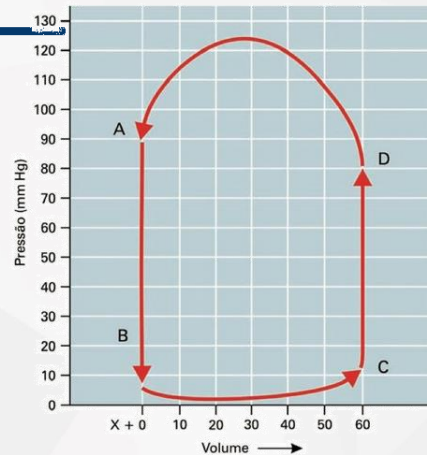
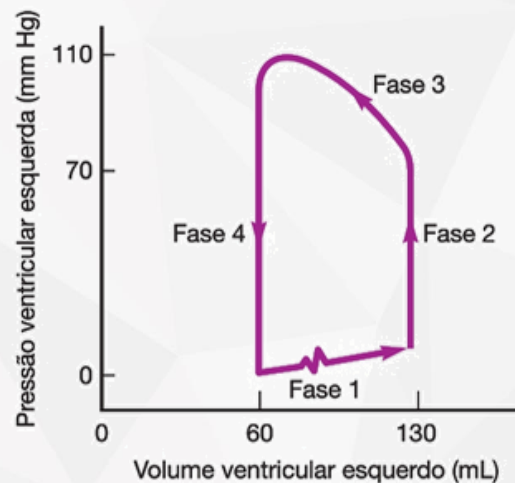


Fig. 27.3 Diagrama do trabalho cardíaco, construído a partir das curvas de pressão e volumes ventriculares. A = fechamento da válvula aórtica; B = abertura da válvula mitral; C = fechamento da válvula mitral; D = abertura da válvula aórtica; segmento AB = relaxamento isovolumétrico; BC = enchimento ventricular (diástole); CD = contração isovolumétrica; DA = ejeção ventricular (sístole).

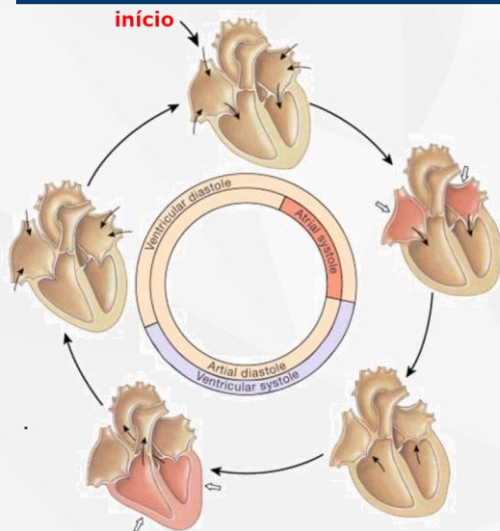
A fase 1 representa o enchimento ventricular, quando a valva atrioventricular esquerda está aberta e a valva da aorta já está fechada. O volume ventricular aumenta de 60 para 130 mL, enquanto a pressão aumenta apenas ligeiramente. A fase 2 representa a contração isovolumétrica, sendo o volume igual ao volume diastólico final. No início da fase 2, a pressão no ventrículo se eleva, excedendo a dos átrios e causando o fechamento da valva atrioventricular esquerda. A pressão ventricular continua a se elevar rapidamente até exceder a pressão aórtica, quando, então, a valva da aorta se abre e tem

início a fase 3 (ejeção ventricular). Durante a ejeção, o volume de sangue no ventrículo diminui de 130 mL para 60 mL, até o início da diástole, o que causa o fechamento da valva da aorta, devido a pressão ventricular ser inferior à correspondente pressão na aorta. A fase 4 representa a fase isovolumétrica do relaxamento ventricular, com o volume igual ao volume sistólico final. Durante a

fase 4, a pressão diminui rapidamente, até ser inferior à pressão atrial, e a valva atrioventricular esquerda se abre. Nesse ponto, o ciclo reinicia na fase 1.



Ciclo cardíaco



O ciclo contração-relaxamento do miocárdio, conhecido também como ciclo cardíaco, tem duas fases: diástole e sístole. Durante a diástole, o sangue chega ao coração preenchendo os átrios e parte dos ventrículos, que recebem um volume extra de sangue quando ocorre contração dos átrios. Nesse momento, as válvulas atrioventriculares estão abertas e as semilunares, fechadas. Na sístole, ocorre a contração dos ventrículos e o sangue é bombeado para fora do coração, e nesse momento, as válvulas atrioventriculares estão fechadas e as semilunares, abertas. O volume de sangue ejetado pelo ventrículo esquerdo é conhecido como fração de ejeção, e representa aproximadamente 70% do volume total de sangue contido no ventrículo esquerdo.

Ciclo cardíaco



Sístole

1. **Contração isovolumétrica.** A contração, ou seja, o encurtamento das fibras musculares cardíacas já começou, mas a pressão exercida por essa atividade não é suficiente para abrir a válvula aórtica. A válvula mitral permanece fechada. O volume no interior do ventrículo não varia. A pressão, no entanto, eleva-se rapidamente (de quase zero a 80 mm Hg) e isso forçará, finalmente, a abertura da válvula aórtica.
2. **Ejeção ventricular máxima.** Vencida sua pressão de abertura a válvula aórtica se abre e começa a ejeção de sangue pela grande circulação, a princípio em ritmo bastante acentuado. Durante a fase de ejeção ventricular a pressão no VD continua se elevando (podendo chegar a 120 mm Hg).
3. **Ejeção ventricular reduzida.** O fluxo de sangue continua em direção à aorta, mas não com a mesma velocidade e intensidade. A pressão no interior do ventrículo cai progressivamente, eventualmente chegando a valores abaixo da pressão na aorta. No entanto, o fluxo continuará ocorrendo do coração para a aorta graças à energia cinética da massa de sangue ejetada. A este fenômeno dá-se o nome de **inertância**. Segue-se o fechamento da válvula aórtica,

Diástole

1. **Relaxamento isovolumétrico.** Nesta fase, o ventrículo relaxa-se progressivamente, com todas as válvulas fechadas. Considerando o VE, a pressão no seu interior ainda é muito alta para permitir a abertura da valva atrioventricular (válvula mitral). Estando o ventrículo isolado do exterior, o volume no seu interior não varia, mas a pressão vai caindo, atingindo valores próximos de zero.
2. **Enchimento diastólico rápido.** Ainda considerando apenas o VE, a valva atrioventricular se abre e o sangue flui rapidamente do átrio esquerdo para o VE, a pressão eleva-se no interior deste, mas em níveis bastante baixos (5 mm Hg).
3. **Enchimento diastólico lento.** O sangue que já fluiu para o VE aumenta ligeiramente a pressão no interior deste e agora o enchimento se faz mais lentamente.
4. **Contração atrial.** Num último reforço o átrio esquerdo contrai-se, terminando por completar o enchimento ventricular antes da próxima sístole, que irá se iniciar pela contração isovolumétrica. É o pico da pressão no interior do ventrículo esquerdo que durante a diástole pode chegar a 10 mm Hg.

Exercícios

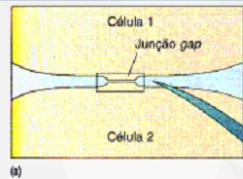


1. A mínima pressão aórtica durante o ciclo cardíaco é atingida:
 - a) Imediatamente após o fechamento da válvula da aorta.
 - b) Imediatamente antes da abertura da válvula da aorta.
 - c) Imediatamente antes da abertura das válvulas atrioventriculares.
 - d) No meio da diástole.
 - e) No fim da sístole.
2. O primeiro som cardíaco ocorre quando as válvulas atrioventriculares se fecham; assim, ele marca:
 - a) O fim do período de ejeção.
 - b) O início do período de ejeção.
 - c) O início da sístole.
 - d) O início da contração isovolumétrica.
 - e) As alternativas c e d são verdadeiras.
3. Qual(is) das seguintes estruturas contém sangue desoxigenado?
 - a) Ventrículo direito.
 - b) Ventrículo esquerdo.
 - c) Veias pulmonares.
 - d) Aorta.
 - e) As alternativas a e c são verdadeiras.
4. O segundo som cardíaco ocorre quando as valvas da aorta e do tronco pulmonar se fecham; assim, ele marca:
 - a) O fim do período de ejeção.
 - b) O início do período de ejeção.
 - c) O início da sístole.
 - d) O início da contração isovolumétrica.
 - e) As alternativas c e d são verdadeiras.
5. A pressão ventricular esquerda e a pressão aórtica são virtualmente idênticas durante:
 - a) Contração isovolumétrica.
 - b) Relaxamento isovolumétrico.
 - c) Diástole.
 - d) Sístole.
 - e) Período de ejeção.
6. O período de relaxamento do músculo cardíaco é conhecido como _____.
 - a) Sístole.
 - b) Diástole.
 - c) Período de ejeção.
 - d) Relaxamento isovolumétrico.
 - e) Relaxamento ativo.
7. O fluxo sanguíneo pelo circuito sistêmico é promovido por contrações do ventrículo (direito/esquerdo).
 - a) Ventrículo direito.
 - b) Ventrículo esquerdo.
 - c) Veias pulmonares.
 - d) Aorta.
 - e) As alternativas a e c são verdadeiras.
8. Quais vasos sanguíneos transportam sangue oxigenado? E sangue desoxigenado?
 - a) Arteríolas.
 - b) Veias.
 - c) Arteríolas e veias.
 - d) Veias e artérias.
 - e) Arteríolas e artérias.
9. Onde se localizam as valvas atrioventriculares? Qual é sua função? Onde se localizam as valvas da aorta e do tronco pulmonar? Qual é sua função?
 - a) Atrioventriculares: no coração, impedem o refluxo do sangue.
 - b) Atrioventriculares: no coração, permitem o refluxo do sangue.
 - c) Atrioventriculares: no coração, impedem o refluxo do sangue.
 - d) Atrioventriculares: no coração, permitem o refluxo do sangue.
 - e) Atrioventriculares: no coração, impedem o refluxo do sangue.

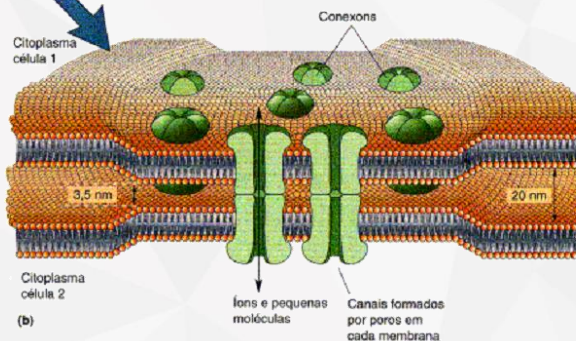


GÊNESE E CONDUÇÃO DO POTENCIAL DE AÇÃO NO CORAÇÃO

Sinapse elétrica



Uma junção *gap*. (a) Neuritos de duas células conectadas por uma junção *gap*. (b) Um aumento mostrando canais denominados *conexons*, cada um composto por seis subunidades protéicas denominadas *conexinas*, as quais unem citoplasmas de duas células. Ions e pequenas moléculas podem passar em ambas as direções através destes canais.



Gap junctions & Coração

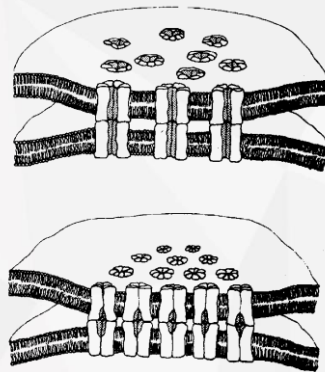


- As células miocárdicas são pequenas, ramificadas e interconectadas por gap junctions. Essas junções atuam como sinapses elétricas
- Essa massa de células interconectadas denomina-se miocárdio. O miocárdio é uma unidade funcional única (sincício funcional), uma vez que os potenciais de ação originados em qualquer célula podem ser transmitidos a todas as outras células.

Músculo cardíaco (miocárdio)



- GAP junctions: proteínas transmembranas que formam canais abertos
- A estimulação (despolarização) de uma única célula miocárdica propaga um potencial de ação por todo miocárdio, fazendo o coração funcionar como uma unidade



Sincício funcional

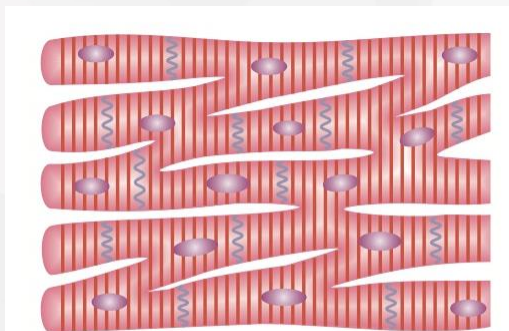
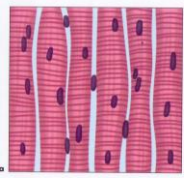


Figura 10.1 Estrutura morfológica das fibras cardíacas, mostrando as interconexões das células musculares cardíacas por meio dos discos intercalares, formando um sincício funcional.

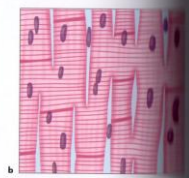
Outra diferença marcante é a interconexão das células musculares cardíacas por meio dos discos intercalares, que são membranas vazadas e que possibilitam a transmissão dos impulsos elétricos de uma célula para outra. Assim, quando uma célula muscular cardíaca se contrai, as demais células que estão conectadas a ela também se contraem, como uma unidade. Esse conjunto funcional é denominado sincício funcional (Figura 10.1).

Fibras miocárdicas e capilares

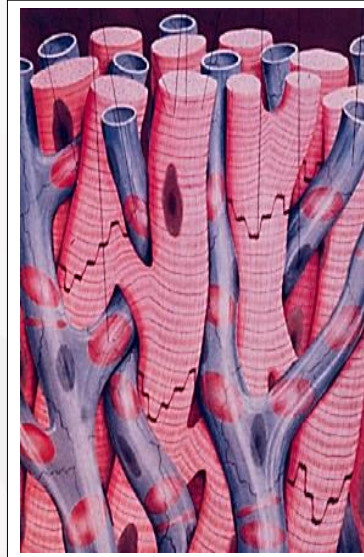
SINCÍCIO FUNCIONAL



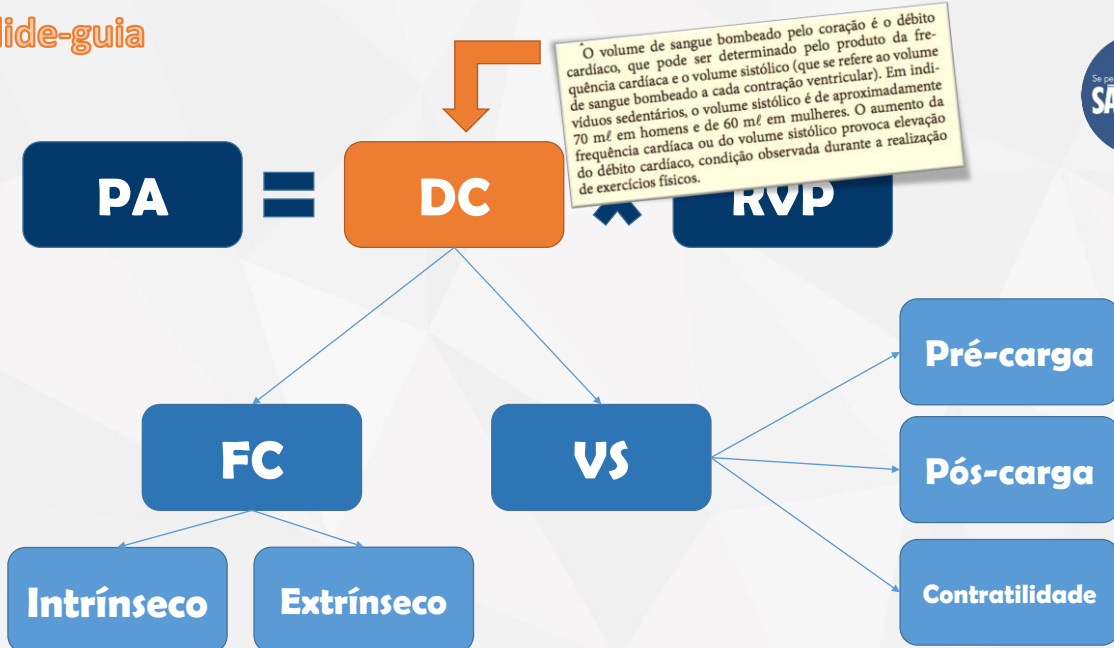
Músculo estriado esquelético



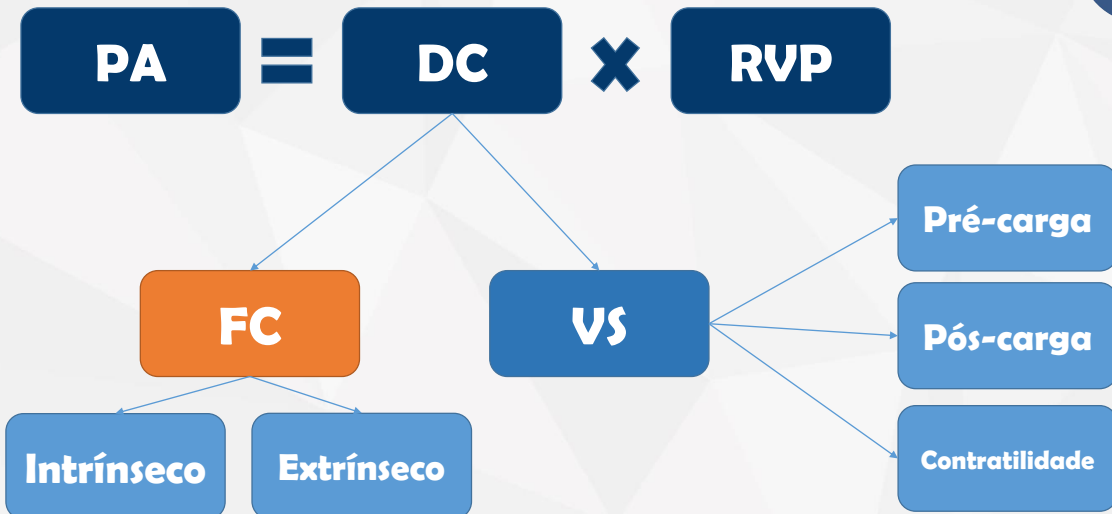
Músculo estriado cardíaco



Slide-guia



Slide-guia



Quem estimula o coração?



Estímulo intrínseco

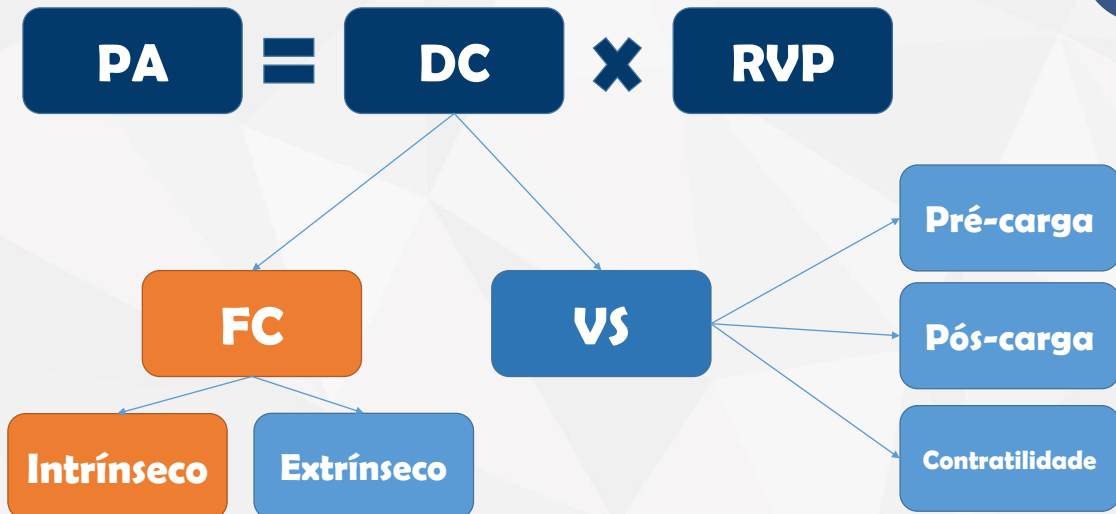
- Células que despolarizam automaticamente (nodo sino atrial)

Estímulo extrínseco

- Sistema nervoso autônomo
 - Simpático
 - Parassimpático

Hormônios

Slide-guia



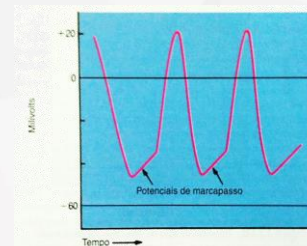
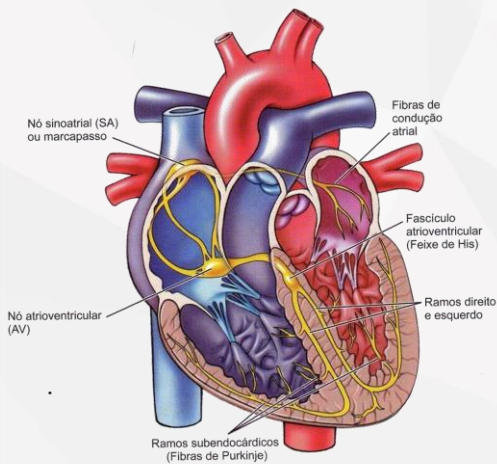
Controle intrínseco

O automatismo cardíaco refere-se à capacidade do coração de gerar e conduzir impulsos elétricos que resultam na contração rítmica do miocárdio independentemente da inervação autonômica.



NODO SINOATRIAL:

- menos permeável ao potássio, despolariza **automaticamente** em torno de 100x por minuto



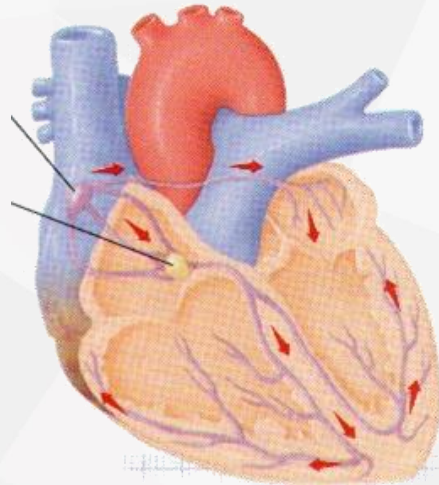
Impulso elétrico

O impulso se espalha como uma onda.
A contração acompanha esse movimento.

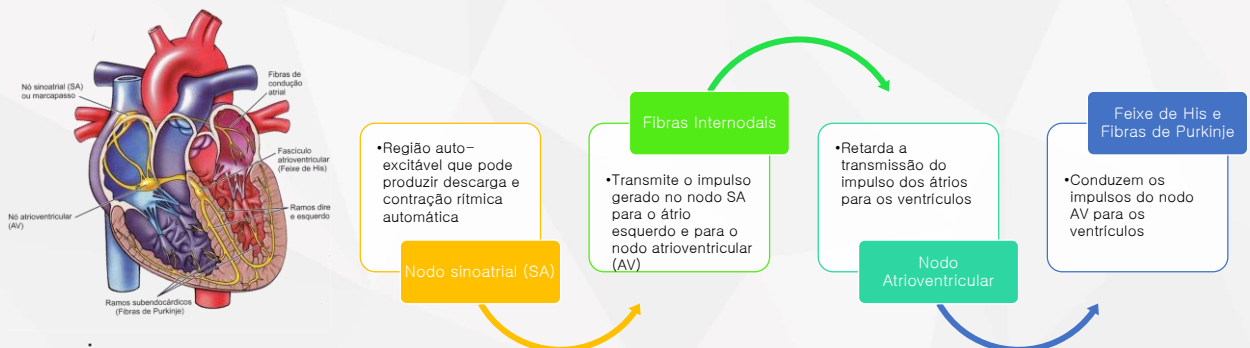


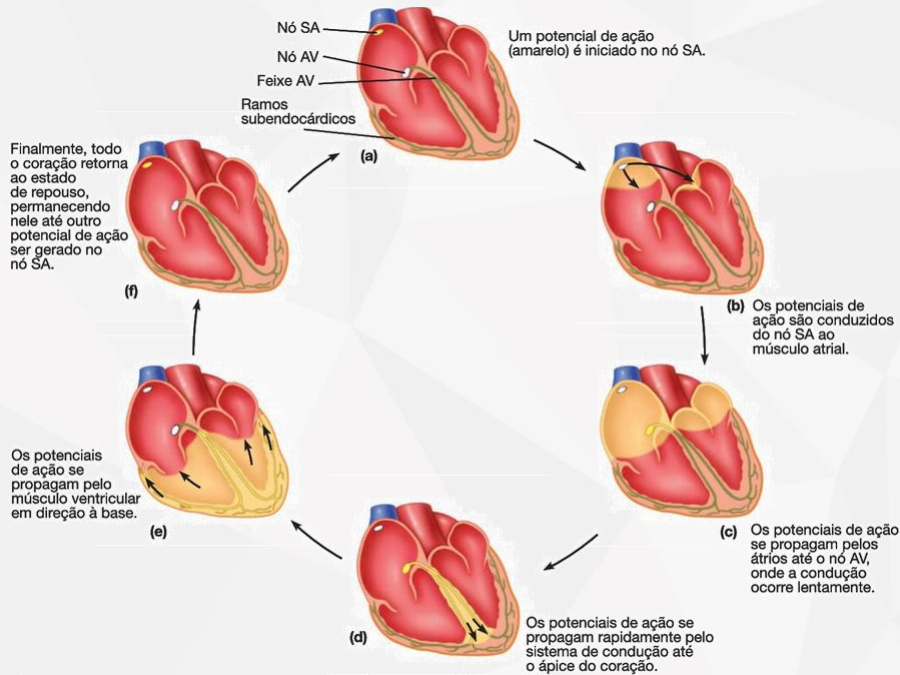
DESPOLARIZAÇÃO:

1. Nodo Sinoatrial (SA)
2. Fibras Internodais
3. Nodo Atrioventricular
4. Feixe de His
5. Fibras de Purkinje



Propagação do impulso elétrico pelo músculo cardíaco





Iniciação e condução de um impulso durante um batimento cardíaco

- ② O impulso é conduzido a células do nó AV, que transmitem potenciais de ação menos rapidamente do que outras células do sistema de condução. Como resultado, o impulso é retardado em cerca de 0,1 segundo (denominado *retardo nodal AV*) antes de prosseguir.
- ③ Do nó AV, o impulso percorre o feixe atrioventricular (antigamente conhecido como “*feixe de His*”), um feixe compacto de fibras musculares localizado no septo interventricular. O nó AV e o fascículo atrioventricular são a única conexão elétrica entre os átrios e os ventrículos, separados pelo esqueleto fibroso do coração.
- ④ O sinal percorre apenas uma curta distância ao longo do fascículo atrioventricular antes de sua divisão em ramos esquerdo e direito, que conduzem os impulsos para os ventrículos esquerdo e direito, respectivamente.
- ⑤ Dos ramos do feixe, os impulsos percorrem uma extensa rede de ramificações denominadas *ramos subendocárdicos* ou *fibras de Purkinje*, que se distribuem pelo miocárdio ventricular, desde o ápice do coração até as válvulas. Dessas fibras, os impulsos se propagam às demais células do miocárdio.

- ① Um potencial de ação é iniciado no nó SA. Do nó SA, os impulsos se dirigem ao nó AV, por meio de *vias internodais* — sistemas de fibras de condução que correm pelas paredes dos átrios. Ao percorrerem as vias internodais, esses sinais também se alastram pela massa muscular dos átrios, por meio de *vias interatriais*.

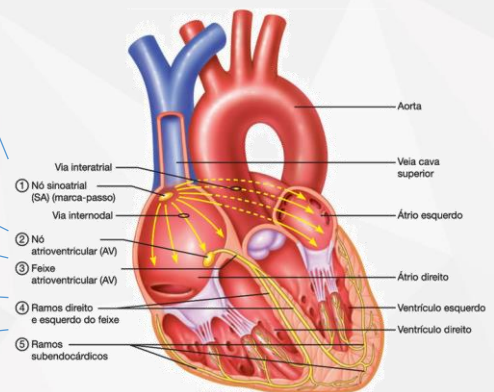
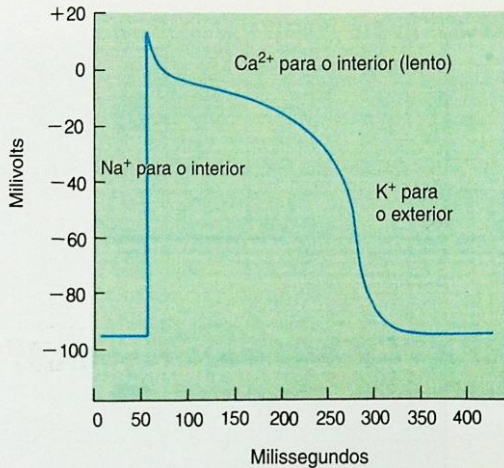


Figura 13.10. Sistema de condução do coração.

Potencial de ação de uma célula miocárdica dos ventrículos

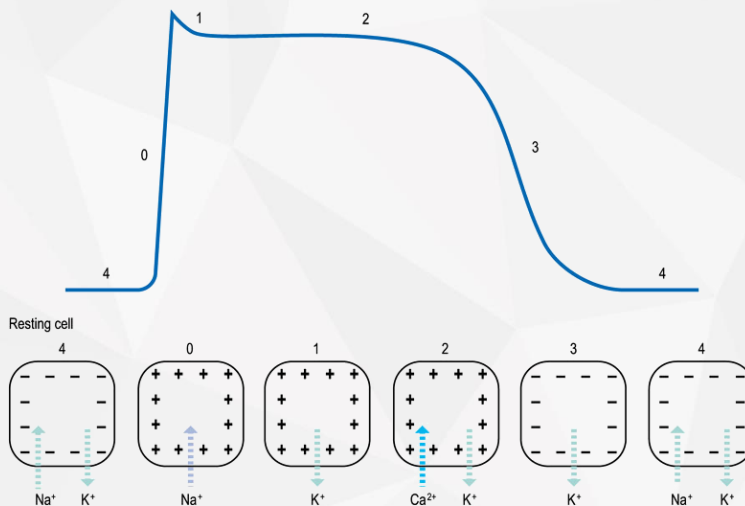


- Potencial de repouso das fibras ventriculares = -90mV

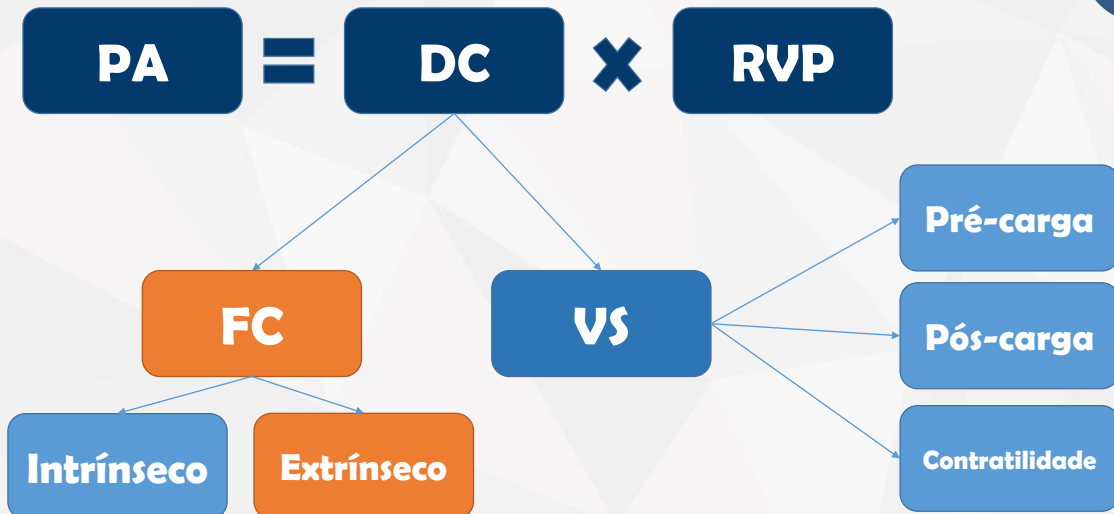


Ao contrário do músculo esquelético, a contração do miocárdio apresenta um platô entre o potencial de ação e o período de repolarização. No coração, o potencial de ação provoca a abertura de dois tipos de canais iônicos: os canais de sódio e os canais de cálcio. Estes últimos se abrem de modo mais lento e permanecem abertos por mais tempo quando comparados aos canais de sódio. Assim, o influxo adicional de íons cálcio e sódio mantém o período de despolarização, causando o platô no potencial de ação.

Concentração iônica durante a despolarização do ventrículo



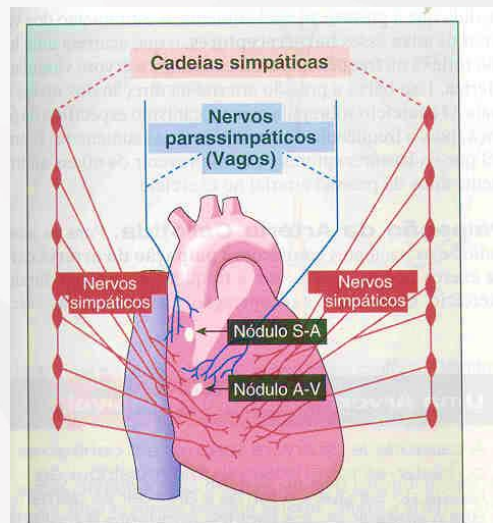
Slide-guia



Controle extrínseco

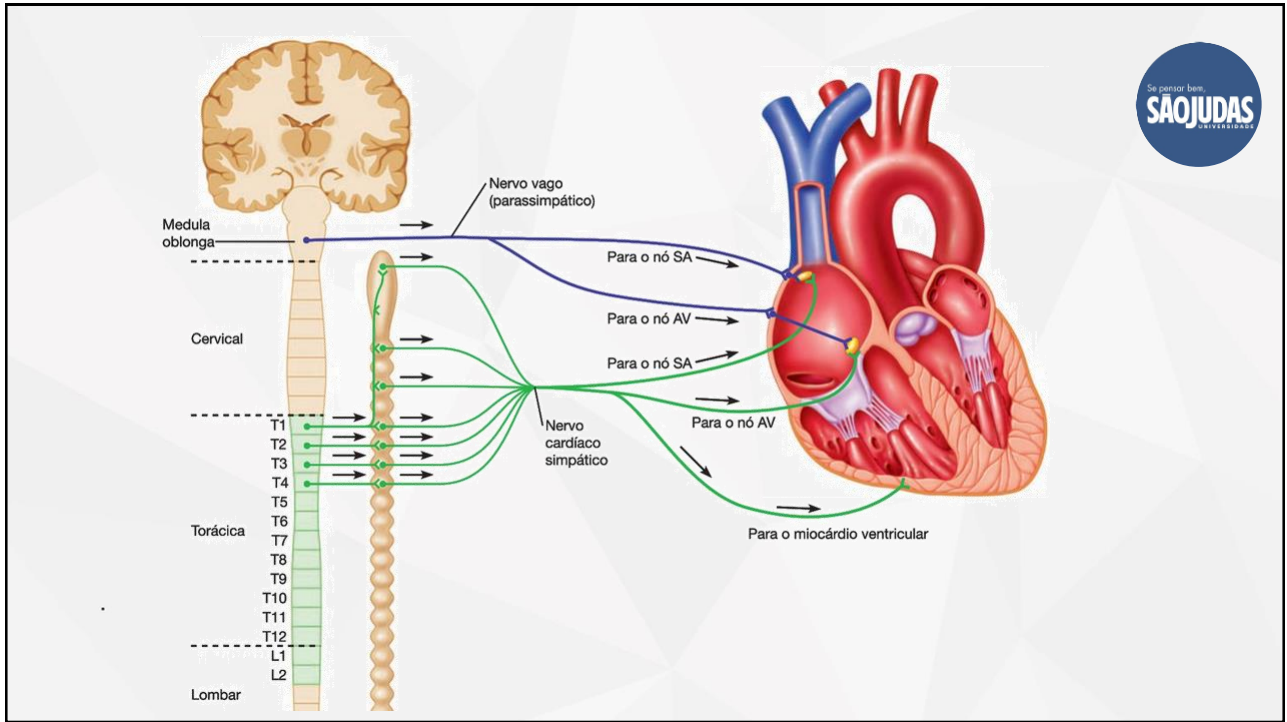
Simpático (inerva nodos + músculo cardíaco)

Parassimpático (inerva região dos nodos)



11.11 Distribuição das fibras nervosas simpáticas e parassimpáticas





Controle da ritmicidade pelo sistema nervoso autônomo

SIMPÁTICO

- acelera a despolarização nodo sinoatrial e aumenta a força de contração
- inervação generalizada

PARASSIMPÁTICO

- retarda a descarga sinusal
- nervo vago



Exercícios



5. As estimulações simpática e parassimpática do nó SA influenciam:

- a) Tempo de enchimento ventricular.
- b) Contratilidade ventricular.
- c) Pós-carga.
- d) Contratilidade atrial.
- e) Todas as anteriores.

13. A frequência cardíaca é, normalmente, determinada pela frequência dos potenciais de ação do nó (SA/AV).

15. A frequência cardíaca é determinada inteiramente pela frequência inerente dos potenciais de ação nas células do nó SA, sem influências externas. (verdadeiro/falso)

10. Quando uma onda de potenciais de ação se propaga dos átrios para os ventrículos, ela é momentaneamente retardada em cerca de 0,1 segundo como resultado de condução lenta através:

- a) Do nó SA.
- b) Do nó AV.
- c) Do feixe atrioventricular.
- d) Dos ramos esquerdo e direito do feixe.
- e) Dos ramos subendocárdicos.

24. Se os estímulos simpáticos e parassimpáticos são constantes e o volume diastólico final aumenta, a contratilidade do miocárdio ventricular aumenta (verdadeiro/falso).

2. Quais partes do coração recebem estímulos de neurônios autonômicos? Que efeito exerce a estimulação autonômica sobre cada uma dessas partes? (Inclua as influências simpáticas e parassimpáticas.)

1. Escreva a equação que mostra a relação entre frequência cardíaca, volume sistólico e débito cardíaco.

29. Descreva o processo da propagação dos potenciais de ação pelo coração. Inclua uma descrição do papel das células marca-passo e das junções comunicantes na atividade elétrica cardíaca.

28. Discuta a regulação autonômica da função cardíaca. Inclua em sua discussão uma descrição dos efeitos da atividade autonômica sobre a frequência e a força da contração ventricular. Sinta-se livre para usar a curva de Starling para esclarecer a sua discussão.

Referências bibliográficas



- Pithon-Curi, TC. Fisiologia do exercício. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. (disponível em MINHA BIBLIOTECA)
- Stanfield, CL. Fisiologia humana. 5.ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013. (disponível em BIBLIOTECA VIRTUAL)
- Fox, S.I. **Fisiologia humana**. 7.ed. São Paulo: Manole, 2007.
- Levy, MN; Stanton, BA; Koeppen, BM. **Berne & Levy: Fundamentos de fisiologia**. 4ª edição. Rio de Janeiro, Elsevier. 2006.