

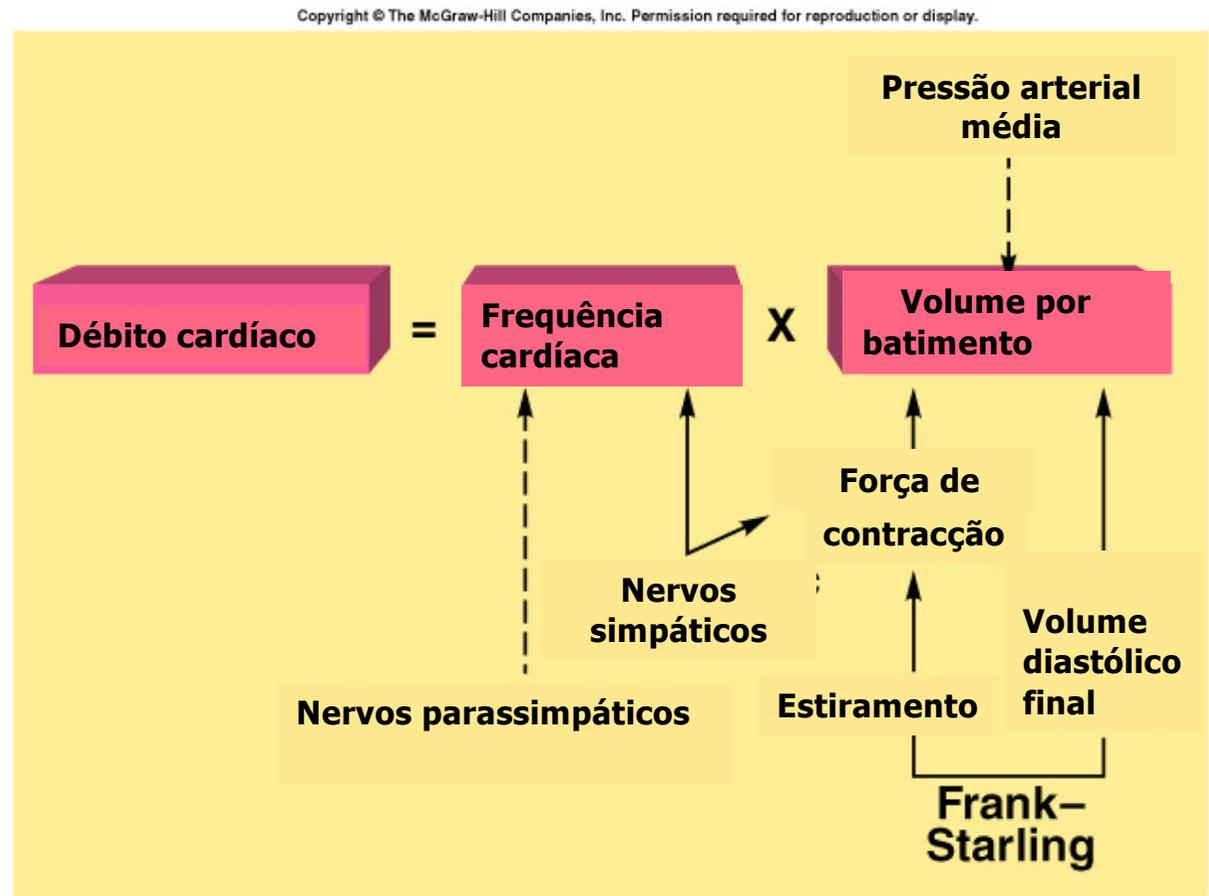
Sistema cardiovascular 2

**Débito cardíaco, fluxo sanguíneo, e
pressão sanguínea**

Anatomia e Fisiologia Animal II

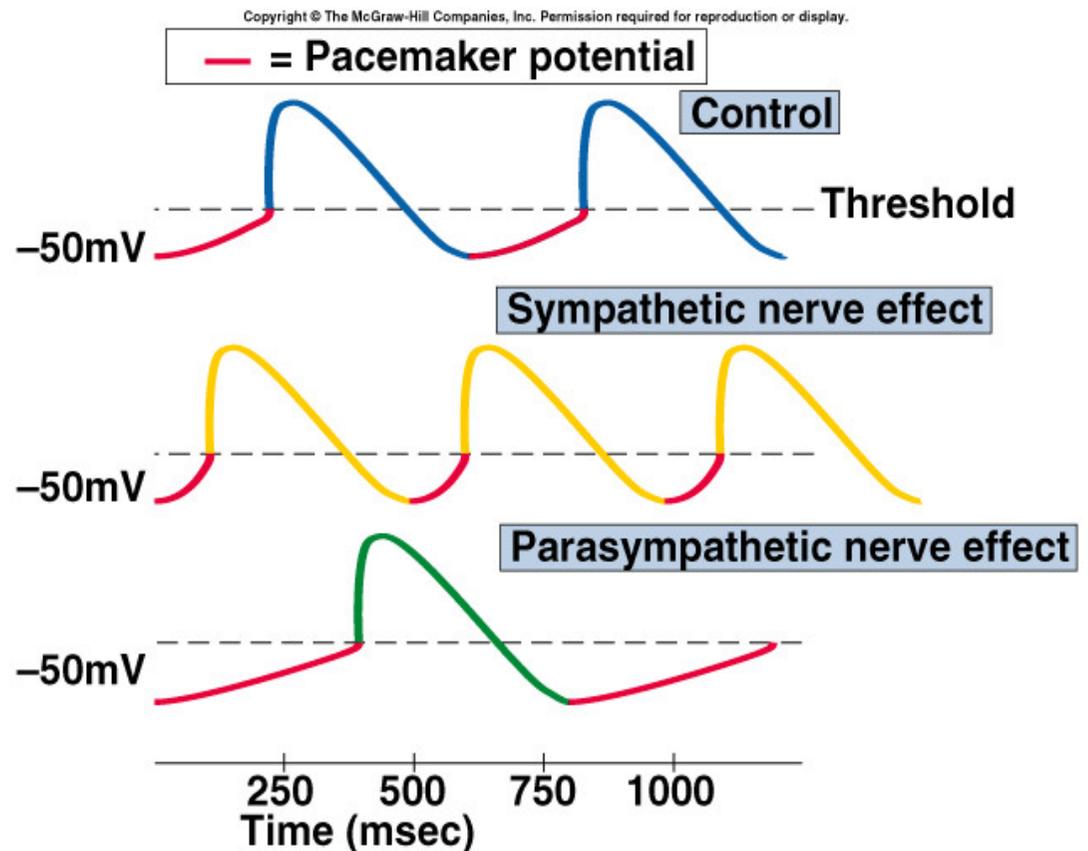
Débito cardíaco (DC)

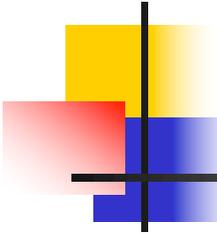
- **Volume de sangue bombeado por minuto por cada ventrículo**
 - é função do nº de batimentos por minuto e do volume ejectado em cada batimento.
- **DC = FC x VB**
 - volume sanguíneo total é em média 5.5 litros.
- Cada ventrículo bombeia o equivalente ao volume total de sangue em cada minuto (em repouso)



Regulação do ciclo cardíaco

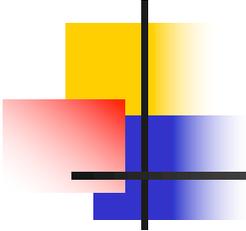
- Na ausência de influência nervosa, o coração bate ao ritmo estabelecido pelo nódulo sinoatrial (SA), que tem uma taxa de despolarização espontânea.
- Regulação da frequência cardíaca (efeito cronotrópico):
 - Pode ser positivo ou negativo
- Controlo Autónomo:
 - Fibras nervosas simpáticas e parassimpáticas inervam o coração, alterando a taxa de despolarização espontânea.
 - Inervam o nódulo SA.
 - Noradrenalina e adrenalina estimulam a abertura de canais $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$.
 - Acetilcolina promove a abertura de canais de K^+ .
 - Cruciais na regulação da frequência cardíaca.
- Centro controlo cardíaco (medula):
 - Coordena a atividade da inervação autónoma.





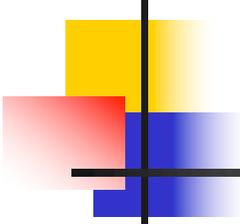
Regulação do volume por batimento

- O volume por batimento (VB) é regulado por três variáveis:
 - **Volume diastólico final**
 - Volume de sangue presente nos ventrículos no final da diástole
 - **Resistência periférica total (RPT)**
 - provocada pela fricção do sangue de encontro às paredes arteriais
 - **Contractilidade**
 - Força da contracção ventricular



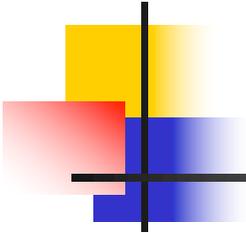
Volume diastólico final

- Preload ou Pré-Carga é a carga sobre o coração antes da contracção.
 - VB é directamente proporcional à *preload ou pré-carga*
- Aumento no volume diastólico final resulta num aumento do VB
 - VB é directamente proporcional à contractilidade
- A força de contracção varia directamente com o volume diastólico final
- Fracção de ejeção:
 - VB/VDF .
 - Normalmente é 60%, valores inferiores a 50% são indicadores de insuficiência cardíaca



Resistência Periférica Total

- Resistência Periférica Total :
 - Opõe-se à ejeção de sangue do ventrículo
 - *Afterload* ou pós-carga
 - De modo a ejectar o sangue, a pressão gerada no ventrículo tem que ser superior à pressão do sangue nas artérias.
 - A pressão do sangue nas artérias antes da contracção ventricular é função da RPT
- VB é inversamente proporcional à RPT
 - Quanto maior a RPT, menor o VB.



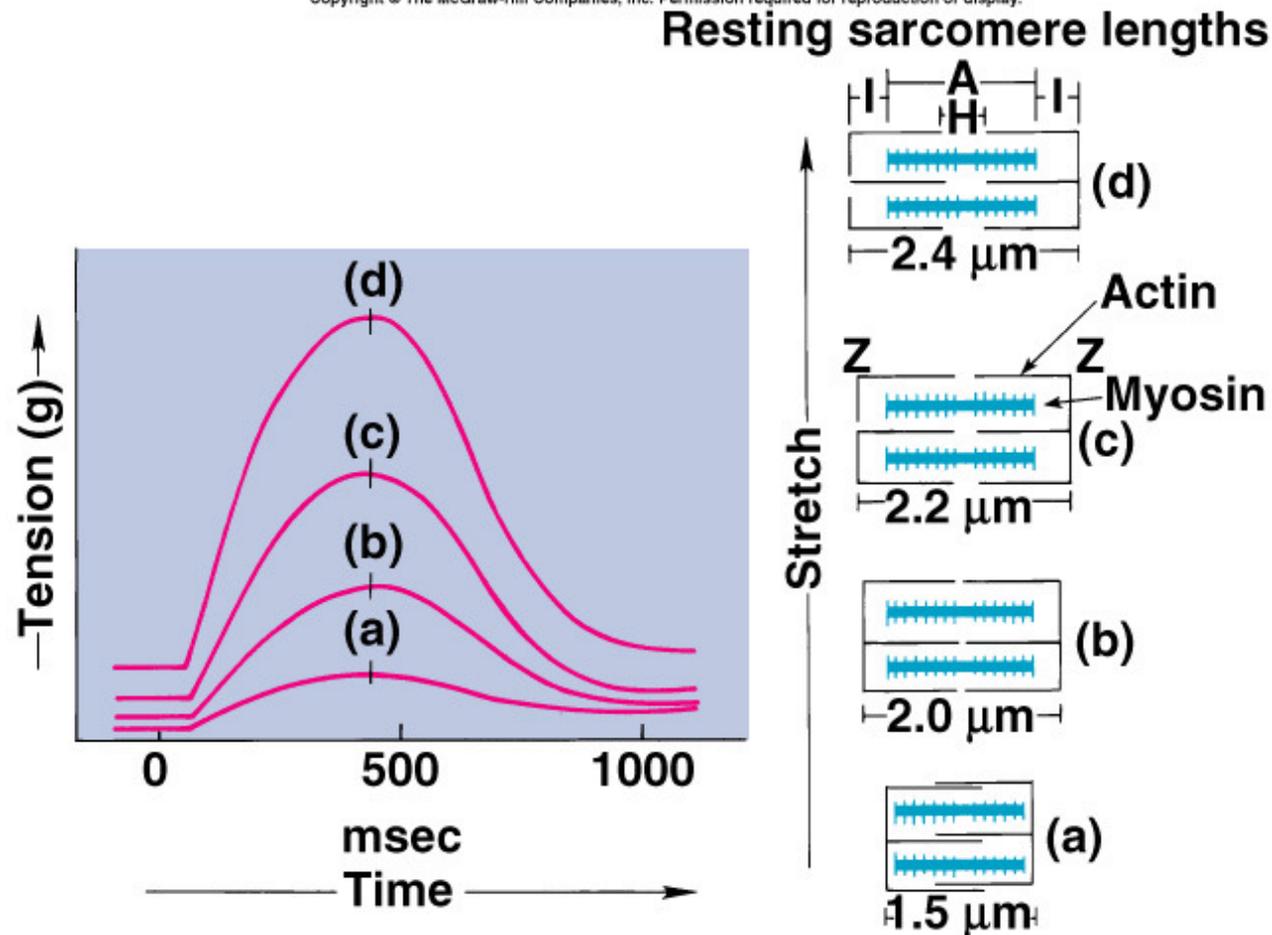
Controlo intrínseco da contractibilidade

- Estabelecido pela relação entre VDF, força de contracção e VB.
- Mecanismo Intrínseco:
 - o grau de estiramento do miocárdio varia conforme o VDF
 - se o VDF aumenta:
 - Miocárdio é progressivamente mais estirado.
 - Inicialmente vai contrair com maior facilidade
 - À medida que o ventrículo se enche, o miocárdio é estirado de forma que os filamentos de actina se sobrepõem aos de miosina apenas nas pontas da banda A – maior força de contracção

Controlo intrínseco da contractibilidade (continuação)

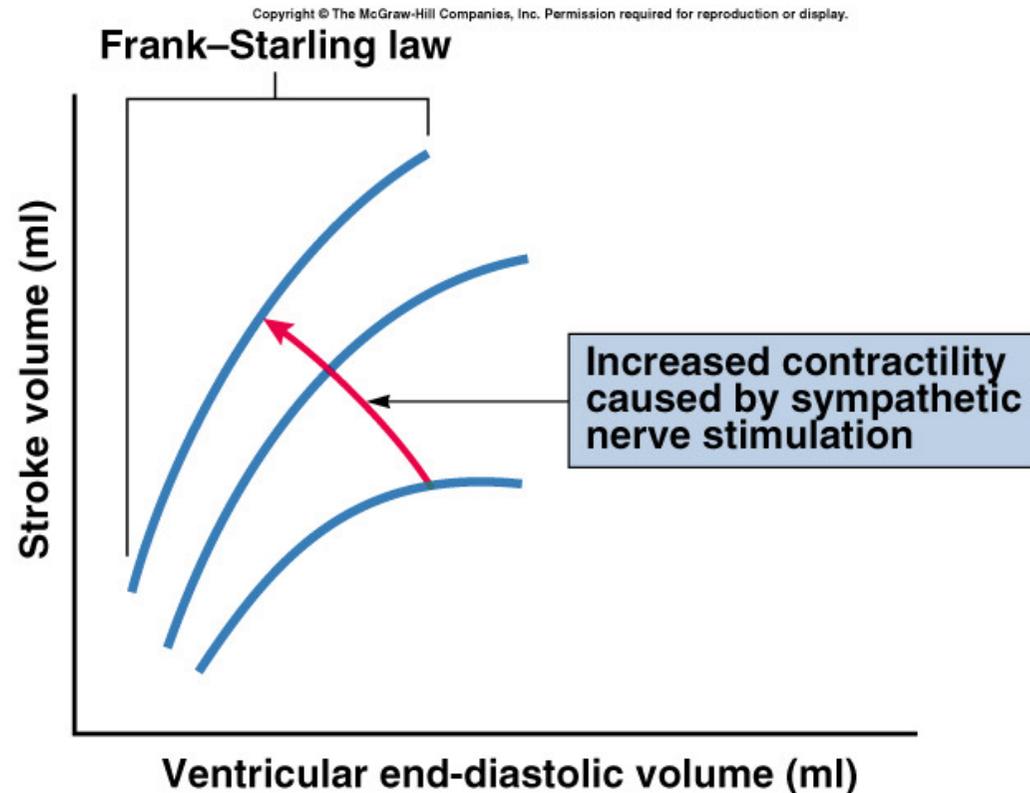
- Permite o desenvolvimento de mais força.
- Explica a capacidade do coração se ajustar a um aumento da RPT.

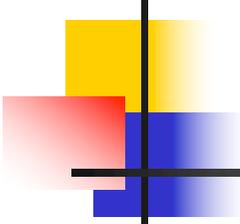
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



Controle Extrínseco da Contractibilidade

- Contractilidade:
 - Força de contracção para cada comprimento da fibra muscular
- Depende do sistema simpático-adrenal:
 - Noradrenalina e a adrenalina produzem um aumento da força contráctil do coração.
 - Efeito inotrópico +vo :
 - Fica disponível mais Ca^{2+} para os sarcómeros





Controle Extrínseco da Contractibilidade

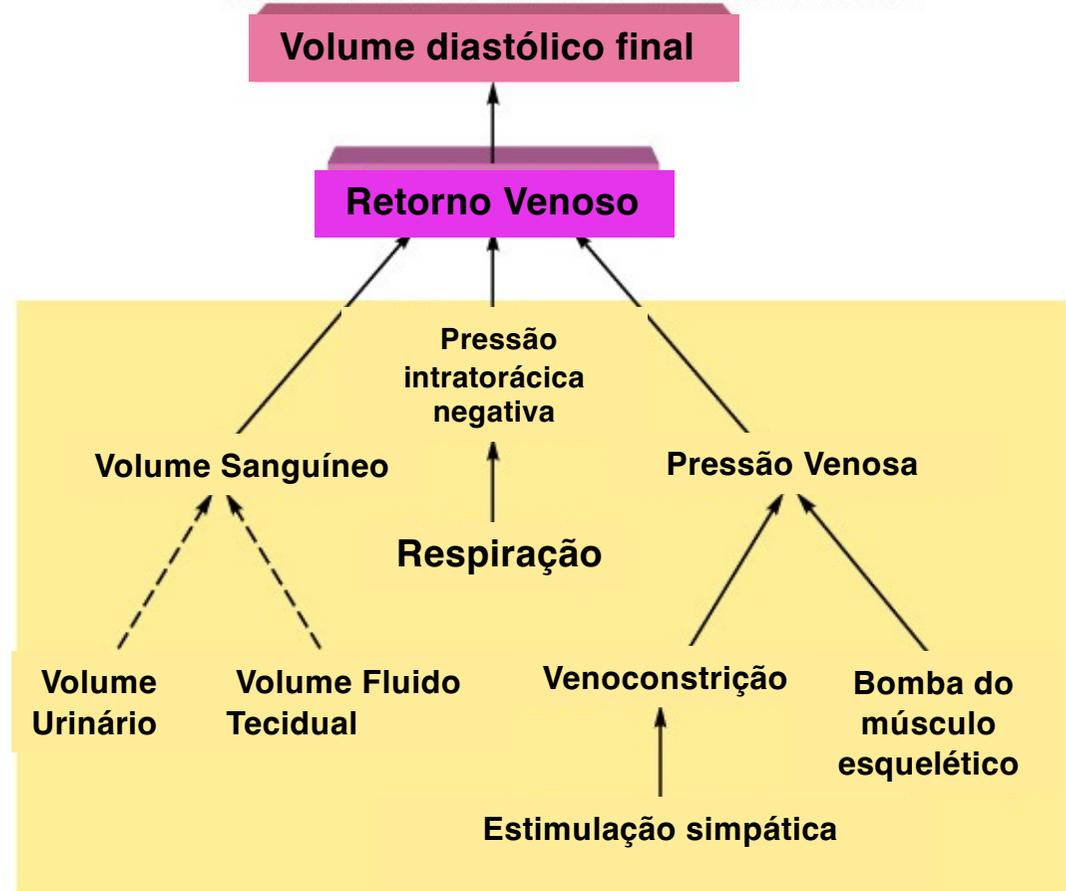
(continuação)

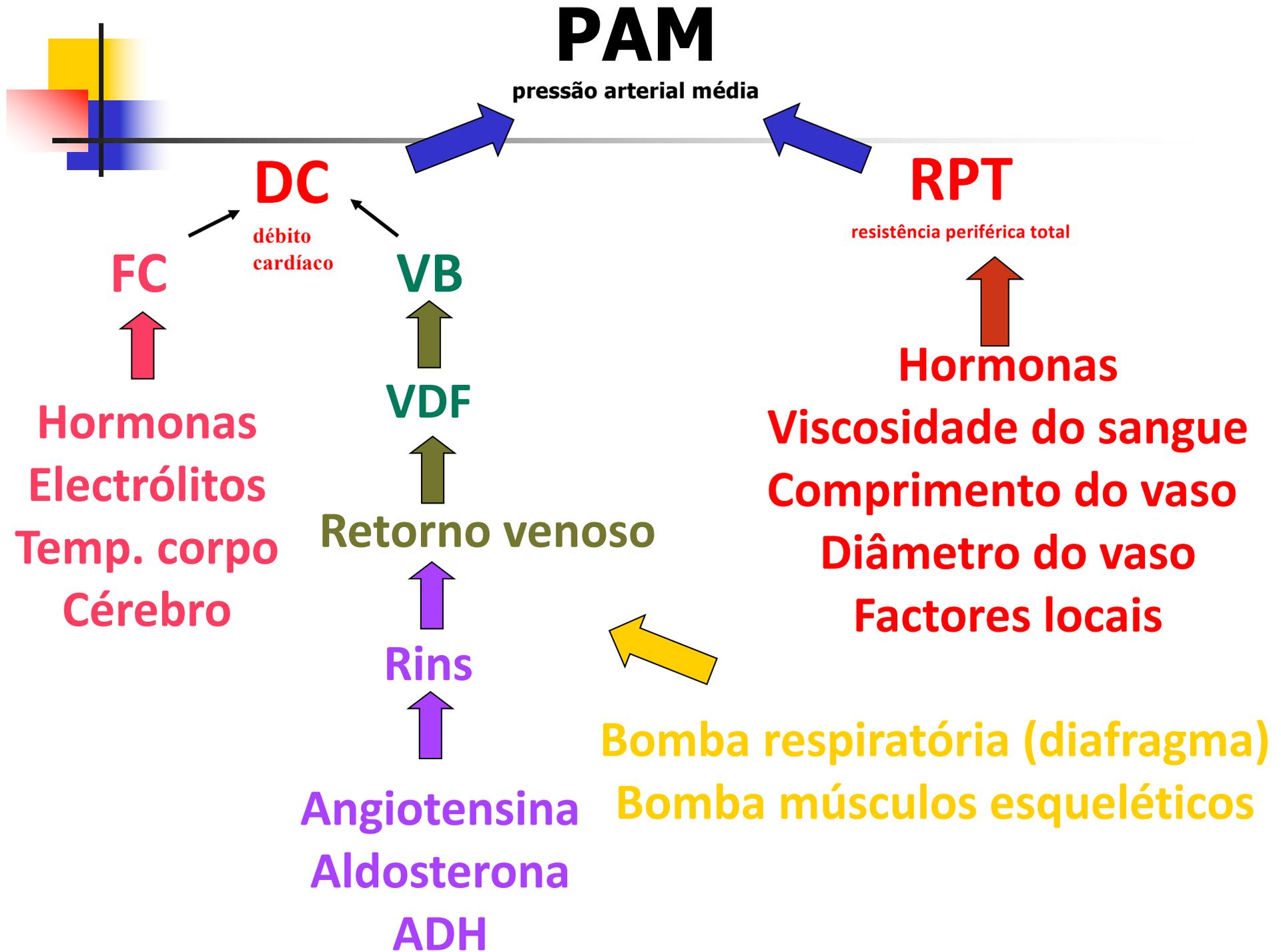
- Estimulação parassimpática:
 - Efeito cronotrópico -vo
 - Não influencia directamente a força de contracção
- DC é afectado de duas maneiras pela estimulação simpática:
 - Efeito inotrópico +vo, sobre a contractilidade
 - Efeito cronotrópico +vo, sobre a FC

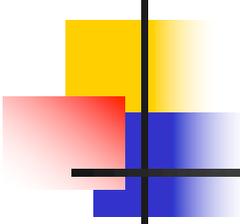
Retorno Venoso

- Retorno do sangue ao coração através das veias
- A pressão venosa é a força que propulsiona o sangue de volta ao coração
- As paredes das veias são mais finas, pelo que apresentam uma maior complacência.
 - São vasos de grande capacidade
 - 2/3 do volume sanguíneo encontra-se nas veias
- VDF, o VB e o DC são controlados por factores que afectam o retorno venoso

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





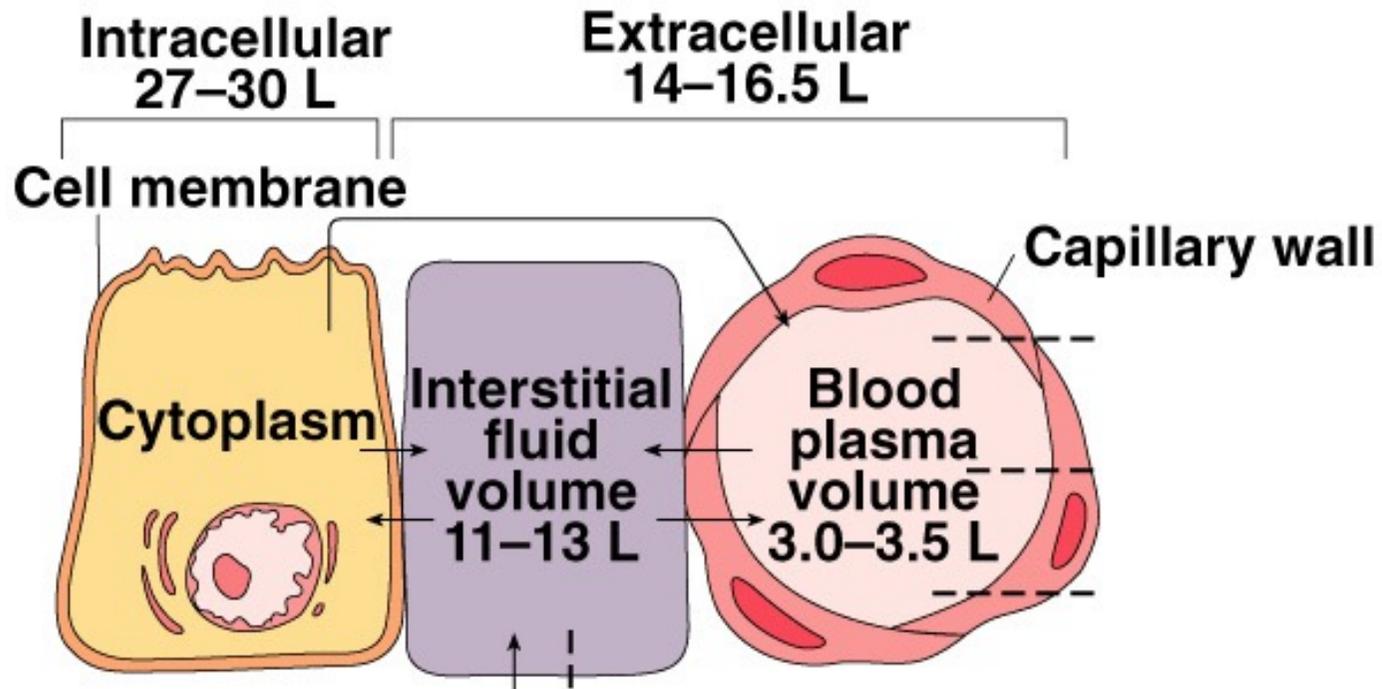


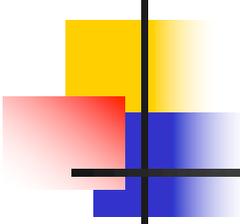
Volume Sanguíneo

- Distribuição da H_2O dentro do corpo:
- compartimento intracelular
 - 2/3 do total da H_2O do organismo encontra-se no interior das células
- compartimento extracelular
 - 1/3 do total da H_2O do organismo.
 - 80% fluido intersticial
 - 20% plasma sanguíneo
- São mantidos por um equilíbrio constante entre os ganhos e as perdas hídricas.

Volume Sanguíneo (continuação)

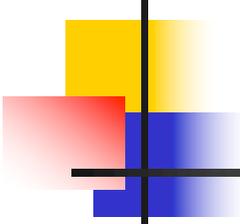
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.





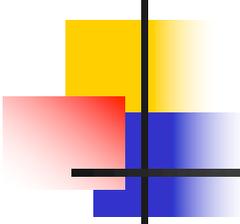
Trocas de fluido entre os capilares e os tecidos

- A distribuição do FEC entre o plasma e os compartimentos intersticiais encontra-se em equilíbrio dinâmico.
 - Balanço entre o fluido tecidual e o plasma sanguíneo.
- Pressão hidrostática
 - Exercida contra a parede interna do capilar
 - Promove a formação do fluido intersticial
 - Pressão de filtração positiva
- Pressão osmótica coloidal
 - Exercida pelas proteínas plasmáticas
 - Promove a reabsorção dos fluidos de volta ao sistema circulatório



Pressão de filtração

- Pressão hidrostática dos capilares sanguíneos menos a pressão hidrostática do fluido intersticial
 - Pressão hidrostática sanguínea (pressão arteriolar) = 37 mm Hg
 - Pressão hidrostática sanguínea (pressão venular) = 17 mm Hg
 - Pressão hidrostática intersticial = 1 mm Hg



Pressão osmótica coloidal

- Pressão exercida pelas proteínas plasmáticas ou pelas proteínas intersticiais
- A diferença entre a pressão osmótica do plasma e a pressão osmótica intersticial é designada por pressão oncótica
 - Pressão osmótica plasmática = 25 mm Hg
 - Pressão osmótica intersticial = 0 mm Hg

Movimento do Fluido

entre o sangue e o fluido intersticial

$$P_c + \Pi_i = P_i + \Pi_c$$

- P_c = Pressão hidrostática no capilar **Fluido para fora**
- Π_i = Pressão osmótica coloidal do fluido intersticial **Fluido para fora**
- P_i = Pressão hidrostática do fluido intersticial **Fluido para dentro**
- Π_p = Pressão osmótica coloidal do plasma sanguíneo **Fluido para dentro**

$$\begin{array}{cc} (P_c + \pi_i) & - & (P_i + \pi_p) \\ \text{(Fluid out)} & & \text{(Fluid in)} \end{array}$$

$$\text{Pressão líquida de filtração} = (P_c - \Pi_i) - (P_i - \Pi_c)$$

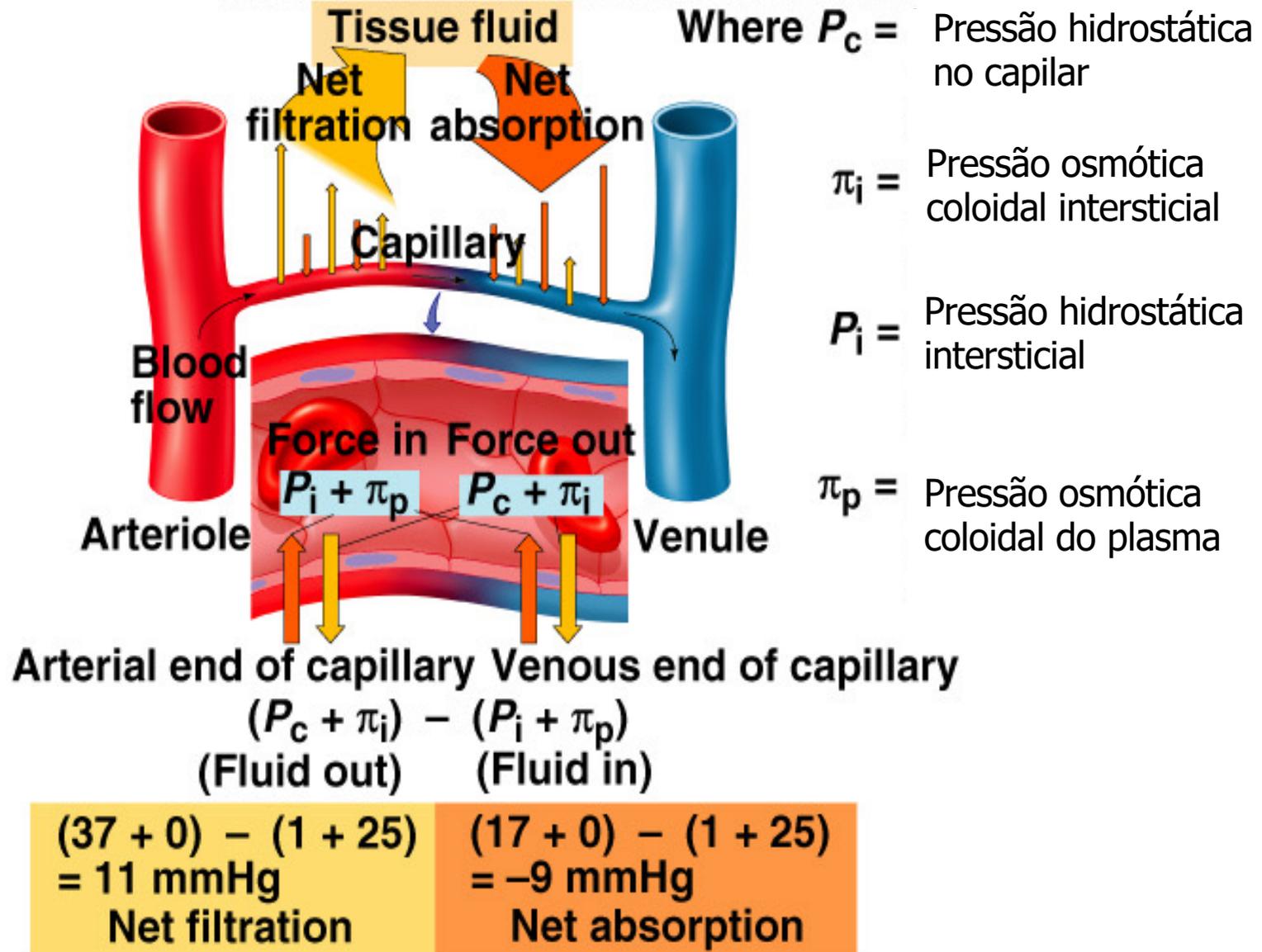
$$\begin{array}{l} (37 + 0) - (1 + 25) \\ = 11 \text{ mmHg} \\ \text{Net filtration} \end{array}$$

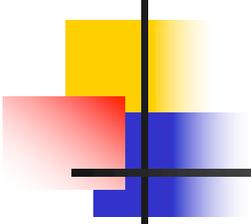
$$\begin{array}{l} (17 + 0) - (1 + 25) \\ = -9 \text{ mmHg} \\ \text{Net absorption} \end{array}$$

+2mmHg pressão líquida de filtração positiva

Movimento do Fluido (continuação)

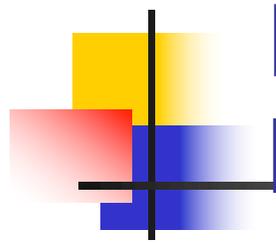
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.





Edema e suas causas

- Acumulação excessiva de fluido nos tecidos.
- Pode ser causado por:
 - Pressão sanguínea arterial elevada
 - Obstrução venosa
 - Extravasamento de proteínas plasmáticas para o fluido intersticial
 - Diminuição da [proteína] plasmática
 - Obstrução da drenagem linfática



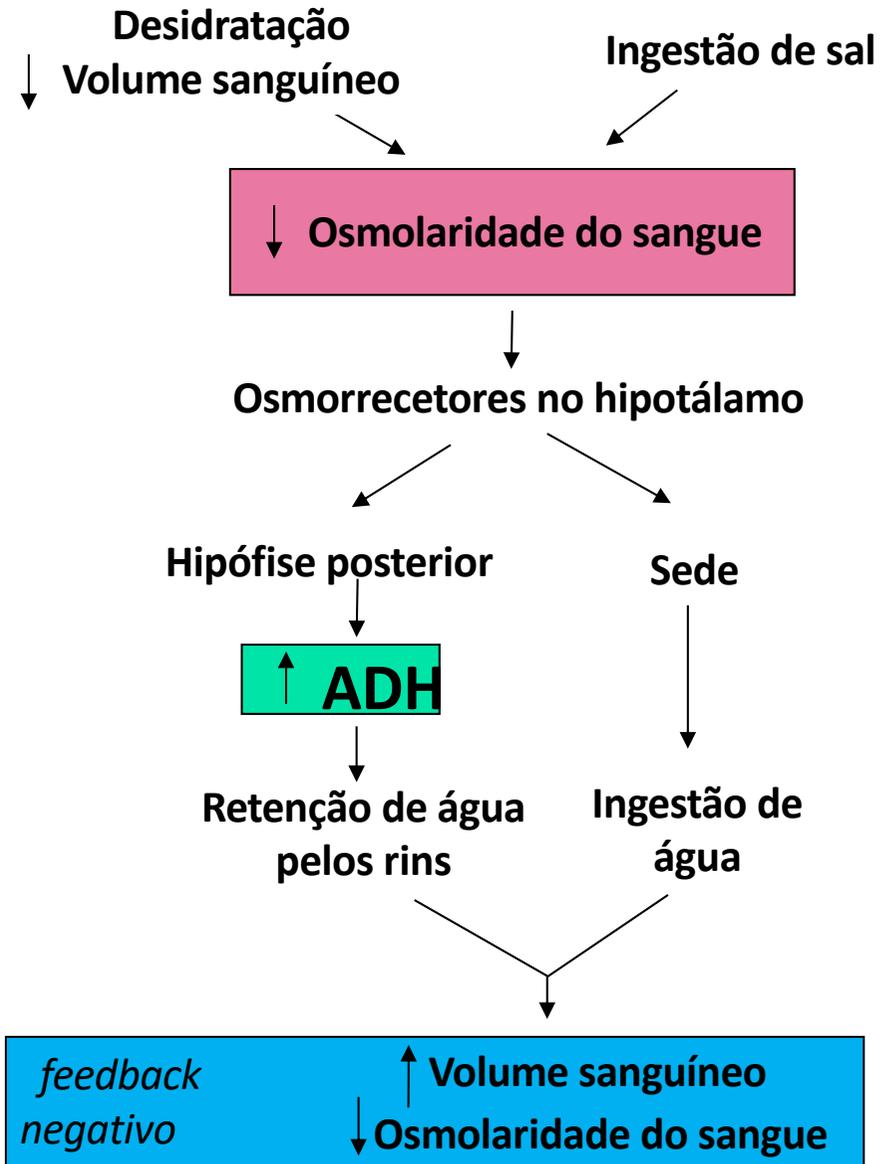
Regulação do volume sanguíneo pelos rins

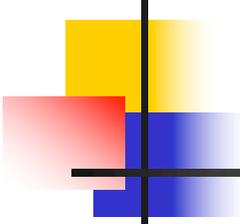
- A formação da urina tem início na filtração do plasma através dos poros dos capilares glomerulares
- Volume de urina excretada varia em função de alterações na reabsorção do filtrado
 - Ajustado de acordo com as necessidades do organismo através da ação de hormonas.

Regulação pela ADH

- ADH é libertada pela hipófise posterior quando os osmoreceptores detectam um aumento da osmolaridade do plasma
- Desidratação ou excesso de ingestão de sal:
 - Produz sensação de sede
 - Estimula a reabsorção de água a partir do filtrado glomerular

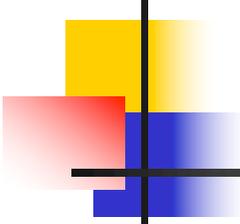
Estímulos





Regulação pela Aldosterona

- Hormona esteróide secretada pelo córtex da glândula suprarrenal
- Mecanismo destinado a manter constantes o volume e a pressão do sangue através da absorção e retenção de Na^+ e Cl^-
 - Estimula a reabsorção de NaCl
 - Indirectamente aumenta a reabsorção de H_2O
 - Não dilui a osmolaridade
- Libertação é estimulada:
 - Privação de sal
 - Redução do volume e da pressão sanguínea



Sistema Renina-Angiotensina-Aldosterona

- Quando se torna reduzida a pressão e o fluxo ao nível da artéria renal, o aparelho justaglomerular secreta **renina**
- Renina converte o angiotensinogénio no plasma sanguíneo em angiotensina I.
- Angiotensina I é convertida em angiotensina II pela enzima de conversão da angiotensina, ECA.
- Angiotensina II:
 - Potente vasoconstritor.
 - Estimula a produção de aldosterona.
 - Estimula a sede.

Sistema Renina-Angiotensina-Aldosterona (continuação)

Estímulos

↓ Pressão sanguínea
↓ Fluxo sanguíneo renal

Aparelho justaglomerular renal

Renina

Angiotensinogénio

Angiotensina I

ECA

Angiotensina II

Córtex adrenal

Aldosterona

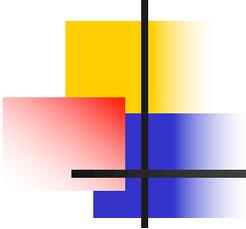
Retenção de água e sal nos rins

Vasoconstrição das arteríolas

feedback negativo

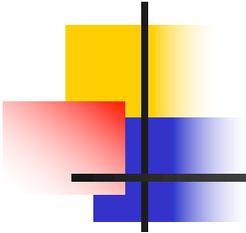
↑ Volume sanguíneo

↑ Pressão sanguínea



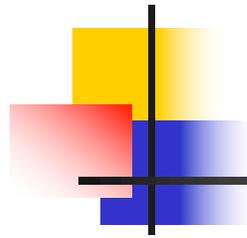
Peptídeo natriurético auricular

- Produzido nas aurículas
- Estiramento das aurículas estimula a produção de PNA
 - Antagonista da aldosterona e da angiotensina II
 - Promove a excreção de Na^+ e H_2O na urina
 - Promove a vasodilatação



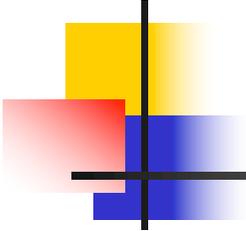
Resistência vascular ao fluxo sanguíneo

- A quantidade de sangue bombeado pelo coração em cada minuto é igual à taxa de retorno venoso.
- Leis da física que descrevem o fluxo sanguíneo:
 - O fluxo sanguíneo através do sistema vascular deve-se à diferença de pressão que se verifica entre as duas extremidade (DP).
- Fluxo = DP/R
 - $R = RPT$ (soma de toda a resistência vascular no seio da circulação sistémica)
 - Fluxo sanguíneo é directamente proporcional à diferença de pressão.
 - Inversamente proporcional à resistência.



Resistência

- Oposição ao fluxo sanguíneo
- Resistência é directamente proporcional ao comprimento do vaso e à viscosidade do sangue
- Inversamente proporcional à 4^a potência do raio do vaso (quanto maior o diâmetro do vaso menor a resistência)



Lei de Poiseuille

A resistência corresponde:

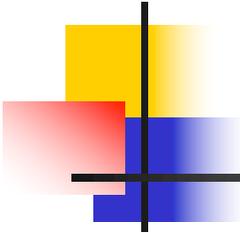
$$\text{Resistência} = \Delta \text{ pressão} / \text{fluxo}$$

Segundo a **lei de Poiseuille**, a resistência de um tubo pode ser prevista pela seguinte equação:

$$\text{Resistência} = 8 \eta l / \pi r^4$$

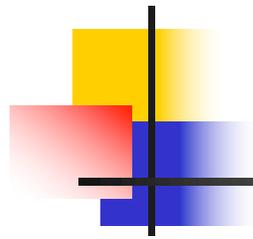
l, comprimento; η , viscosidade do líquido; r, raio do vaso

- Comprimento do vaso e a viscosidade do sangue variam pouco, ficando a resistência vascular dependente do raio do vaso, quanto maior o raio, menor a resistência – a resistência é inversamente proporcional ao raio elevado à quarta potência.



Regulação Extrínseca do Fluxo Sanguíneo

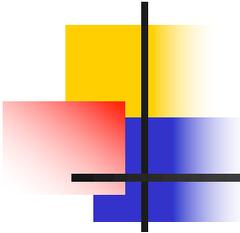
- Controlo pelo sistema nervoso autónomo e pelo sistema endócrino.
- **Simpático-adrenal:**
 - Aumenta o DC
 - Aumenta a RPT
 - Estimulação alfa-adrenérgica :
 - Vasoconstricção das artérias da pele e das vísceras
 - Fibras colinérgicas simpáticas:
 - Vasodilatação dos vasos do músculo esquelético



Regulação Extrínscica do Fluxo Sanguíneo

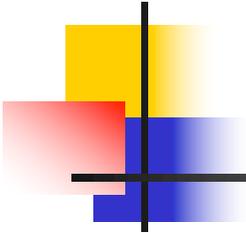
(continuação)

- Sistema nervoso parassimpático :
 - Inervação parassimpática é limitada
 - Promove a vasodilatação no tracto digestivo, nos órgãos genitais externos e nas glândulas salivares
 - Tem menor importância que o simpático na regulação da RPT
 - Terminações nervosas parassimpáticas nas arteríolas promovem vasodilatação



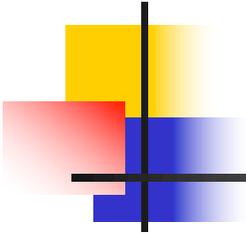
Regulação Parácrina do Fluxo Sanguíneo

- Endotélio produz vários reguladores parácrinos :
 - Endotélio das arteríolas contém eNOS (síntetase do óxido nítrico endotelial), que produz NO:
 - NO difunde-se através do músculo liso:
 - Activa a enzima guanilato ciclase:
 - Converte GTP em cGMP (2º mensageiro).
 - Reduz $[Ca^{2+}]$ citoplasmática – relaxamento músculo liso
 - Produção de NO é aumentada pela acetilcolina (Ach):
 - Estimula a abertura de canais de Ca^{2+}
 - Ca^{2+} liga-se à calmodulina
 - Calmodulina activa a enzima para produzir NO
 - Bradyquinina, prostaciclina, endotelina-1:
 - Vasodilatação



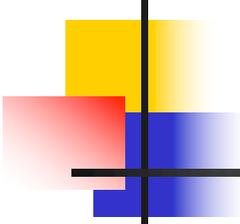
Regulação Intrínseca do Fluxo Sanguíneo (Autoregulação)

- Mecanismo de controlo miogénico
 - Deve-se ao estiramento do músculo liso dos vasos.
 - aumento da pressão arterial aumenta a tensão na parede vascular e o músculo liso vascular contrai
 - a diminuição da pressão arterial diminui a tensão e o músculo liso relaxa.



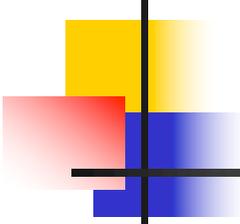
Regulação Intrínseca do Fluxo Sanguíneo (Autoregulação) (continuação)

- **Mecanismo de controlo metabólico:**
 - Receptores intrínsecos percebem alterações químicas no meio
 - Vasodilatação:
 - Diminuição de O_2 :
 - Aumento da taxa metabólica.
 - Aumento de CO_2 :
 - Diminuição da ventilação.
 - Diminuição do pH:
 - Acumulação de ácido láctico.
 - Aumento da adenosina ou K^+ :
 - Libertados pelas células do tecido.



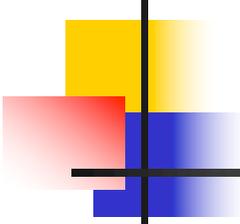
Necessidade Aeróbica do Coração

- Sobrevivência impõe que o coração e o cérebro recebam permanentemente um aporte sanguíneo adequado
 - As artérias coronárias irrigam um enorme número de capilares
 - Cada célula miocárdica encontra-se a uma distância máxima de 10 μm do capilar mais próximo
 - A sístole contrai os vasos sanguíneos coronários
 - Diástole faz aumentar o fluxo de sangue para o músculo cardíaco
- Miocárdio contém grandes quantidades de mioglobina.
 - Mioglobina armazena O_2 durante a diástole para o libertar durante a sístole
 - O músculo cardíaco contém um elevado número de mitocôndrias e enzimas respiratórias aeróbicas



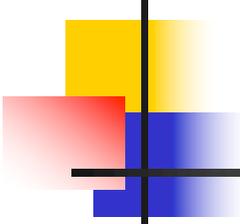
Regulação do fluxo sanguíneo coronário

- Sistema nervoso simpático:
- Receptores α :
 - Vasoconstricção em repouso
- Receptores β :
 - Vasodilatação
- Intrínsecos:
 - O aumento do metabolismo do miocárdio provoca acumulação de CO_2 , K^+ e adenosina; diminuição de O_2
 - Actuam directamente no músculo liso vascular causando o seu relaxamento



Regulação do fluxo sanguíneo através do músculo esquelético

- O fluxo sanguíneo diminui quando o músculo se contrai provocando a constricção das artérias.
- Simpático:
 - Receptores α -adrenérgicos :
 - Vasoconstricção em repouso.
- Receptores Colinérgicos e β -adrenérgicos :
 - Vasodilatação.
- Mecanismos de controlo intrínseco à medida que o exercício aumenta:
 - O aumento do metabolismo do miocárdio provoca acumulação de CO_2 , K^+ e adenosina; diminuição de O_2 – provocam vasodilatação das arteríolas.

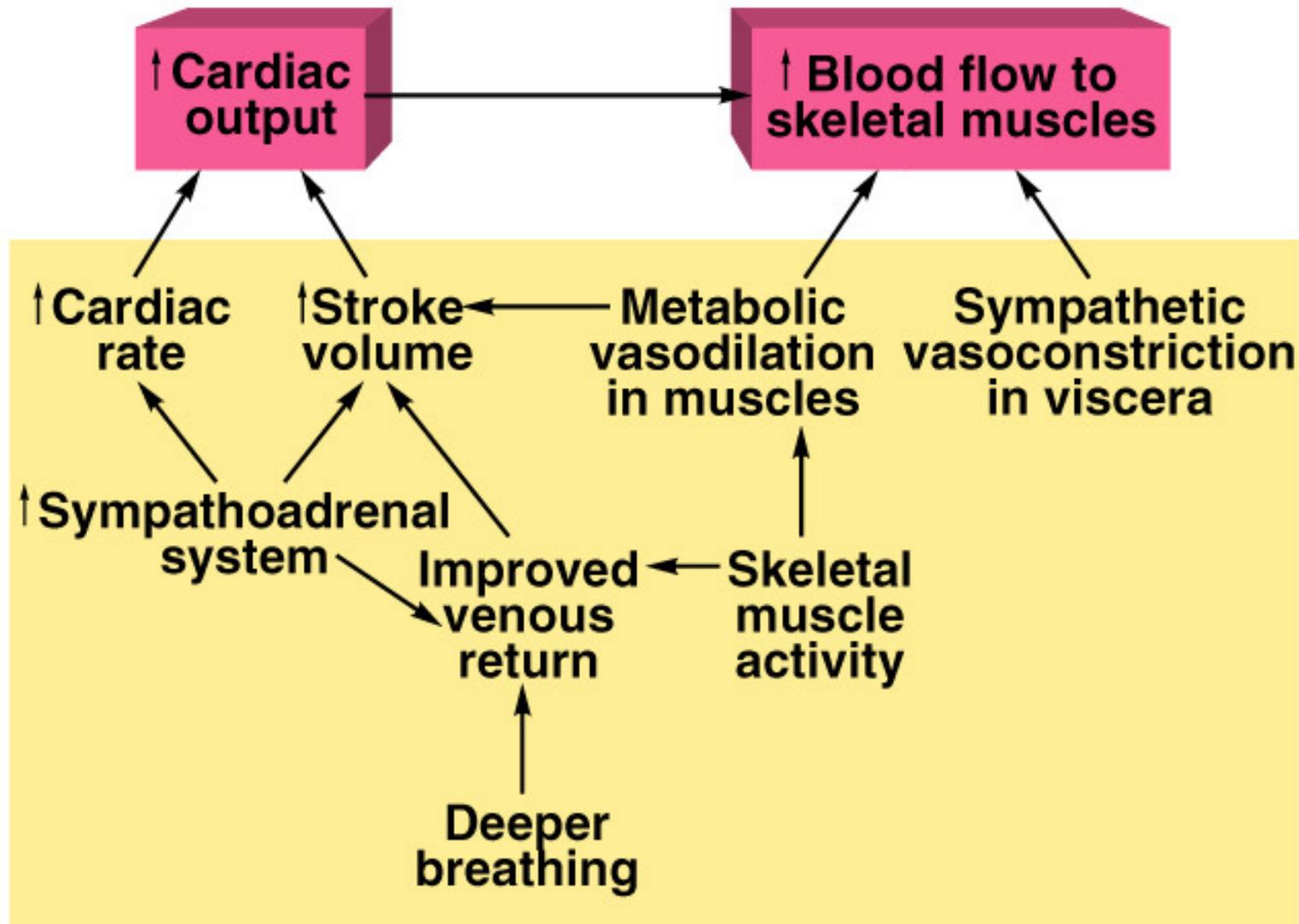


Alterações circulatórias durante o exercício físico

- Diminui a resistência vascular nos músculos esqueléticos
 - Aumenta o fluxo sanguíneo para os músculos esqueléticos
 - VB e o DC aumentam.
 - Fluxo sanguíneo para o cérebro permanece inalterado
 - FC aumenta até um máximo de batimentos/min.
 - Fração ejectada aumenta graças ao aumento da contractilidade
- Resistência vascular :
 - Diminui no músculo esquelético
 - Aumenta no tracto GI e na pele

Alterações circulatórias durante o exercício físico (continuação)

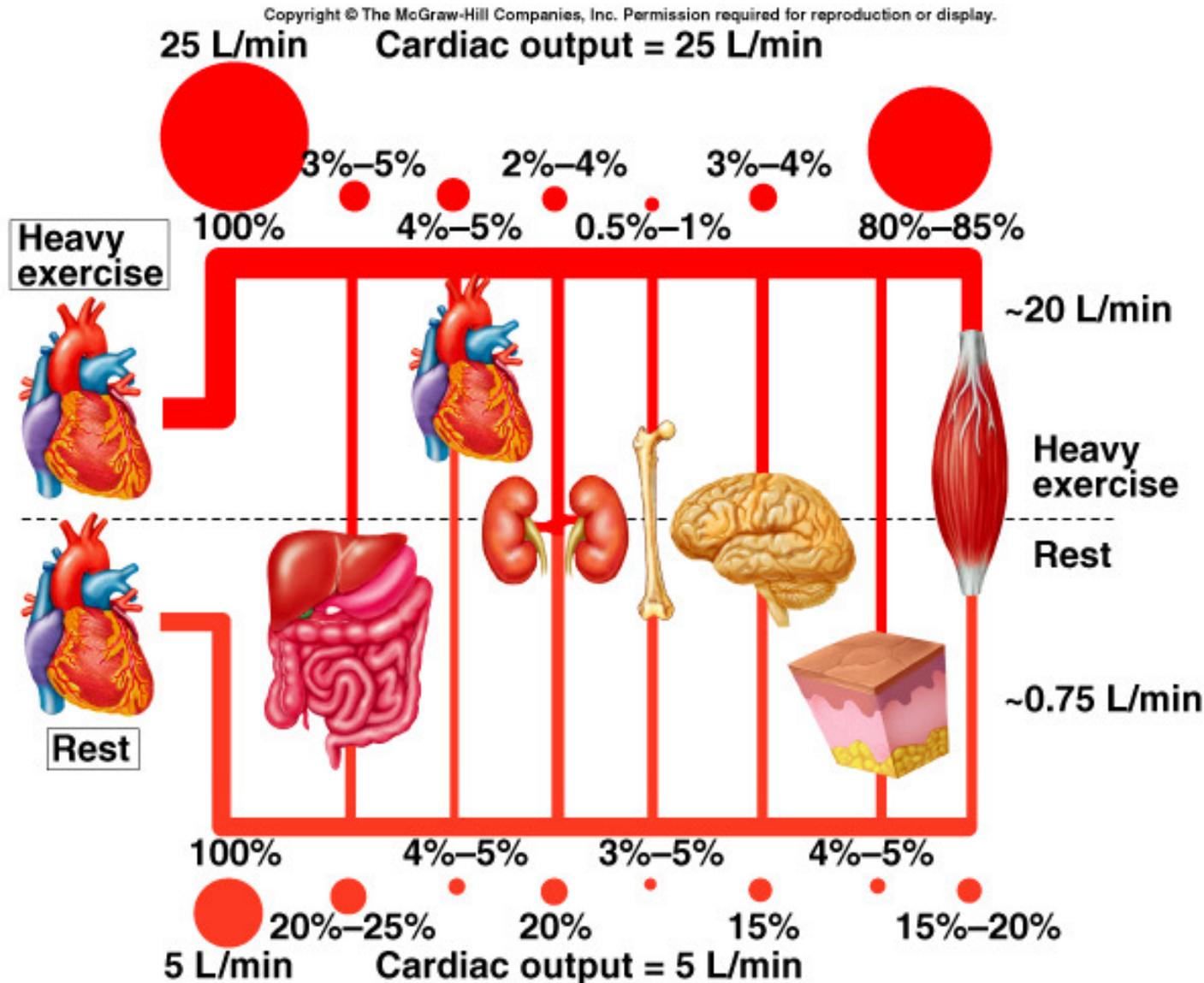
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

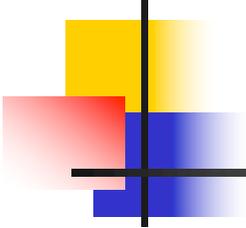


Alterações circulatórias durante o exercício físico

(continuação)

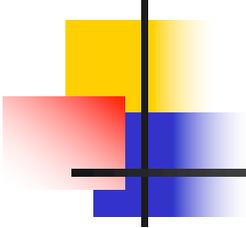
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.





Circulação Cerebral

- O fluxo sanguíneo cerebral não é normalmente influenciado pela actividade nervosa simpática.
- Dentro da gama normal de pressões:
 - O fluxo sanguíneo cerebral é quase exclusivamente regulado por mecanismos intrínsecos:
 - Miogénicos:
 - Artérias cerebrais são sensíveis à $[CO_2]$.
 - Dilatação mantém uma taxa de fluxo constante
 - Metabólicos:
 - Sensíveis a alterações da actividade metabólica
 - Áreas do cérebro com actividade metabólica intensa recebem mais sangue
 - Pode ser causado pela $[K^+]$



Pressão sanguínea

- A pressão do sangue arterial é regulada pelo volume sanguíneo, RPT e a frequência cardíaca
- A resistência é máxima na arteríolas por estas apresentarem o menor diâmetro (entre as artérias)
 - A pressão sanguínea capilar diminui em virtude do aumento da área transversal.
- As 3 variáveis mais importantes são a FC, VB, e a RPT
 - O aumento de qualquer uma delas resulta num aumento da PS
- A PS pode ser regulada pelos:
 - Rins e sistema simpático-adrenal

Pressão sanguínea (continuação)

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

