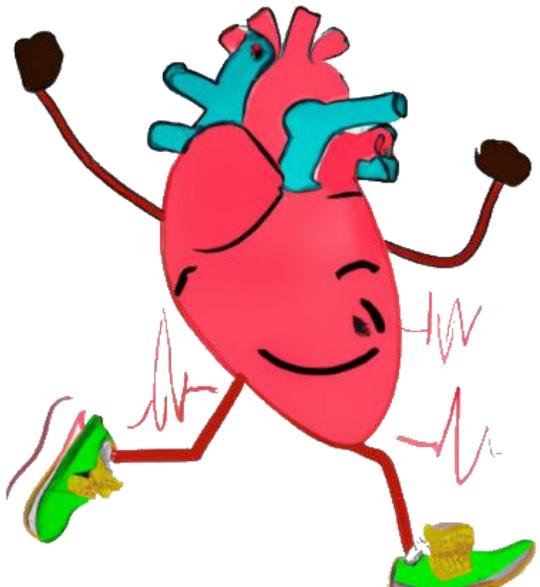


RESPOSTAS CARDIOVASCULARES AGUDAS AO EXERCÍCIO FÍSICO



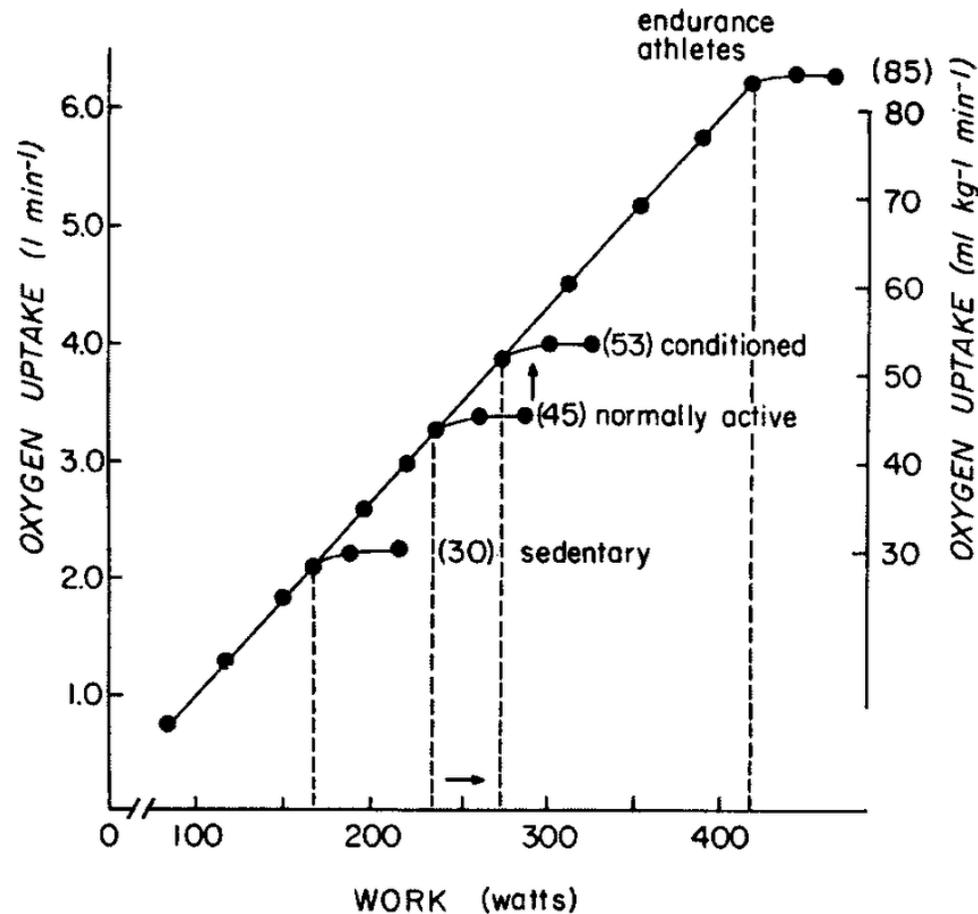
Bruno Augusto Aguilar

O que veremos hoje:

- O desafio metabólico do exercício físico
- O débito cardíaco durante o exercício
- Redistribuição do fluxo sanguíneo durante o exercício
- Diferença artéria venosa de O_2



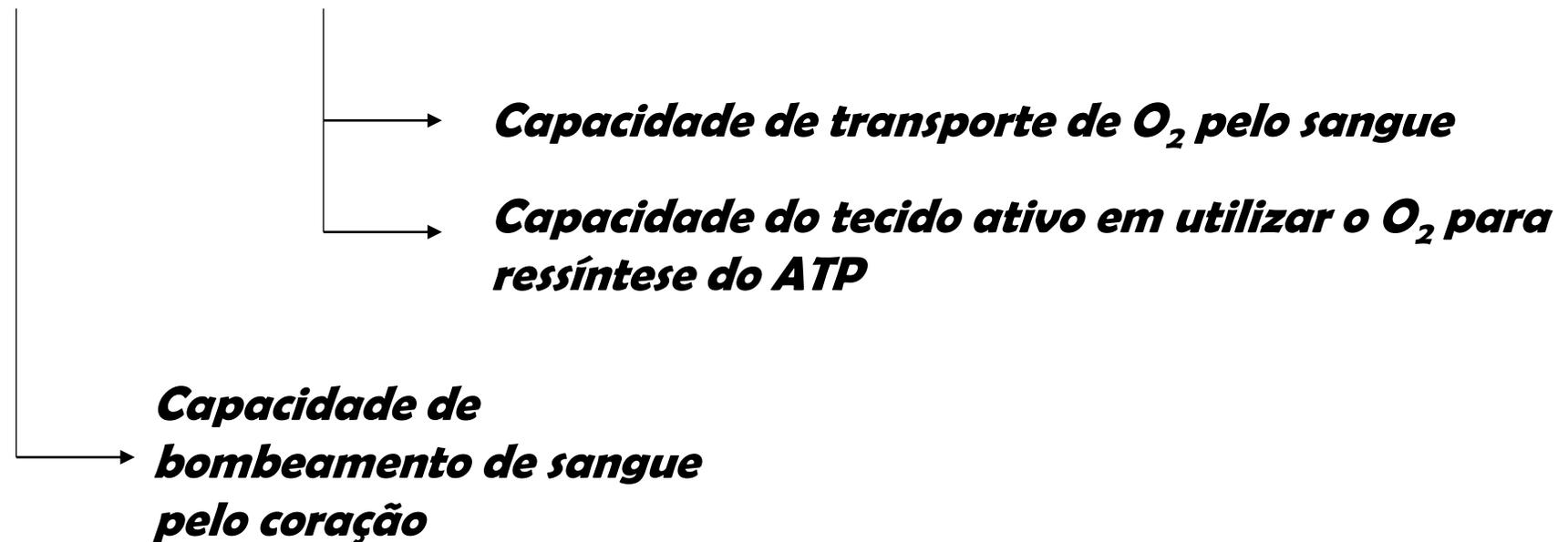
A demanda metabólica do organismo aumenta em muitas vezes no exercício em relação ao repouso



- Quanto maior for a exigência de uma atividade, maior será a demanda de oxigênio para a mesma;
- A capacidade máxima de consumo de oxigênio está diretamente associada ao nível de treinamento do indivíduo;
- Para uma mesma carga externa, indivíduos diferentes podem apresentar consumo de oxigênio distinto, e isso atribui-se a eficiência do movimento;

Os determinantes cardiovasculares do consumo máximo de oxigênio podem ser resumidos pela equação de Fick

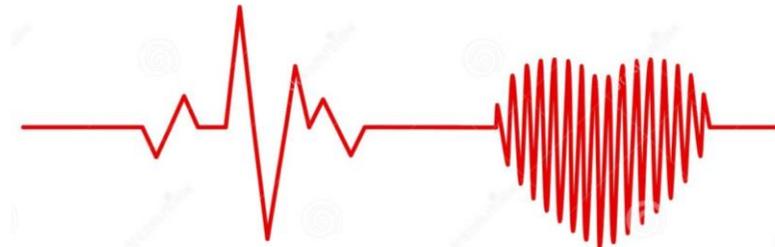
$$\mathbf{VO_2 = DC \times AV_{DIF}}$$



Frase norteadora:

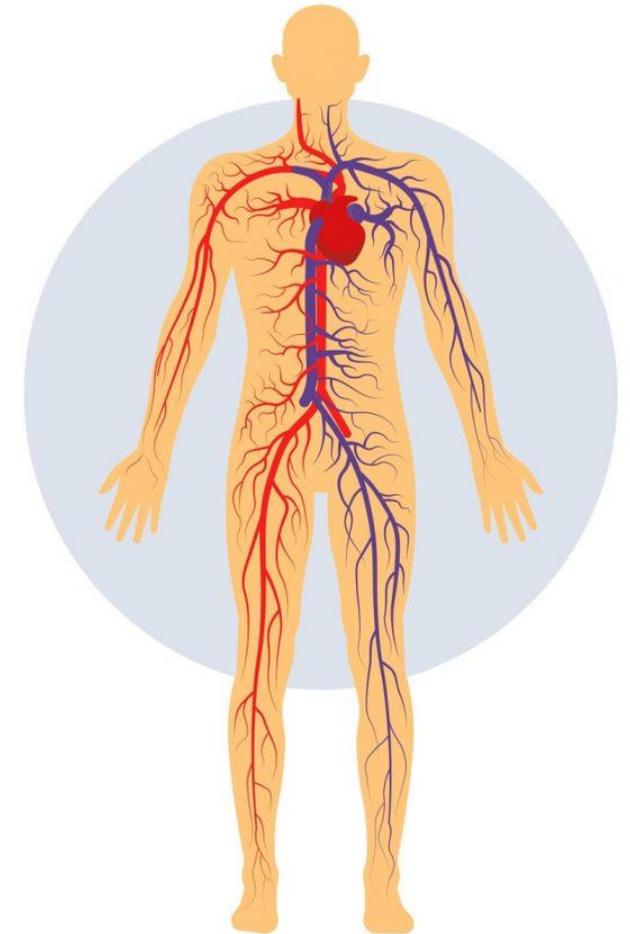
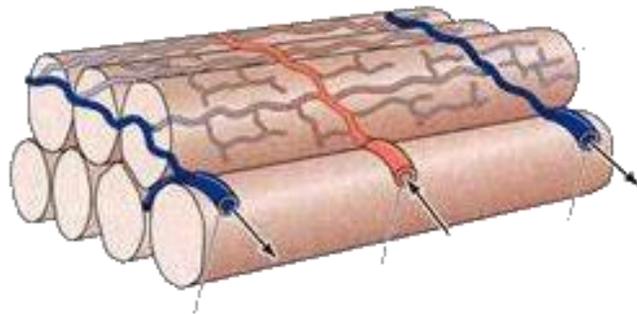
A função do sistema cardiovascular é a de suprir a todo o momento e de maneira adequada todos os tecidos de acordo com a sua demanda específica.

Como isso é possível?



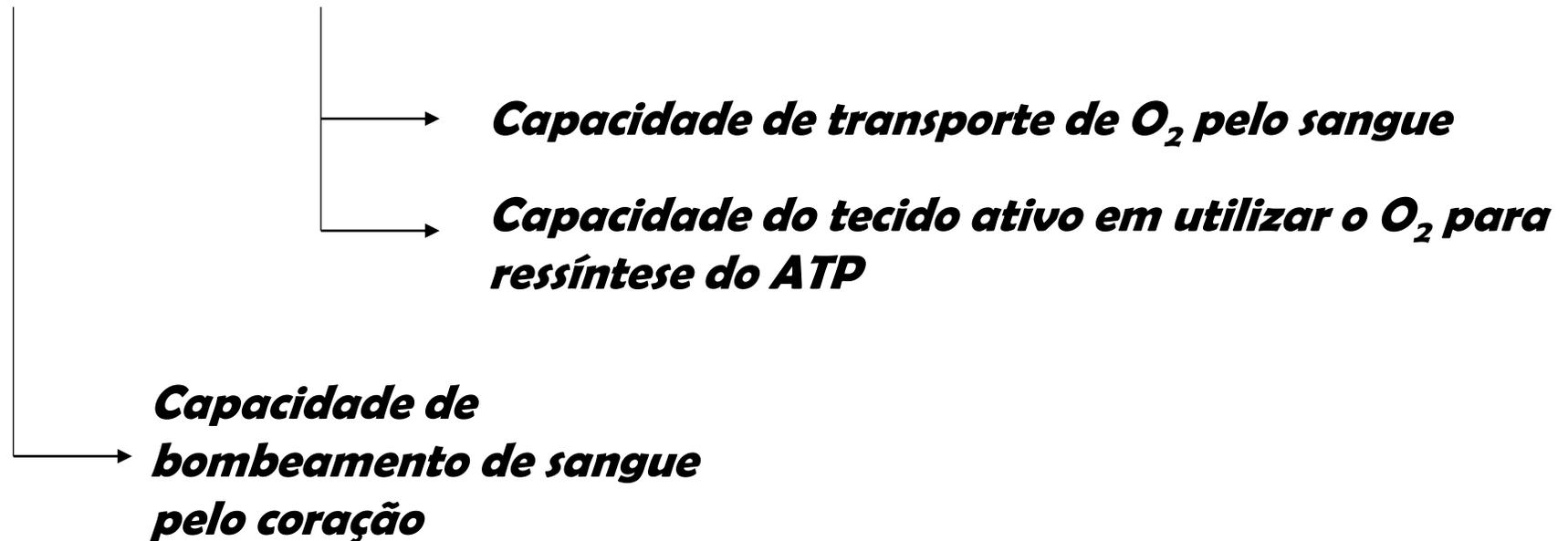
O fluxo sanguíneo é distribuído com equidade a todos os tecidos por meio de alterações locais na resistência dos vasos

$$\text{FLUXO} = \frac{\Delta \text{ Pressão}}{\text{Resistência}}$$



A CAPACIDADE DE BOMBEAMENTO DE SANGUE SE ELEVA EM FUNÇÃO DA INTENSIDADE DO EXERCÍCIO

$$VO_2 = \underline{DC} \times AV_{DIF}$$



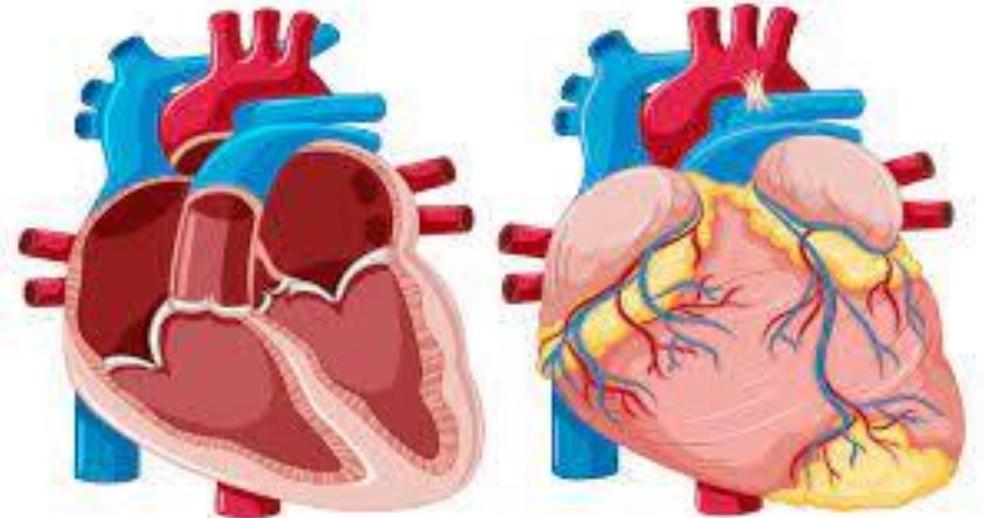
O débito cardíaco é a quantidade de sangue que o ventrículo esquerdo é capaz de bombear a cada minuto

$$\mathbf{DC = VS \times FC} \longrightarrow \mathbf{FREQUÊNCIA CARDÍACA}$$

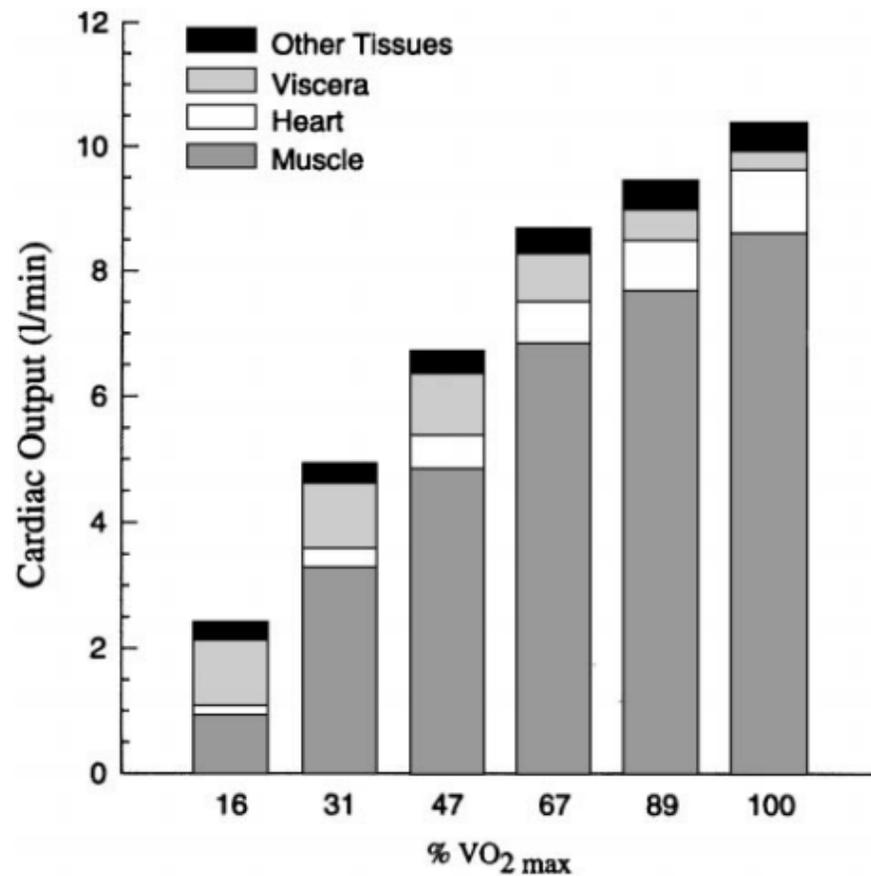
→ **PRÉ CARGA**

→ **PÓS CARGA**

→ **CONTRATILIDADE**



O débito cardíaco se eleva em função da intensidade do exercício



$$DC = VS \times FC$$

↑ *PRÉ CARGA*

↑ *CONTRATILIDADE*

↑ *FREQUÊNCIA CARDÍACA*

O volume sistólico se eleva em resposta ao aumento do retorno venoso e da contratilidade cardíaca

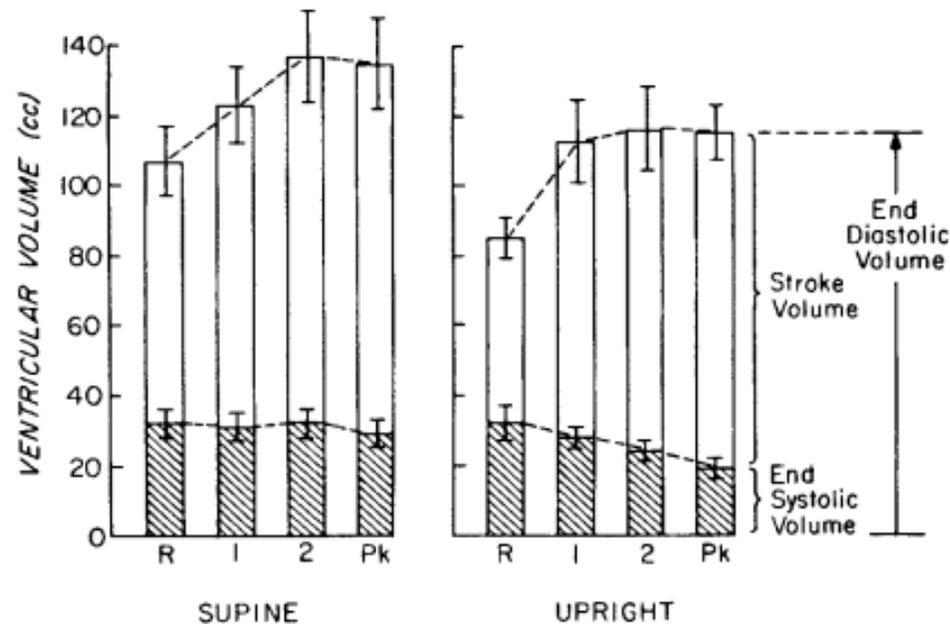


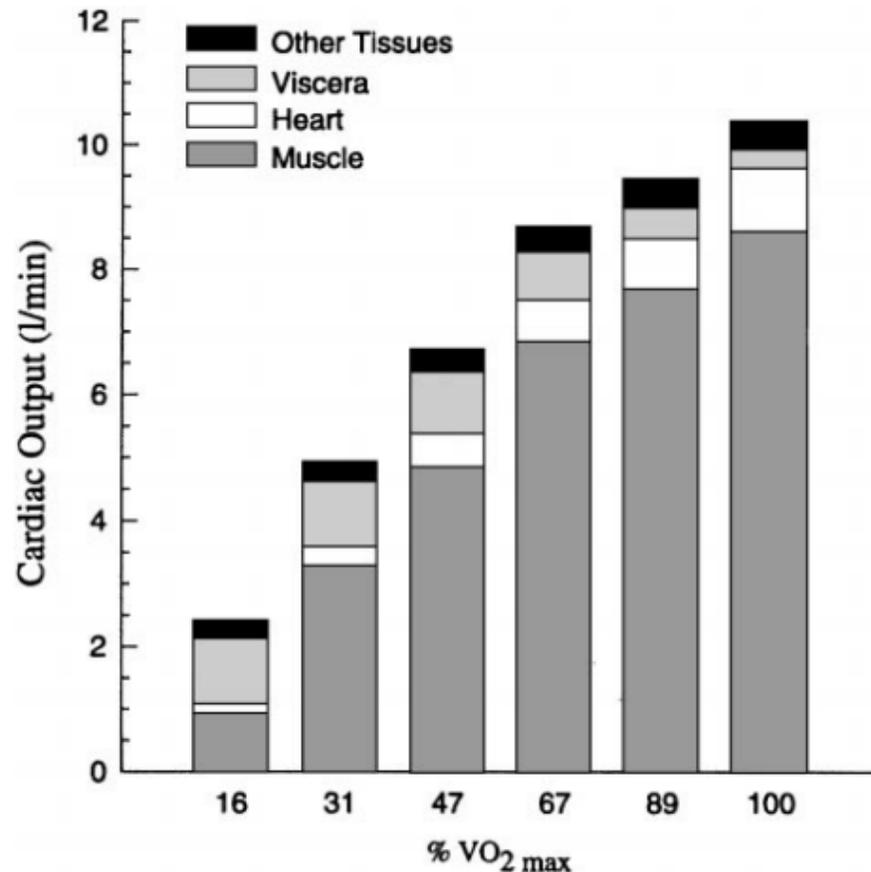
FIG. 3.

Ventricular volumes at rest and as a function of exercise intensity in supine and upright postures. Note that end-diastolic volume increases during exercise. Also, in the upright posture, end-systolic volume decreases with increasing exercise intensity. R, rest; exercise intensities were mild (1), moderate (2), and peak (Pk). Values are means \pm SE. [Reprinted from Rowell (7) with permission.]

- **Volume diastólico final (End diastolic volume):** Quantidade de sangue no ventrículo ao final da diástole. Se eleva em função do aumento do retorno venoso;
- **Volume sistólico final (End systolic volume):** A quantidade de sangue que resta no ventrículo ao final da sístole. Se reduz como consequência do aumento da contratilidade;
- **Volume de ejeção (Stroke Volume):** A quantidade de sangue ejetada pelo ventrículo esquerdo a cada contração. Se eleva em função do aumento do retorno venoso e da contratilidade (VDF – VSF);
- **Fração de ejeção (Ejection Fraction):** A fração de sangue ao final da diástole que é ejetada do sangue durante a sístole (VSF/VDF);

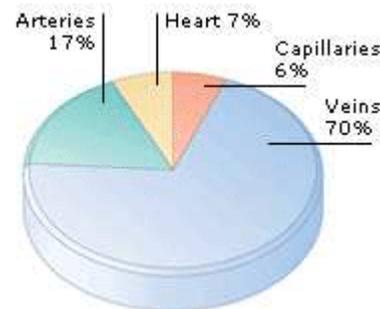
O volume de ejeção se eleva em resposta do aumento do retorno venoso e da contratilidade cardíaca

O EFEITO DA VASOCONSTRIÇÃO NOS ÓRGÃOS EXPLÊNICOS



- A vasoconstrição que ocorre em resposta do maior drive simpático sobre o sistema vascular resulta na redução do fluxo direcionado aos órgãos esplênicos em função da intensidade do exercício;
- A vasoconstrição que ocorre nos órgãos esplênicos bem como em outros tecidos com menor demanda metabólica contribuem para o aumento do volume circulante bem como do hematócrito

EFEITO DA VASOCONSTRIÇÃO SOBRE O SISTEMA VENOSO



Distribuição relativa de sangue nos vasos durante o repouso

O volume de ejeção se eleva em resposta do aumento do retorno venoso e da contratilidade cardíaca

O EFEITO DA BOMBA MUSCULAR

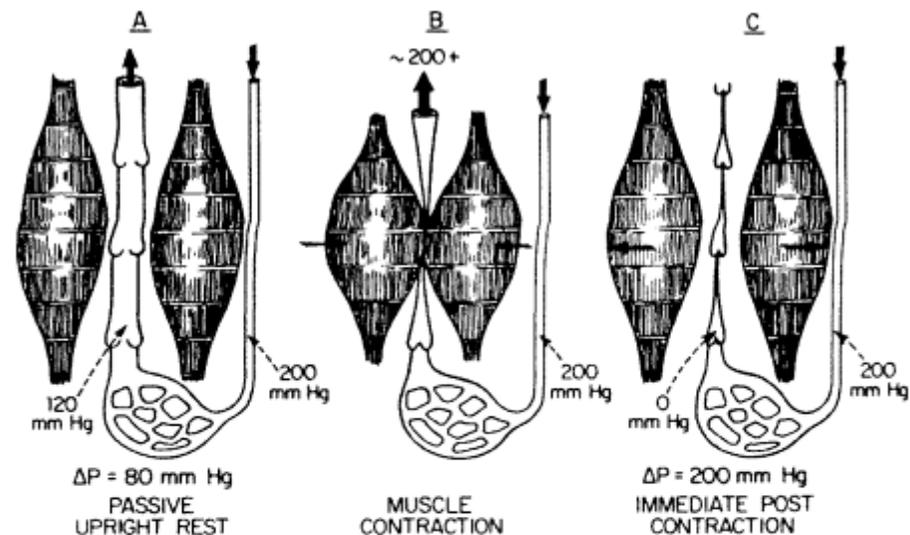


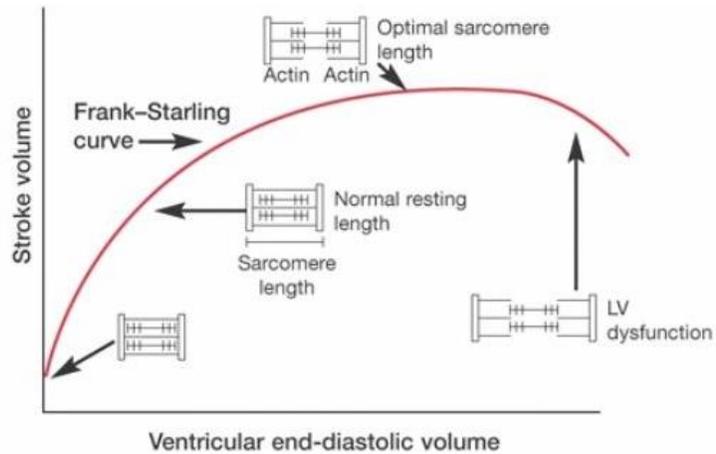
FIG. 8.

Illustration of muscle pump effect on venous return and muscle blood flow to active muscle tissue. *A*: hemodynamic conditions for a skeletal muscle of lower limb of a subject in upright posture, at rest. ΔP , change in pressure. *B*: effects of muscle contraction on vasculature. Muscle contraction forces blood out of venous segments, increasing venous driving pressure toward the heart, and blocks arterial inflow. *C*: conditions believed to exist immediately after muscle contraction. Note that pressures in small veins fall to zero and that, because of venous valves, refilling must occur from the arterial system through the capillary bed. The net effect of the muscle pump is to increase driving pressure for blood flow through muscle and to enhance venous return to the heart. [Reprinted from Rowell (6) with permission.]

- **A contração dos músculos dos membros inferiores favorece o retorno venoso;**
- **A organização das veias em compartimentos separados por válvulas unidirecionais contribui para a existência do respectivo mecanismo;**

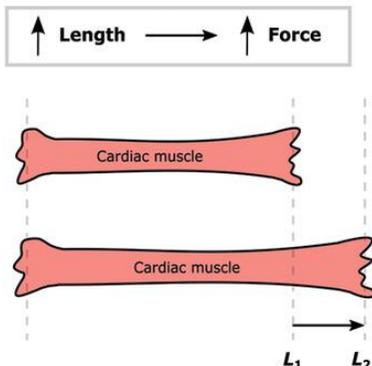
O volume de ejeção se eleva em resposta do aumento do retorno venoso e da contratilidade cardíaca

O MECANISMO DE FRANK-STARLING

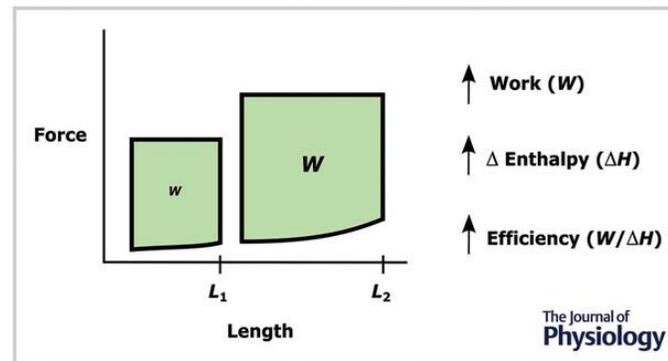


- **Aumento da contratilidade cardíaca (disposição ideal do sarcômero para produção de força)**
- **Aumento da eficiência da contração (propriedades elásticas do músculo)**

Starling's Law of the Heart

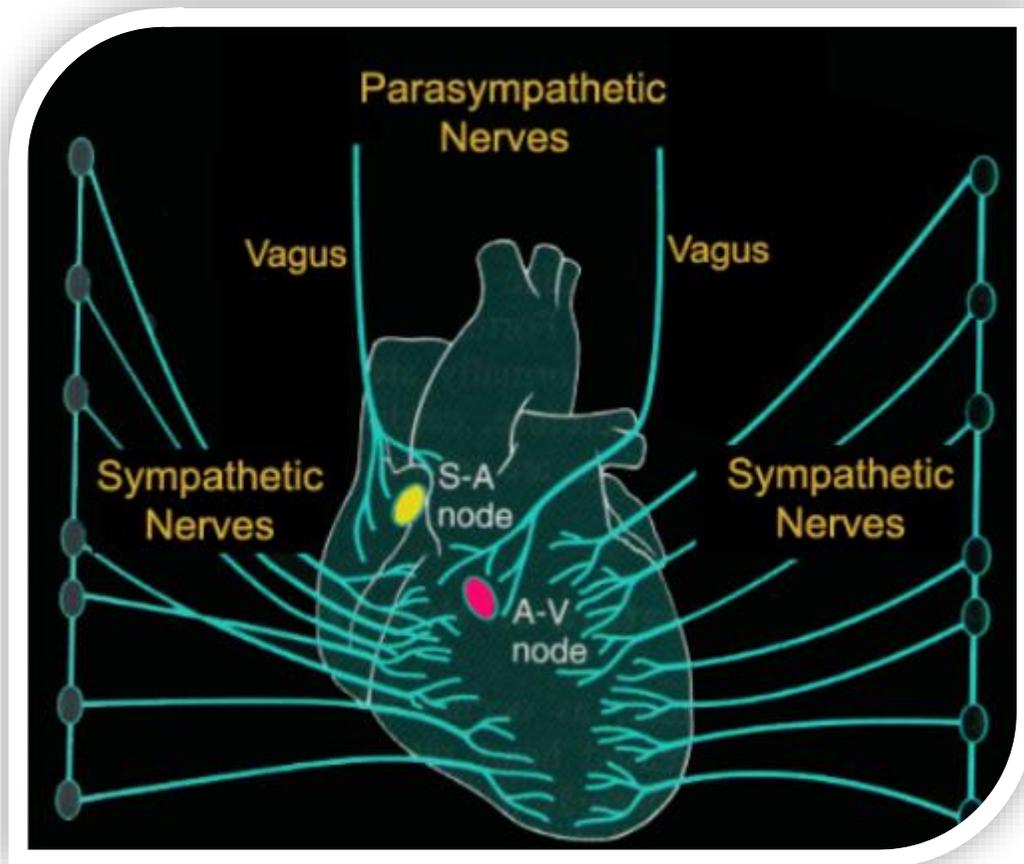


Energetics implications of Starling's Law of the Heart



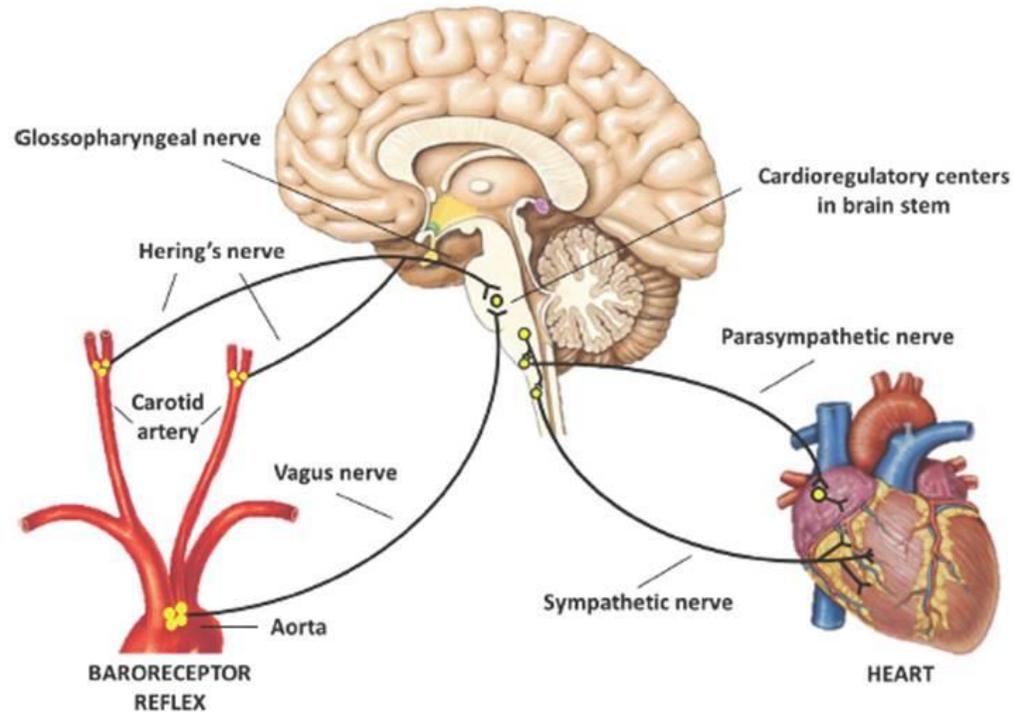
O volume de ejeção se eleva em resposta do aumento do retorno venoso e da **contratilidade cardíaca**

O AUMENTO DO DRIVE SIMPÁTICO E DA CIRCULAÇÃO DE CATECOLAMINAS



- **O aumento do drive simpático sobre a musculatura do ventrículo esquerdo bem como o de catecolaminas circulantes resultam no aumento da força de contração do músculo;**

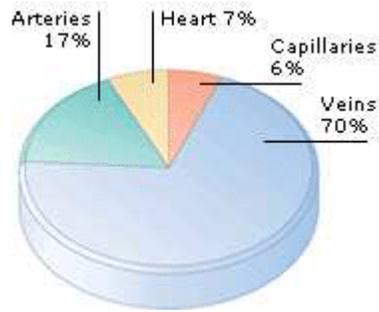
A frequência cardíaca se eleva como resposta de alterações do tônus autonômico



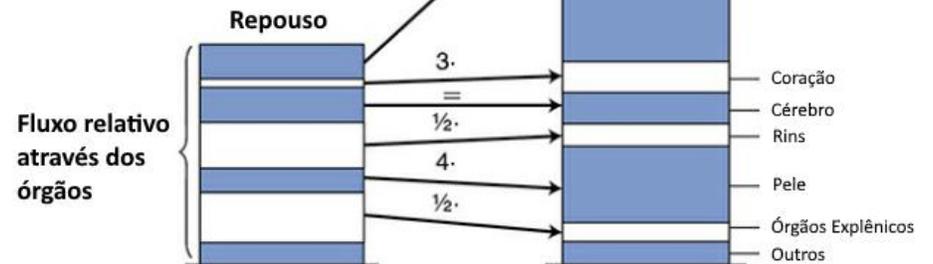
- Receptores mecânicos e metabólicos na musculatura esquelética bem como receptores pressóricos na aorta e carótidas enviam aferências ao centro cárdio regulador no tronco cerebral;
- Em indivíduos saudáveis a elevação da frequência cardíaca é consequência da redução gradativa do tônus vagal e elevação do simpático;
- Tais respostas ocorrem de maneira antecipatória e durante o exercício físico

Como o elevado débito cardíaco é distribuído entre os tecidos durante o exercício físico?

O débito cardíaco é distribuído em função da demanda metabólica de cada tecido



Distribuição relativa de sangue nos vasos durante o repouso



Débito Cardíaco	6L/min	18L/min
Frequência Cardíaca	70 BPM	160BPM
Fração de Ejeção	60%	80%
Pressão Arterial	120/80 mmHg	150/80 mmHg
Pressão Venosa Central	2 mmHg	2 mmHg

Pressão Arterial Média

$$= DC \times RPT$$

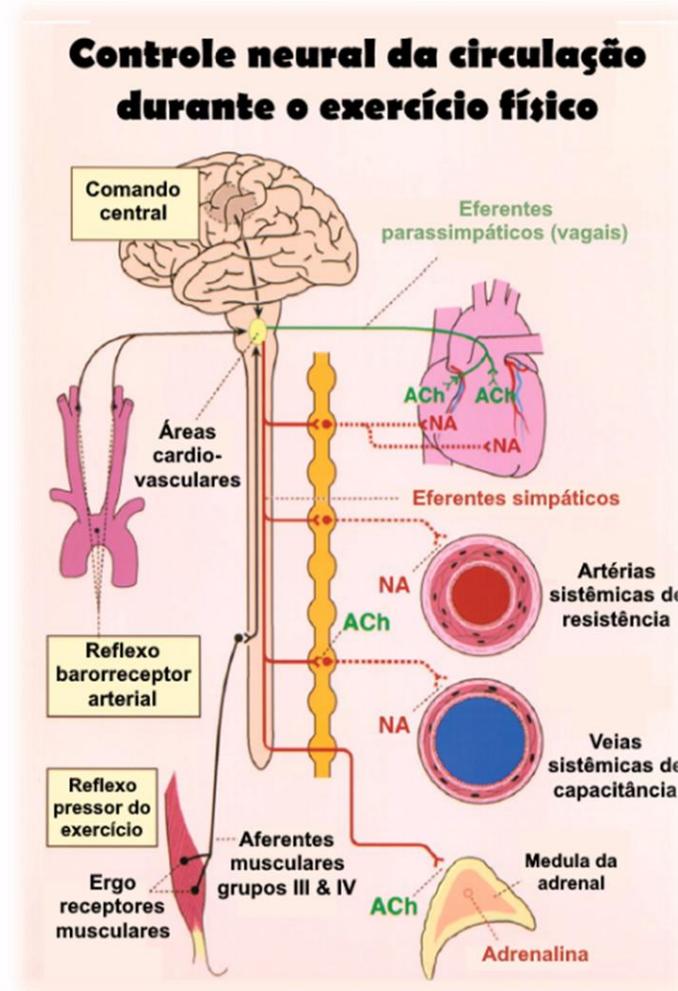
= **PAD**

= **PAS**

$$\text{FLUXO} = \frac{\Delta \text{ Pressão}}{\text{Resistência}}$$

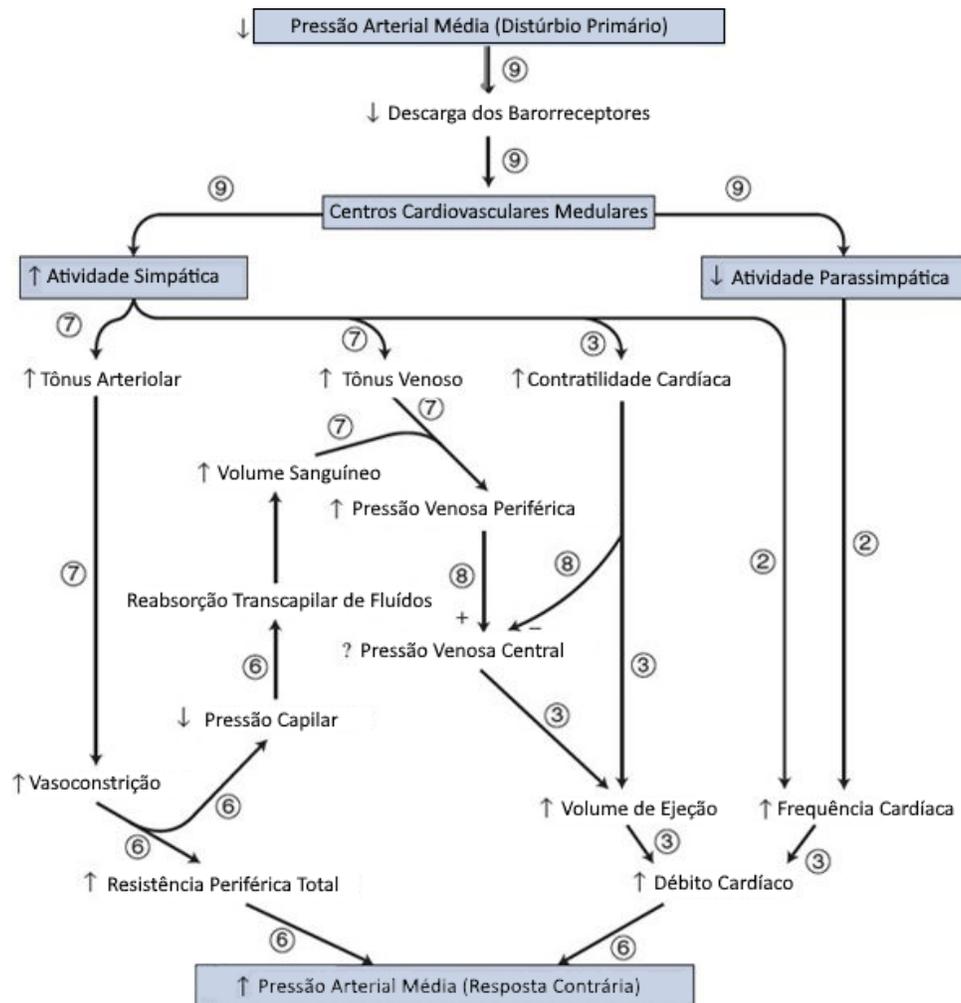
A modulação do tônus vascular é responsável pela redistribuição do fluxo sanguíneo durante o exercício físico

O controle neural da circulação contribui para o aumento do volume circulante e redistribuição do fluxo de tecidos pouco ativos



- **Reflexo pressor do exercício – mecanorreceptores sensíveis ao movimento que enviam aferências ao SNC o que culmina na elevação do drive simpático e redução do vagal;**
- **Barorreceptores aórticos e carotídeos aferem ao SNC as alterações que ocorrem na PAM e contribuem para a regulação da PA (aumento do tônus vascular durante o exercício);**

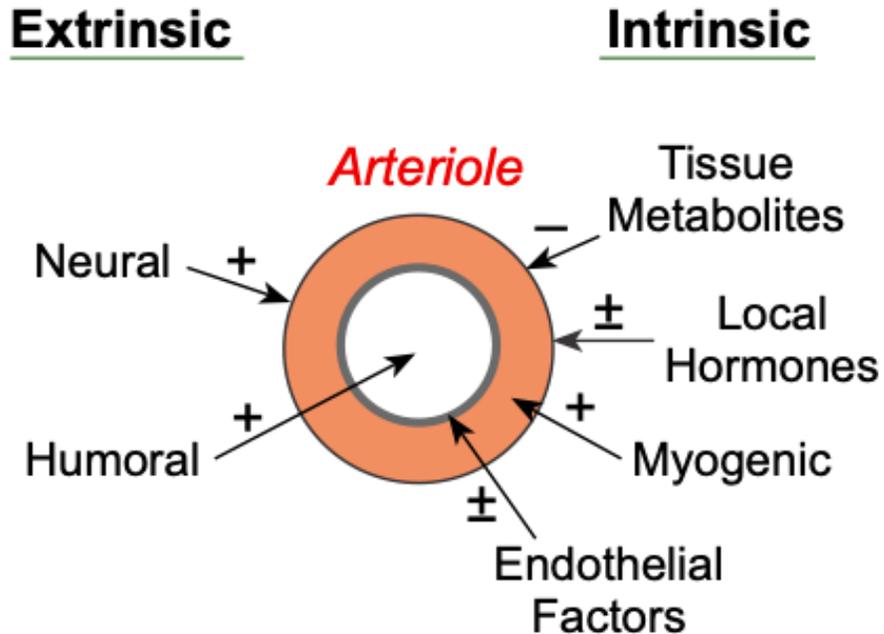
O tônus vascular se eleva como consequência da maior ativação do sistema nervoso simpático



- O sistema vascular é apresentada terminações nervosas do sistema nervoso simpático;
- A maior ativação do SNS promove a contração do músculo liso que circunda os vasos sanguíneos, diminuindo a luz dos vasos (artérias de resistência e veias de capacitância);
- Tal efeito se expressa na redução do fluxo sanguíneo para os órgãos esplênicos e para os rins associado ao aumento do volume circulante;

SE O TÔNUS VASCULAR SE ELEVA COMO RESPOSTA DO MAIOR DRIVE SIMPÁTICO, POR QUAL MOTIVO O FLUXO SANGUÍNEO DO TECIDO MUSCULAR SE ELEVA TANTO?

O Fatores intrínsecos as arteríolas preponderam os fatores extrínsecos e promovem vasodilatação no tecido muscular ativo



Vasoconstrictor (+) and vasodilator (-) influences acting upon arterioles determine vascular tone. Extrinsic factors are from outside of the tissue, whereas intrinsic factors are from within the tissue or vessel. Tone is determine by the balance of all the factors.

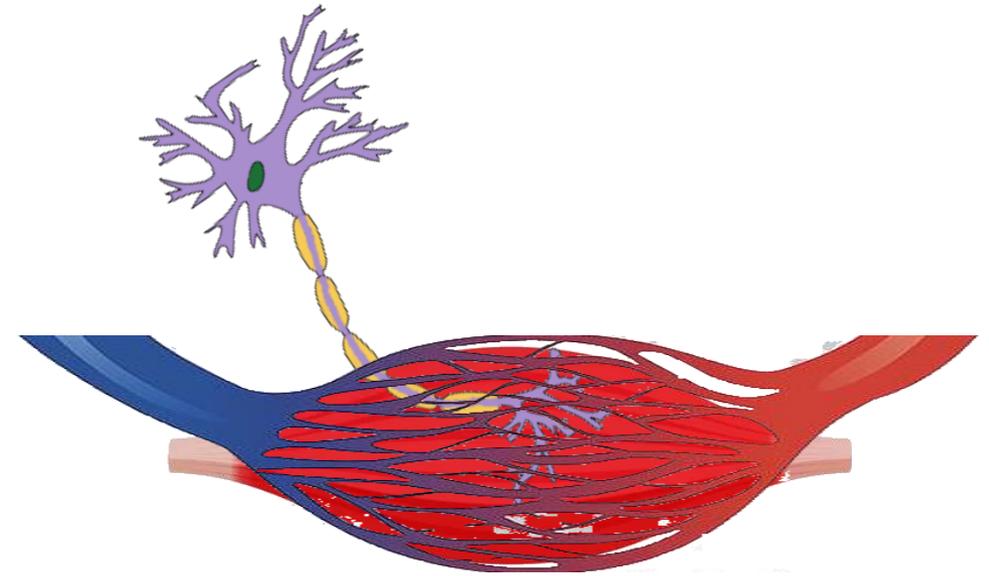
- Metabólitos teciduais que contribuem para vasodilatação no músculo ativo:

- Redução da PO_2 ;
- Elevação da PCO_2 ;
- Elevação na concentração de H^+
- Elevação na concentração de K

- Fatores endoteliais como o óxido nítrico contribuem para a vasodilatação das arteríolas durante o exercício físico;

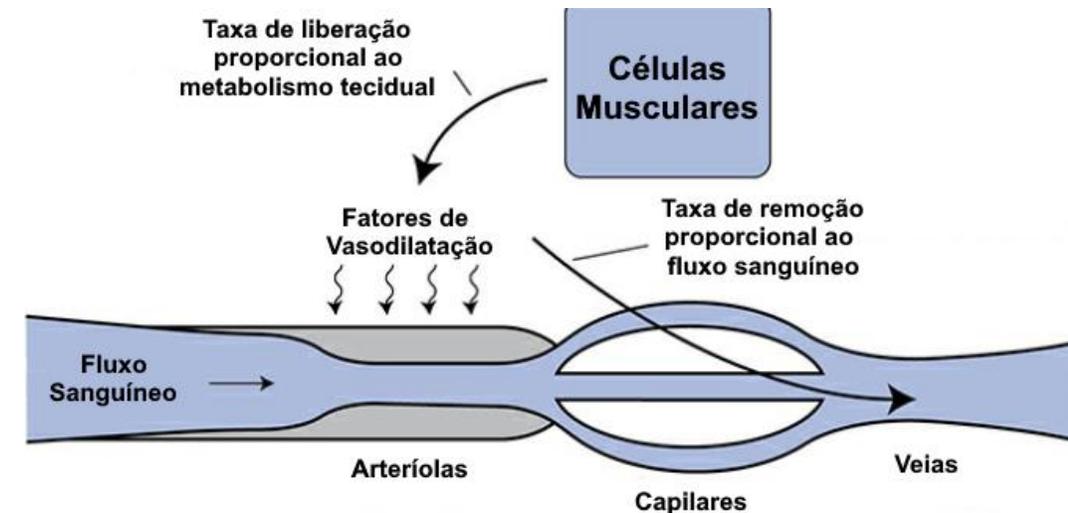
O processo de vasodilatação em resposta ao exercício se inicia nos capilares e se propaga em direção as artérias de alimentação

- ❑ A ativação da unidade motora promove dilatação dos capilares com conseqüente aumento da área de superfície para a extração de O_2
- ❑ O aumento da demanda por O_2 promove dilatação de ramos sucessivamente maiores que se propagam em direção às artérias de alimentação (fed arteries);
- ❑ Uma grande fração da resistência vascular total da musculatura esquelética reside a essas artérias externas ao tecido;
- ❑ Tais artérias controlam a quantidade total de sangue que entra na musculatura e podem ser responsáveis por até metade da resistência total ao fluxo sanguíneo na musculatura em repouso;



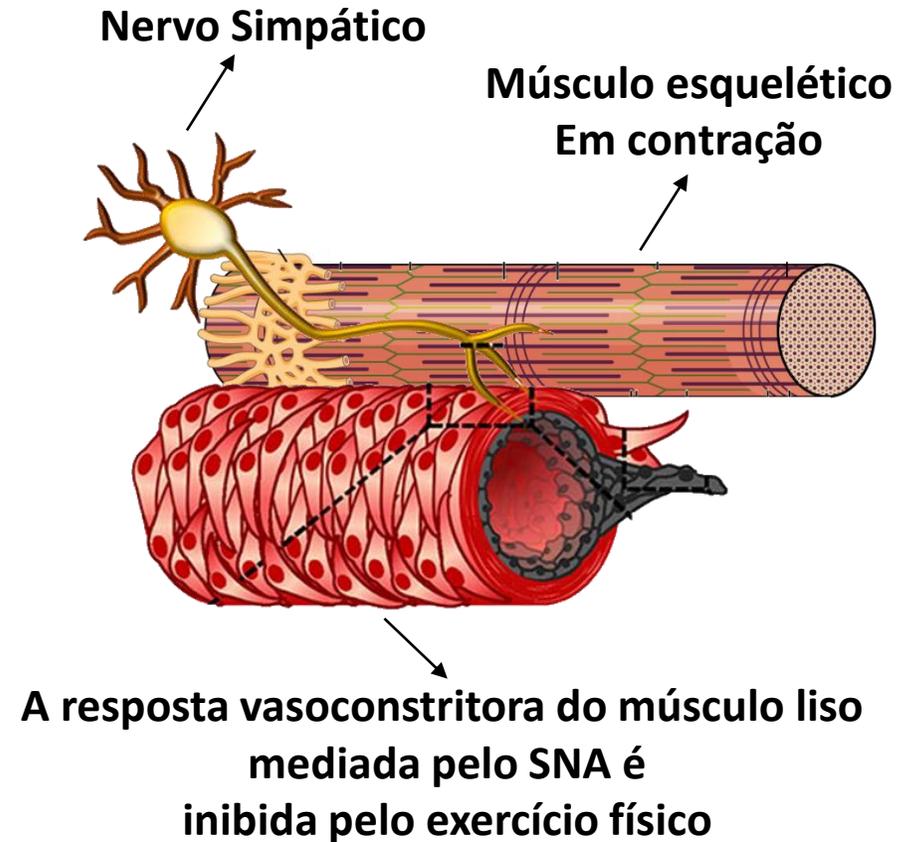
A dilatação das arteríolas é um processo mediado por fatores metabólicos locais confinados ao tecido muscular

- ❑ As arteríolas responsáveis por controlar o fluxo sanguíneo para a musculatura esquelética residem dentro do próprio tecido muscular
- ❑ Tais arteríolas ficam expostas e respondem a variação dos metabólitos que são produzidos de acordo com o metabolismo do tecido
- ❑ O aumento da taxa metabólica do tecido muscular causado pelo exercício promove alterações da composição química do tecido caracterizada por:
 - ❑ Redução da PO_2 ;
 - ❑ Elevação da PCO_2 ;
 - ❑ Elevação na concentração de H^+
 - ❑ Elevação na concentração de K^+

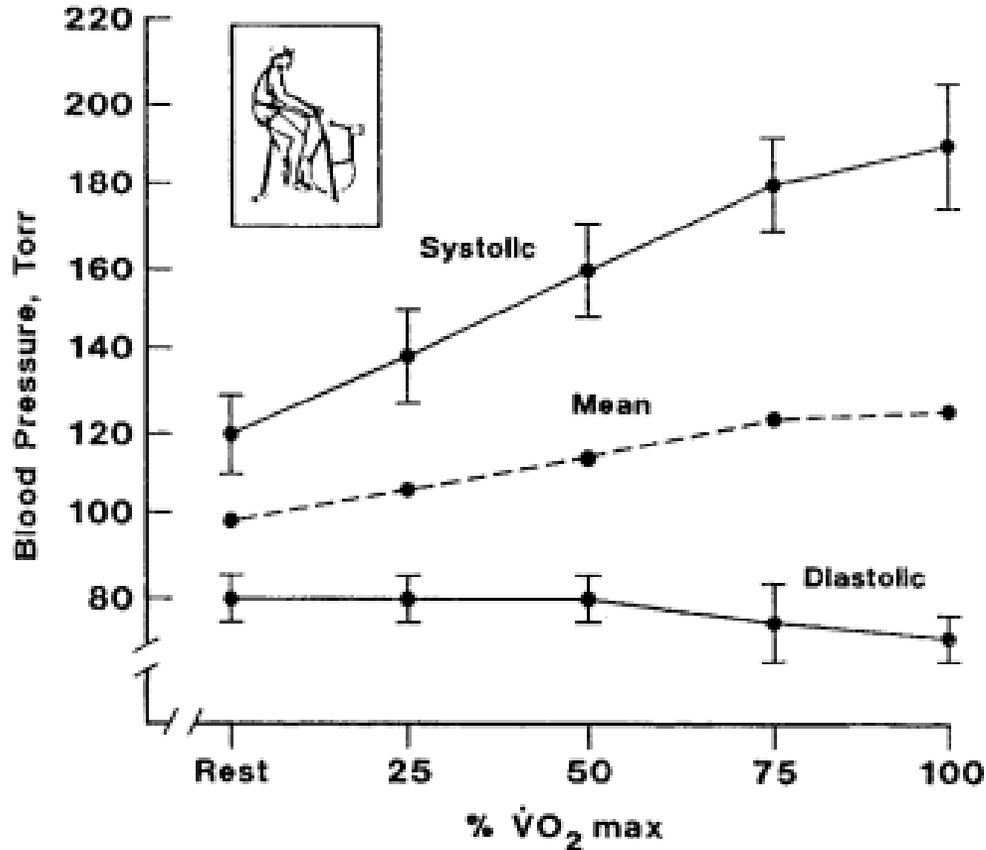


O processo de simpatólise funcional – Relação entre o estímulo vasoconstritor do SNS e metabólitos vasodilatadores local

- ❑ Termo atribuído a observação de que o processo de vasoconstrição mediado pelo sistema nervoso simpático é atenuado pela ativação da musculatura esquelética;
- ❑ Mecanismo pré-juncional: Ocorre por meio da redução da liberação do neurotransmissor. Apesar de poucas evidências, alguns estudos demonstram que o exercício físico atenua a vasoconstrição promovida pelo SNA mas não pela administração de noradrenalina;
- ❑ Mecanismo pós-juncional: Sustentado por vários estudos os quais demonstram que a resposta vasoconstritora a noradrenalina ou agonistas do α -adrenorreceptores é inibida pelo exercício físico;

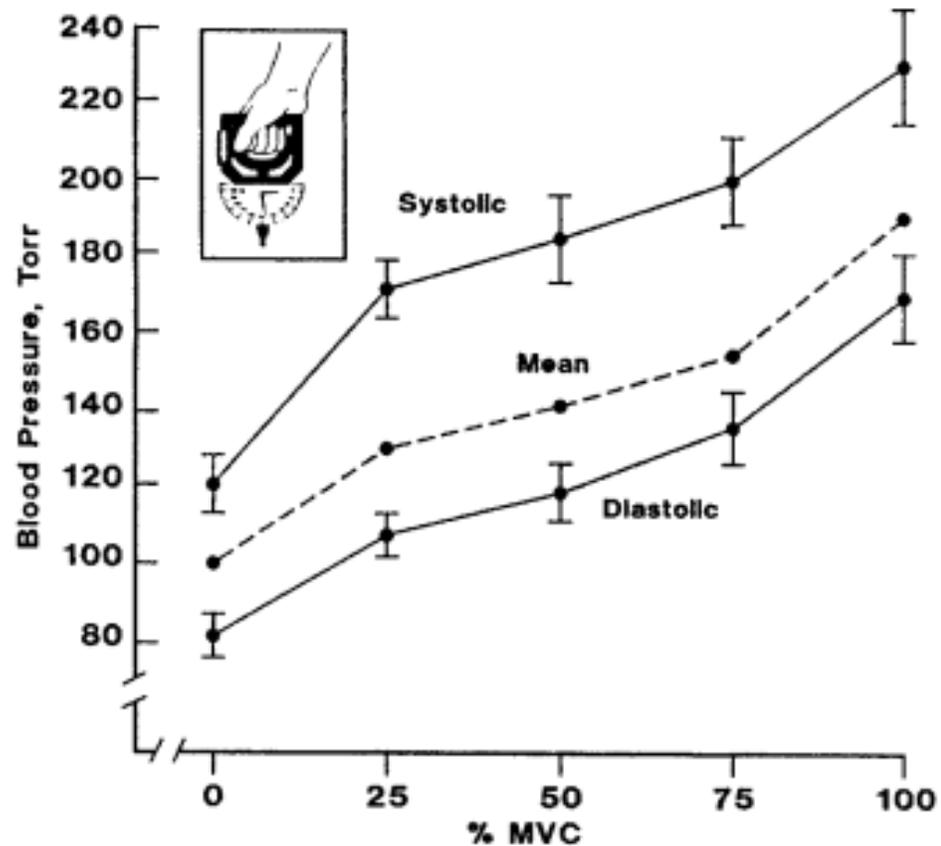


Resposta pressórica ao exercício dinâmico



- **Aumento da pressão arterial sistólica em função da intensidade do exercício;**
- **Pressão arterial diastólica tende a se manter em exercícios de intensidade leve a moderada e pode ser reduzida em exercícios de mais alta intensidade;**

Resposta pressórica ao exercício isométrica

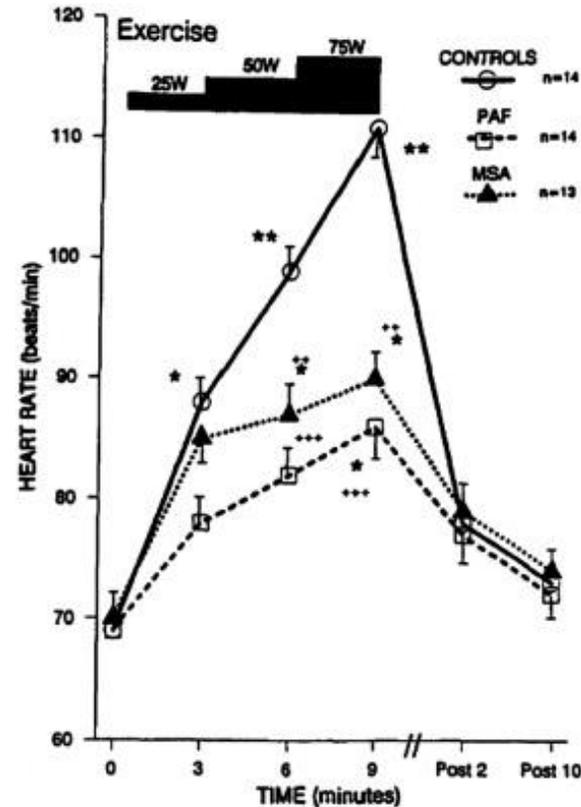
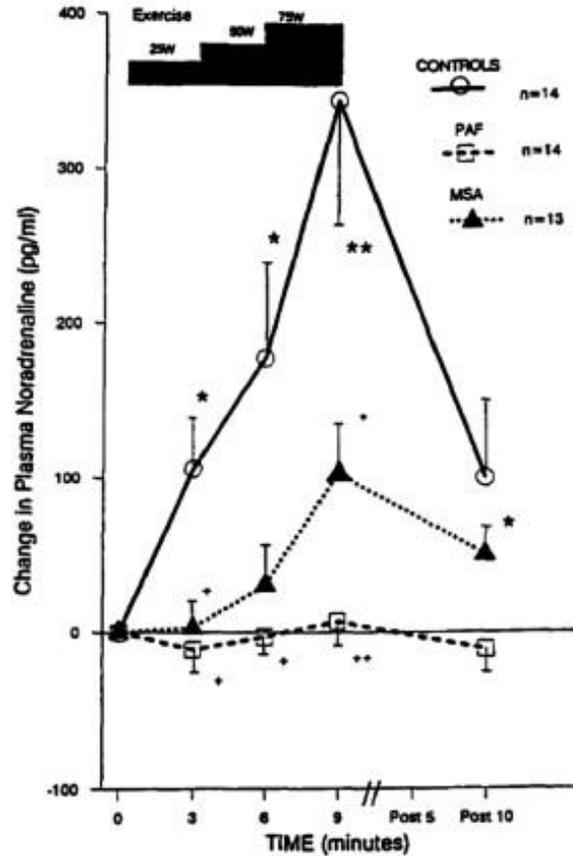
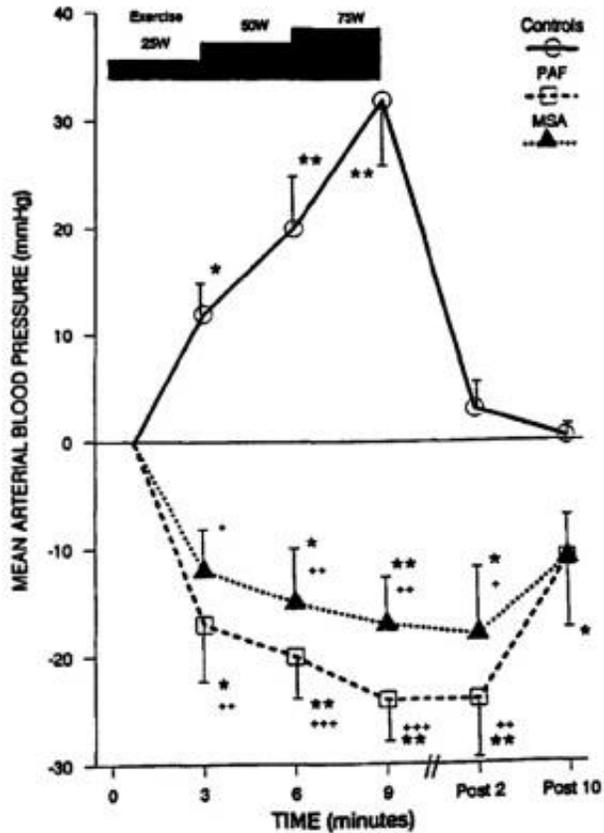


- **Aumento da pressão arterial sistólica em função da intensidade do exercício;**
- **Pressão arterial diastólica também se eleva em função da intensidade do exercício;**

Exemplo prático do papel do sistema nervoso simpático na manutenção da PA durante o exercício físico – Disfunção autonômica

A pressão arterial não é mantida em pacientes com disfunção autonômica submetidos ao exercício físico

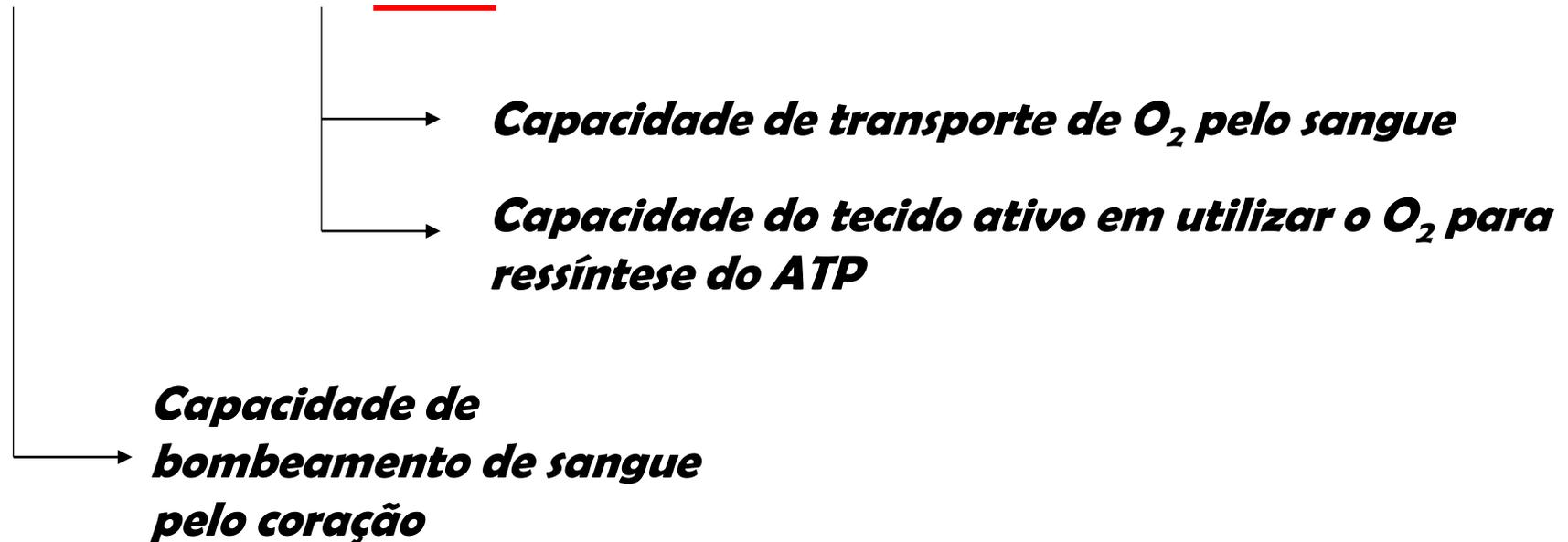
CONTROLE:
PAM = RPT x DC
DISFUNÇÃO AUTONÔMICA
PAM = RPT x DC



- Tais pacientes são incapazes de elevar a atividade nervosa simpática em resposta ao exercício físico
- Os mesmos suportam apenas séries de exercício curtas e de baixa intensidade

A DIFERENÇA ARTÉRIO VENOSA SE ELEVA EM FUNÇÃO DA INTENSIDADE DO EXERCÍCIO

$$VO_2 = DC \times \underline{AV}_{DIF}$$



A capacidade do sangue em transportar o oxigênio se eleva em função do aumento do hematócrito

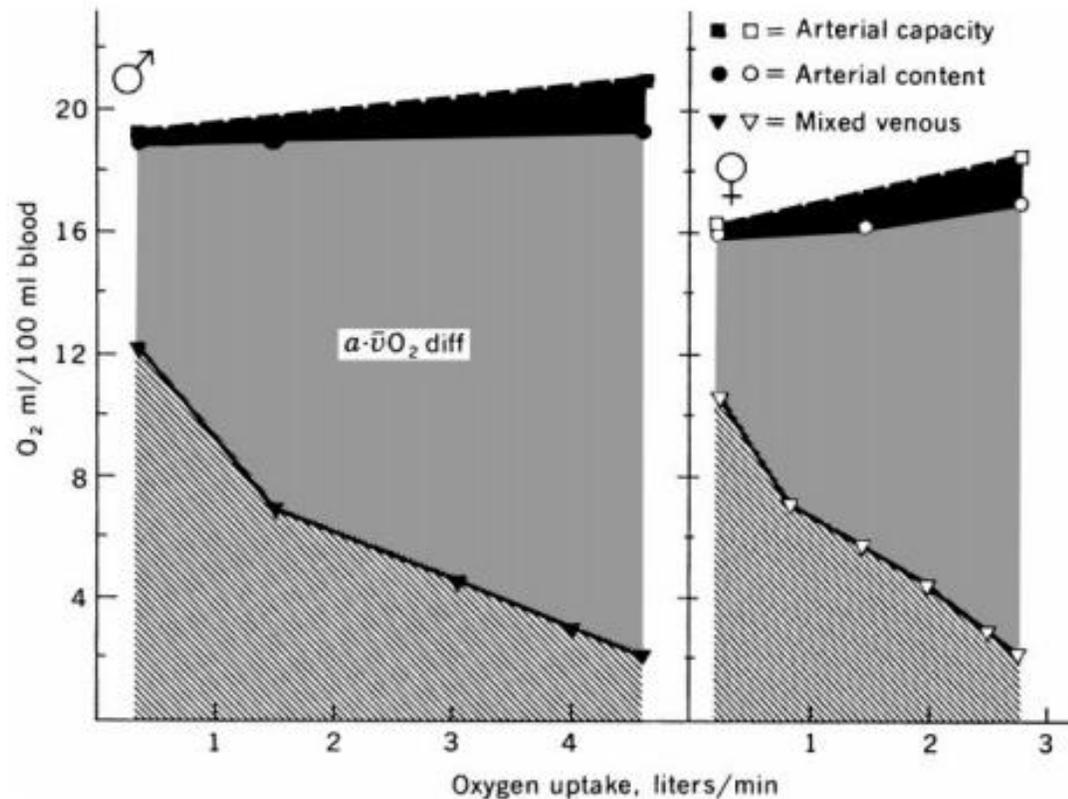
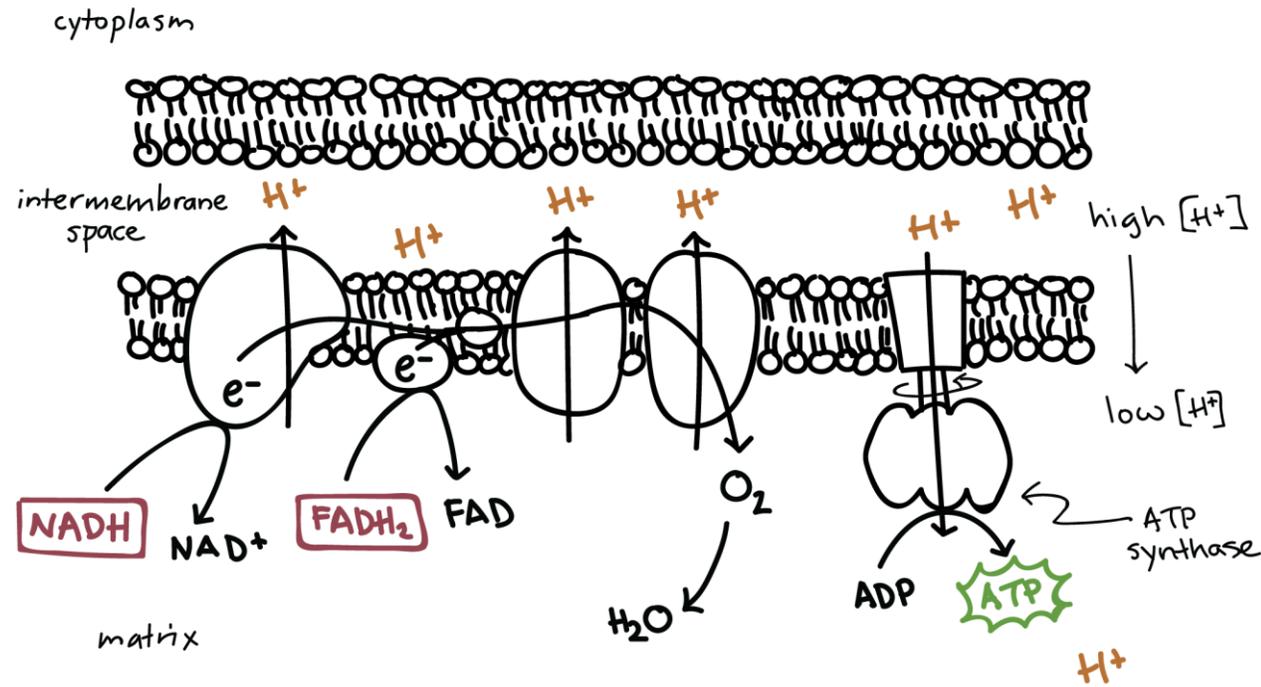


FIG. 4.

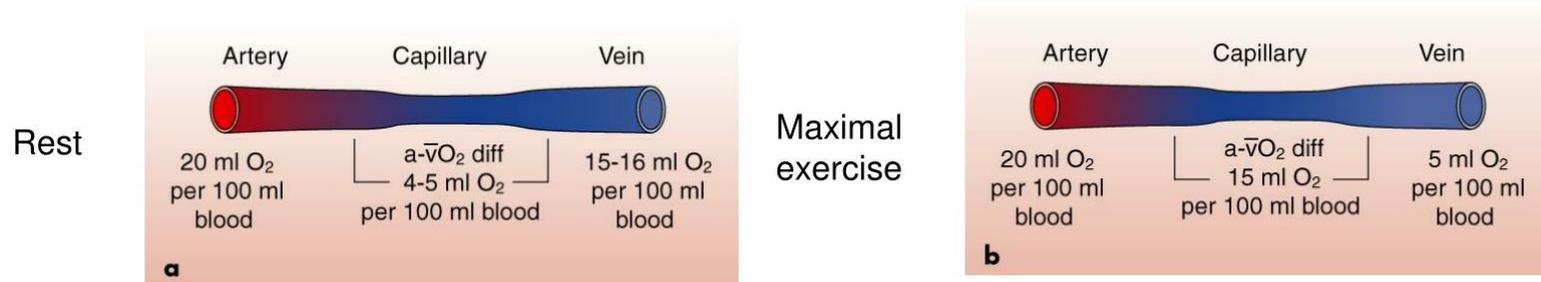
Arterial and venous oxygen contents and arterial oxygen carrying capacity plotted as a function of exercise intensity, reflected in measurements of oxygen uptake. Mean values for 5 male (*left*) and 5 female (*right*) subjects are presented. [Reprinted from Astrand and Rodahl (1) with permission.]

- A vasoconstrição nos órgãos esplênicos aumenta o hematócrito e portanto a capacidade sanguínea de transporte de O₂
- Apesar disso, o conteúdo de O₂ no sangue arterial pouco se altera, devido a alto grau de redução do conteúdo de O₂ no sangue venoso;

A diferença arteriovenosa de oxigênio indica o consumo real de oxigênio do organismo ou de um tecido específico



- A contração muscular é um processo que requer a energia advinda da hidrólise do ATP;
- Quanto maior for a intensidade do exercício, maior será a demanda por ATP e, nesse caso, maior a atividade da cadeia transportadora de elétrons;
- O processo de ressíntese de ATP consome O_2 , nesse caso, quanto maior a intensidade do exercício maior será a diferença artéria venosa de O_2



Principais referências

