

Fisiologia Respiratória

Aula: Mecânica



Luiz Guilherme S. Branco

FORP/USP

2020

Aula: Mecânica

Como gerar fluxos de ar no sistema respiratório?

Pressões durante o ciclo respiratório

Para que ocorra movimento de gás no pulmão (fluxo aéreo), deve existir diferença de pressão entre o interior do pulmão (alvéolos) e o ambiente.

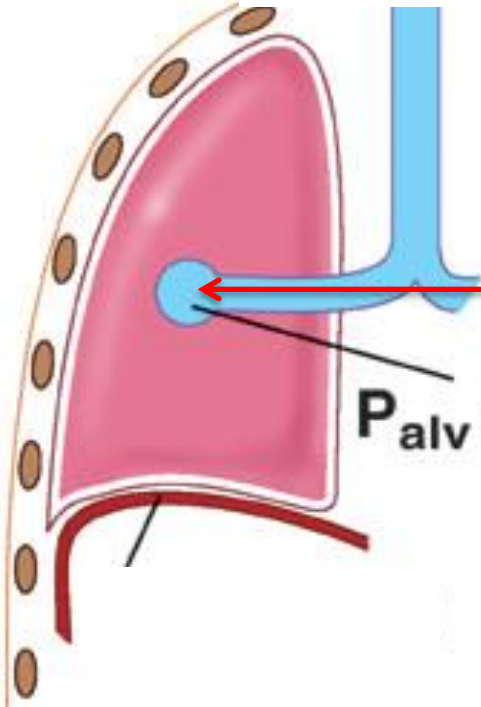
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

$P_{\text{atm}} = 0 \text{ cm H}_2\text{O}$ $\longrightarrow$ Normalmente, **não** há alterações

Final da expiração

$$P_{\text{atm}} = P_{\text{alv}}$$

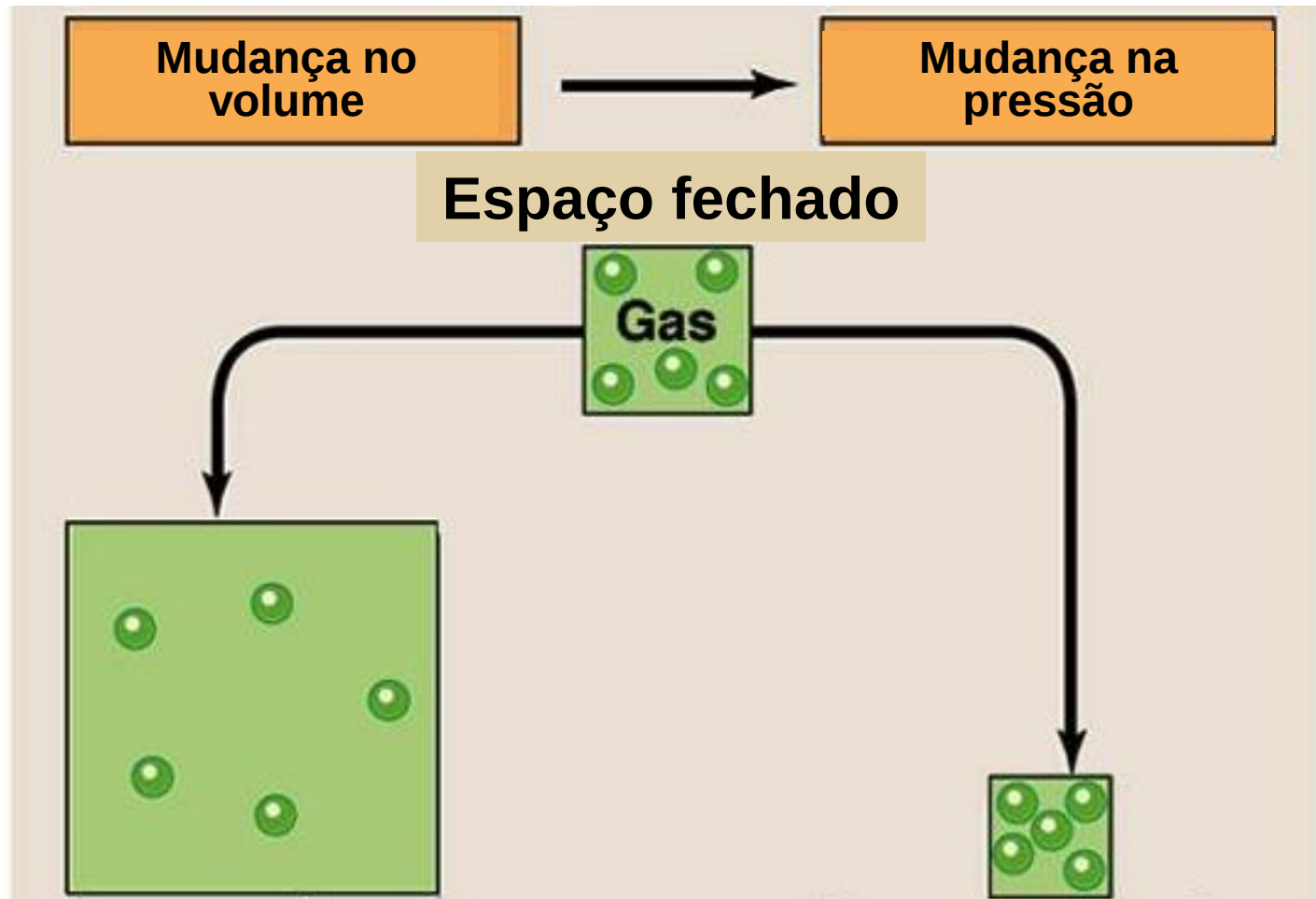
Não há fluxo de ar


$$P_{\text{alv}} = 0$$

Alterações da P_{alv} viabilizam o fluxo

Lei de Boyle-Mariotte

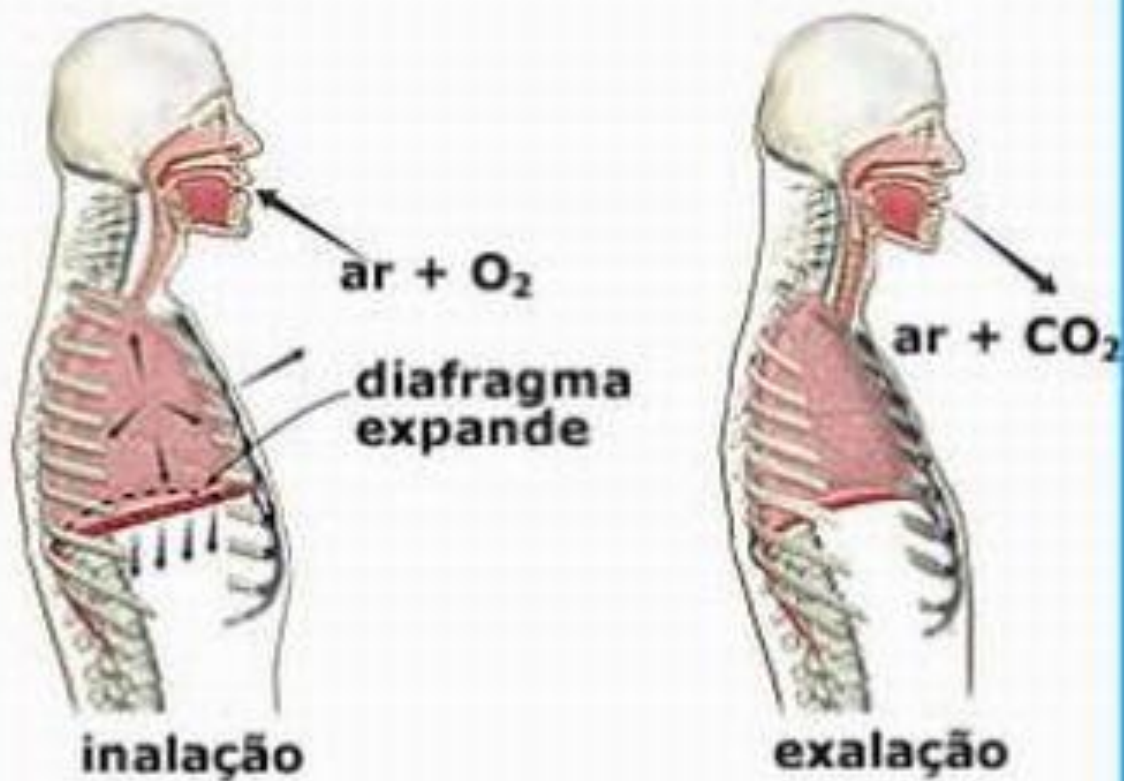
LEI DE BOYLE-MARIOTTE



↑volume = ↓pressão

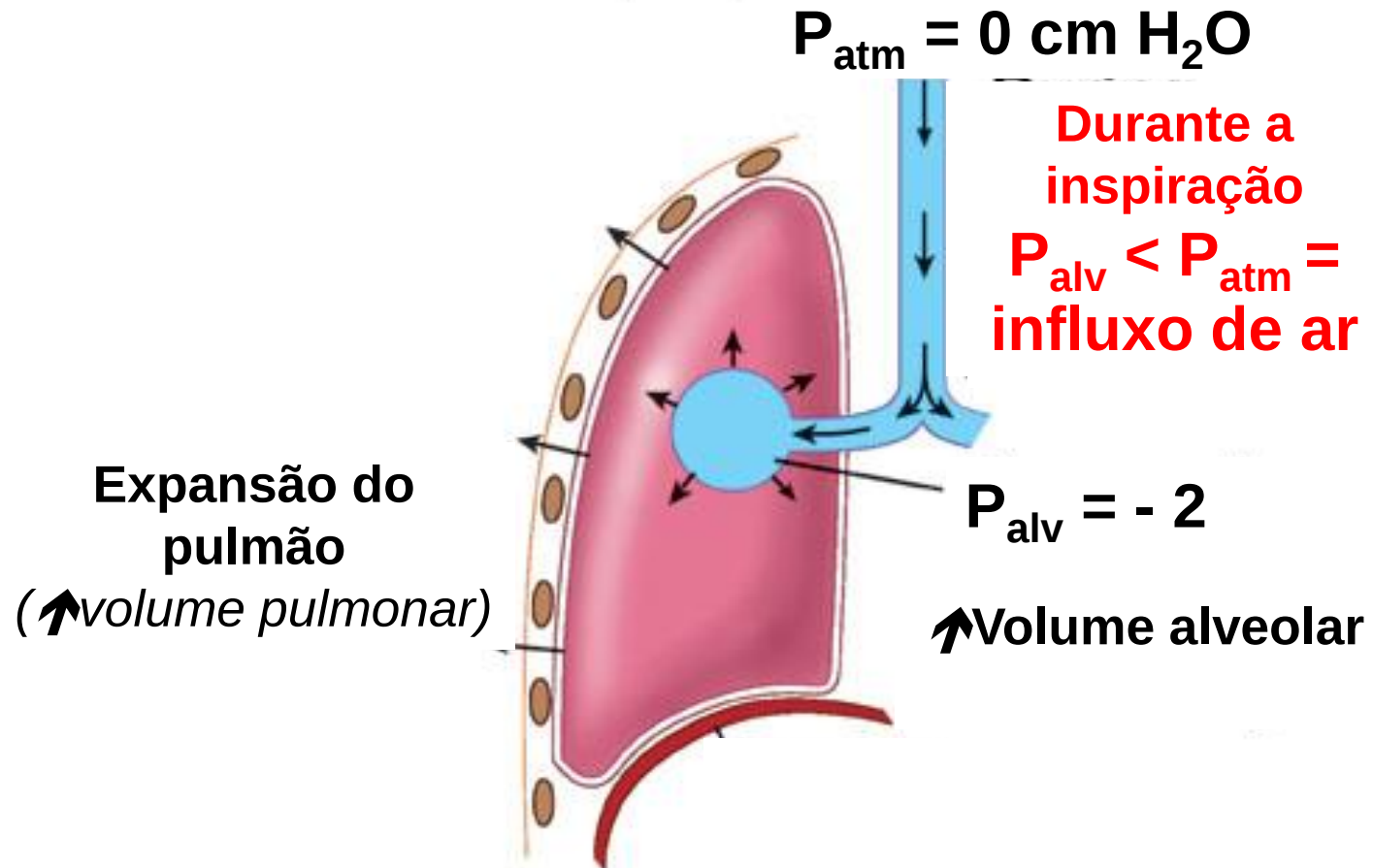
↓volume = ↑pressão

Lei de Boyle na Respiração:



Pressões durante o ciclo respiratório

c. Permission required for reproduction or display.



Pressões durante o ciclo respiratório

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

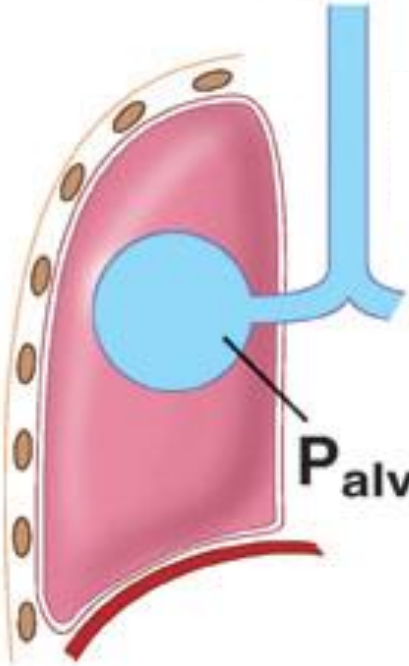
$$P_{\text{atm}} = 0 \text{ cm H}_2\text{O}$$

Final da inspiração

$$P_{\text{atm}} = P_{\text{alv}}$$

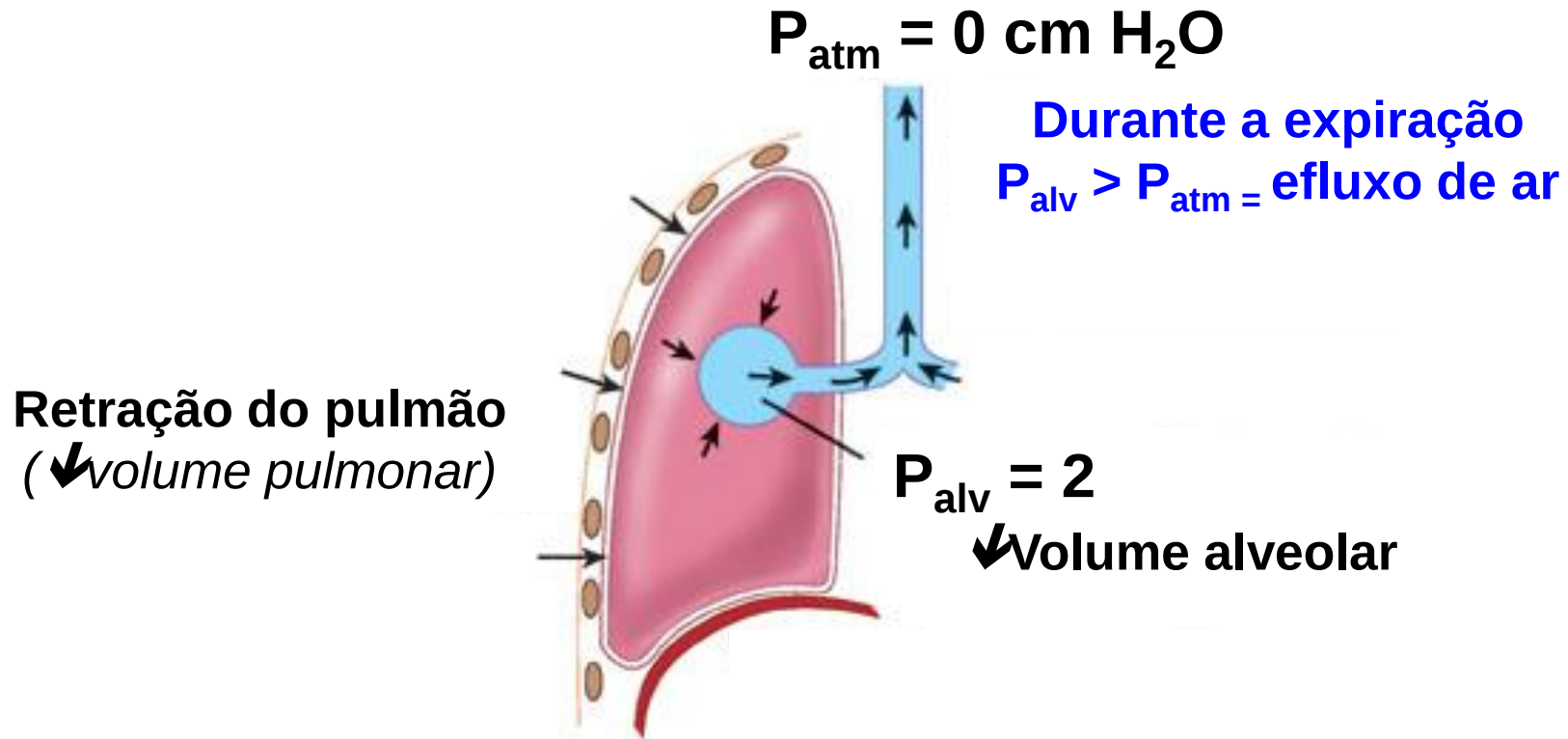
Não há fluxo
de ar

$$P_{\text{alv}} = 0$$



Pressões durante o ciclo respiratório

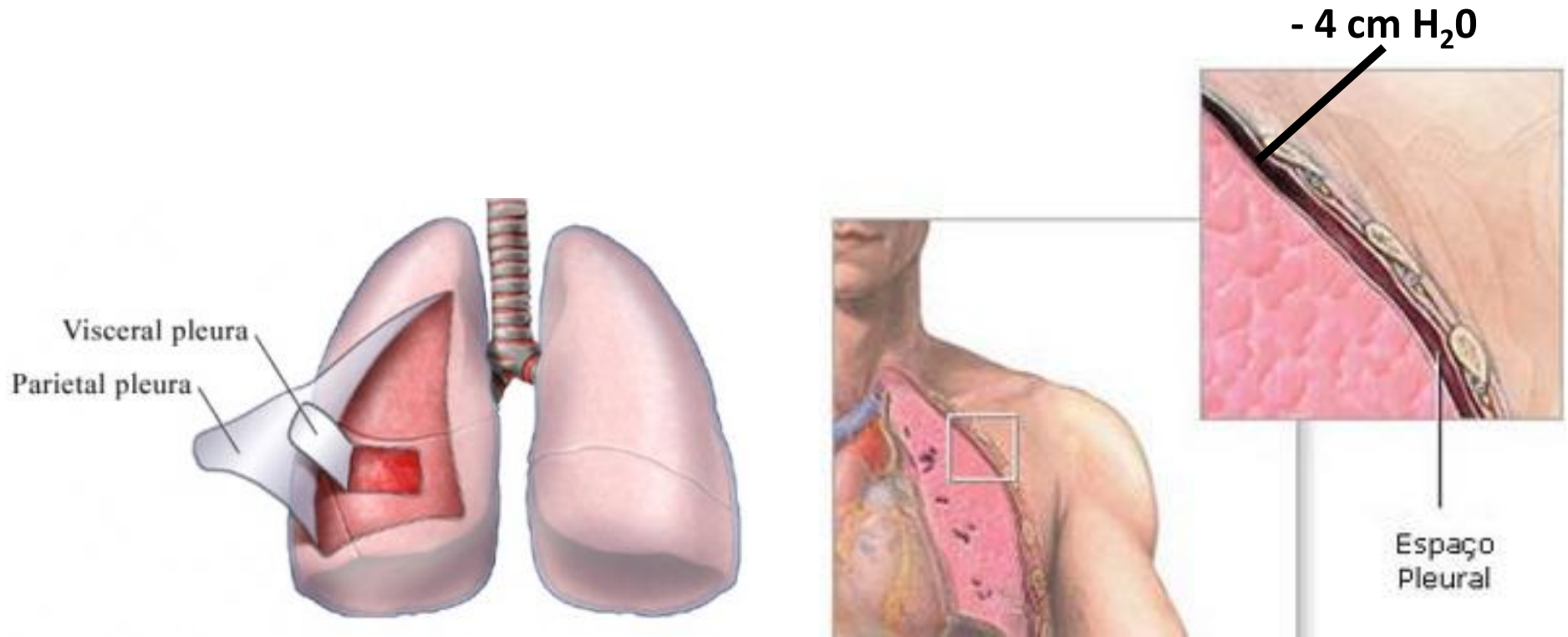
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



Portanto, o fluxo aéreo depende de um gradiente de pressão que é gerado por alterações do volume pulmonar.

Mas, como alterar o volume pulmonar???

Revestimento dos pulmões

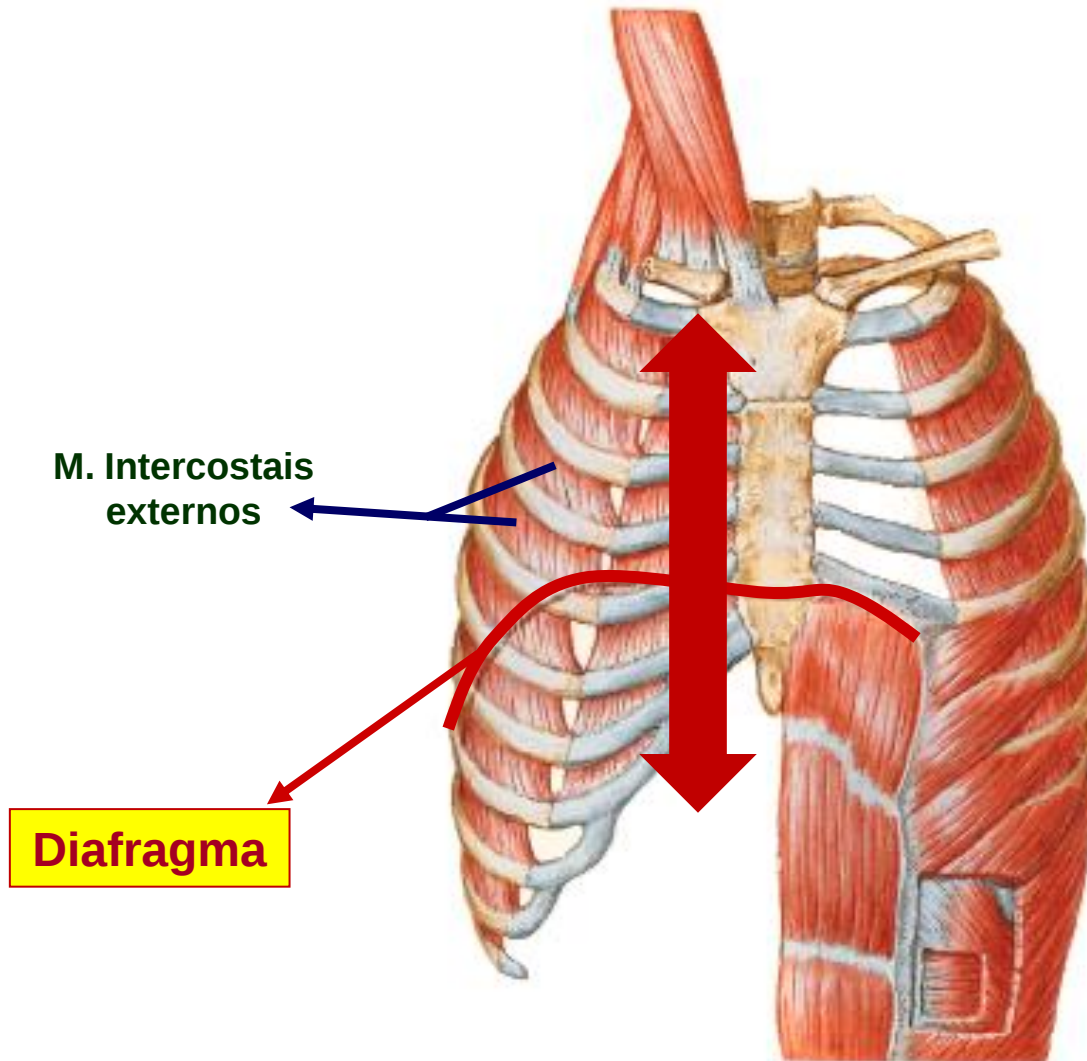


A pressão pleural negativa conecta funcionalmente os pulmões à caixa torácica.

Portanto, alterações do volume da caixa torácica alteram o volume pulmonar

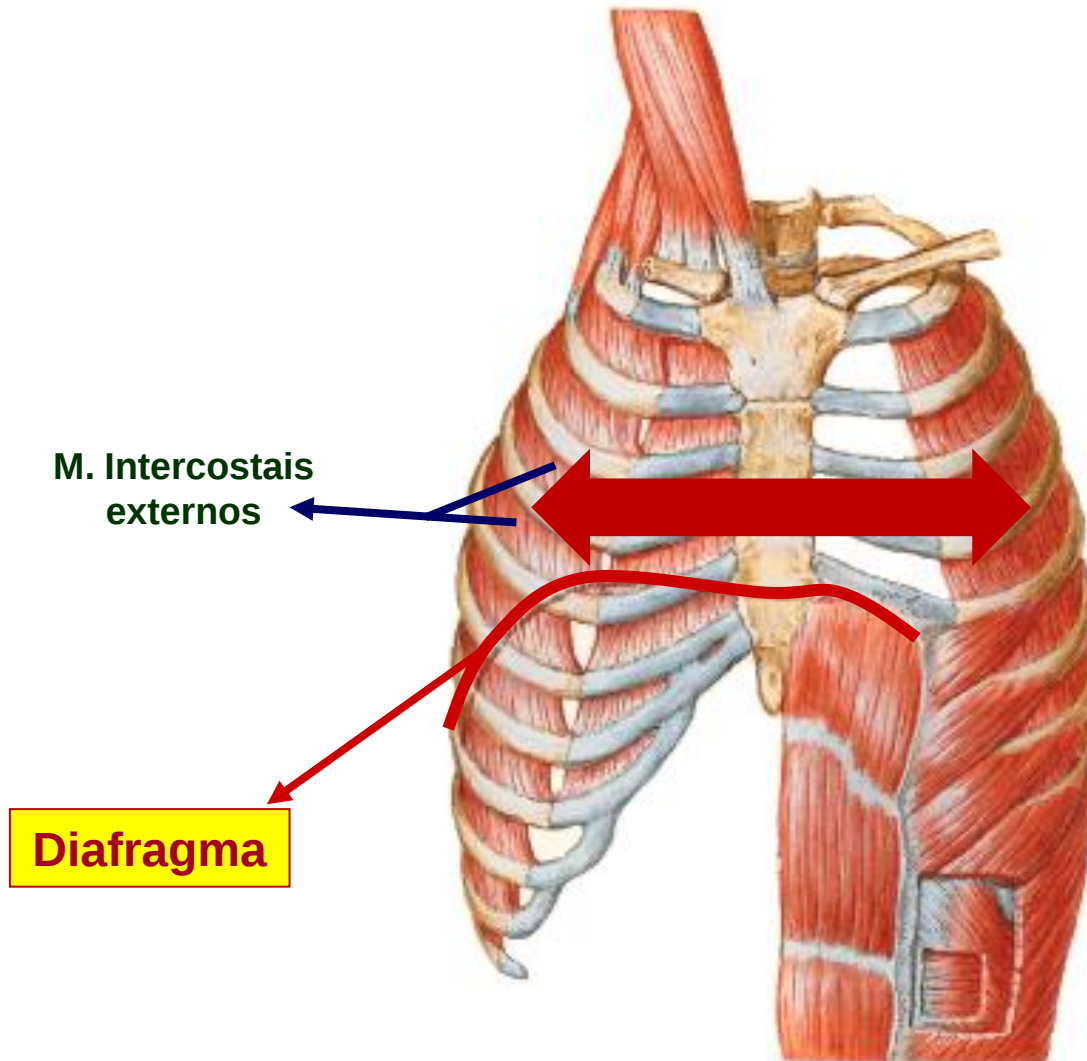
Força Motriz do Sistema Respiratório

Inspiração basal (repouso)



Força Motriz do Sistema Respiratório

Inspiração basal (repouso)

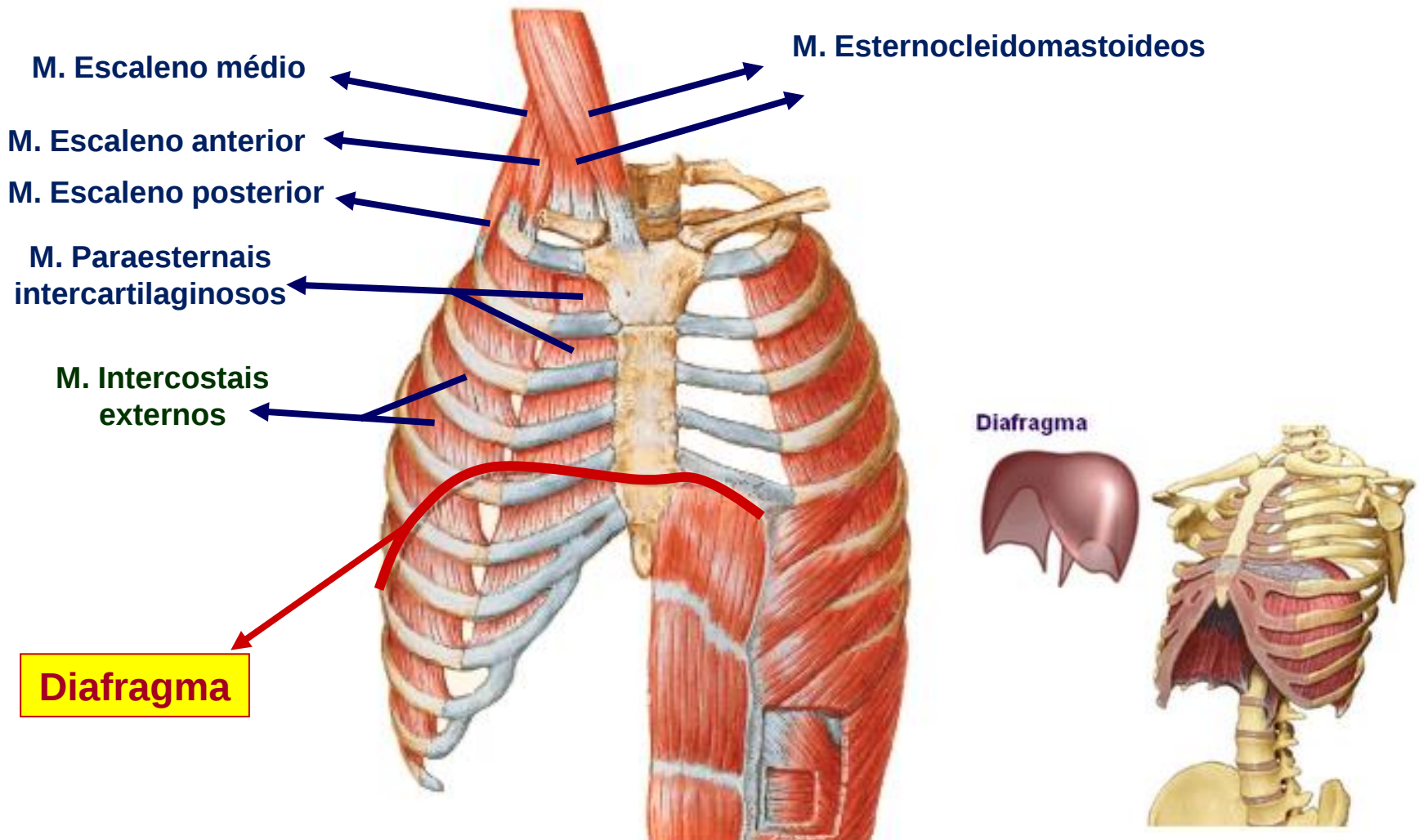


Força Motriz do Sistema Respiratório

*Inspiração forçada
(exercício físico)*

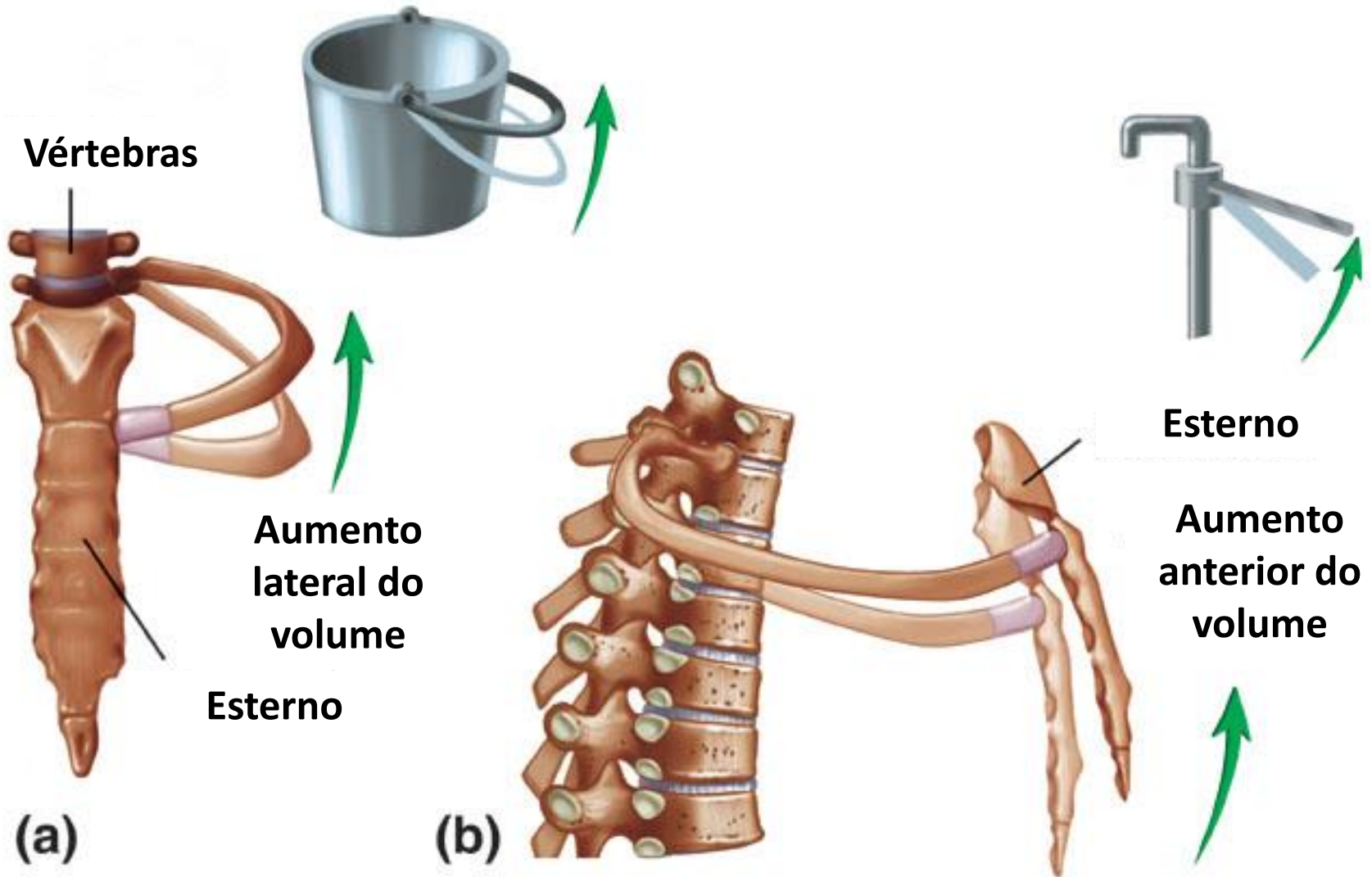


Músculos acessórios

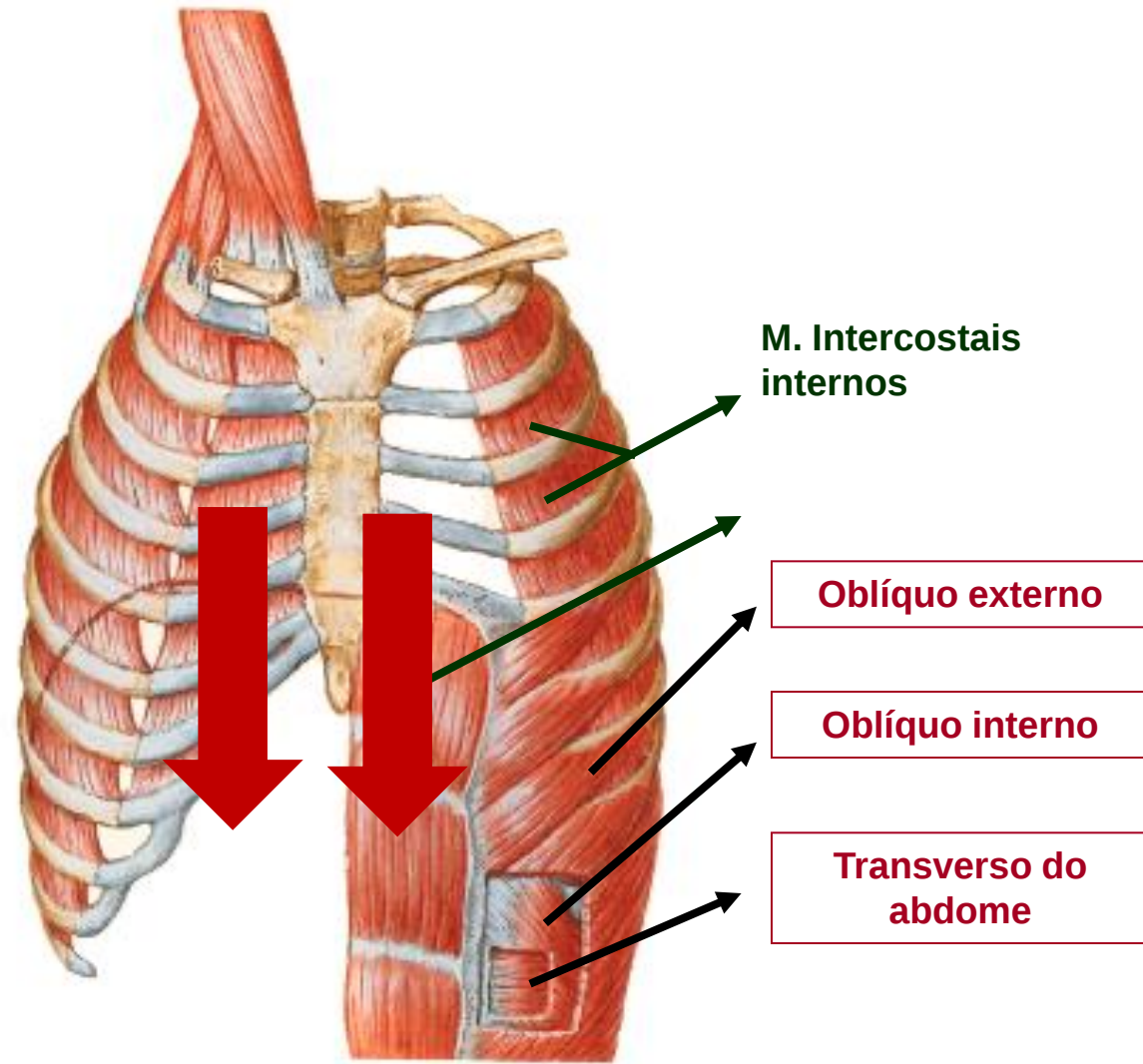


Volume torácico

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

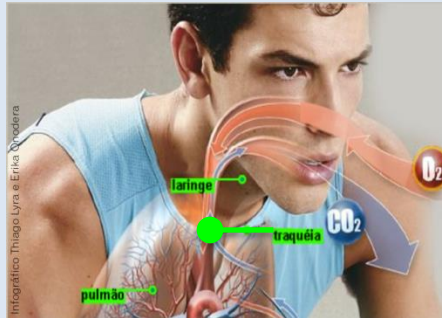


Expiração Forçada (exercício físico)





“Simplesmente respirando...”



Em repouso:

Inspiração → processo **ativo**

Expiração → processo **passivo**

ESFORÇO INCONSCIENTE

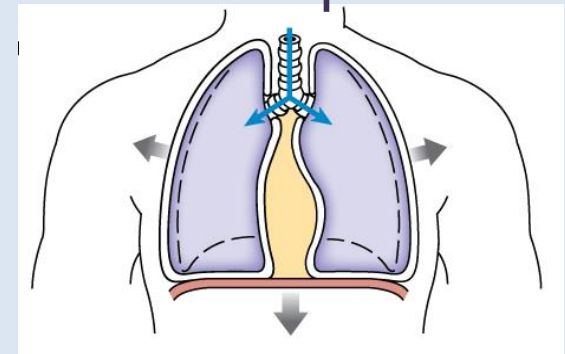


**Pressão motriz do
Sistema respiratório**

**Forças
resistivas**

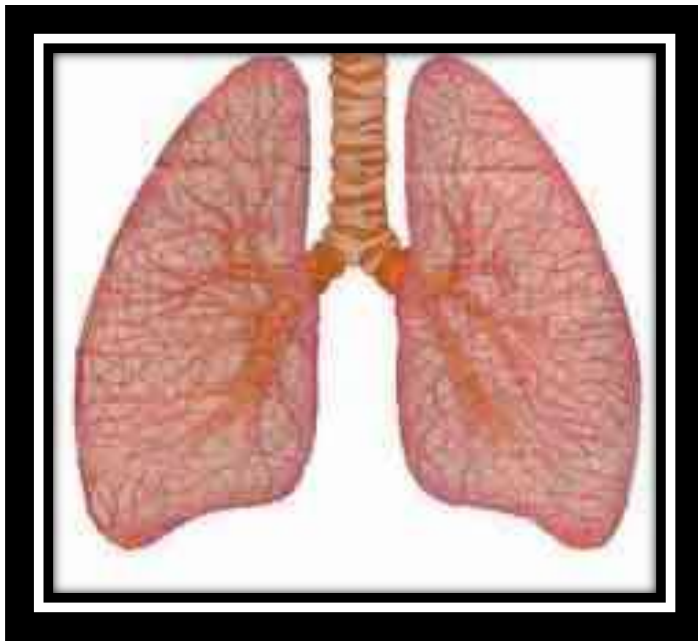
**Forças
elásticas**

Encher o pulmão

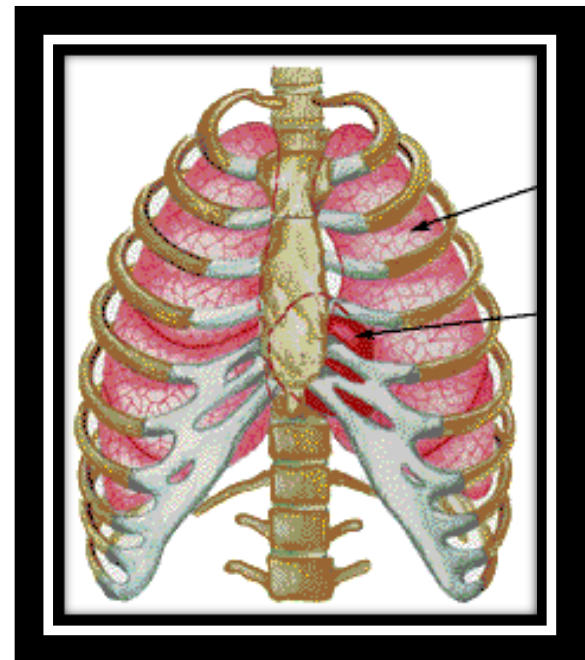


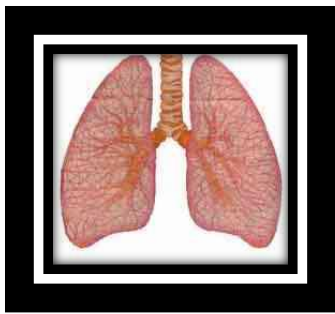
Propriedades elásticas e resistivas do sistema respiratório

Pulmão



Caixa torácica

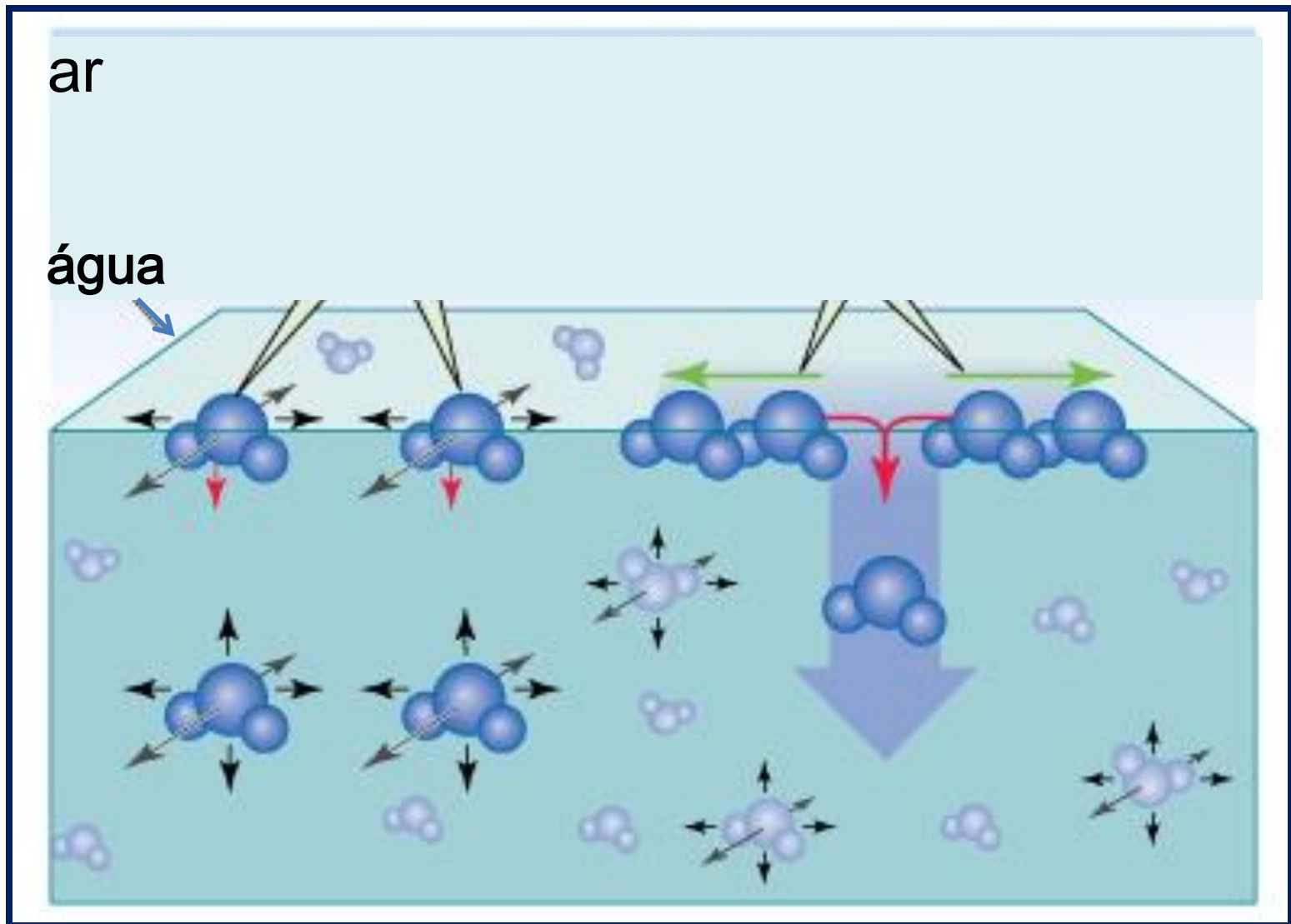




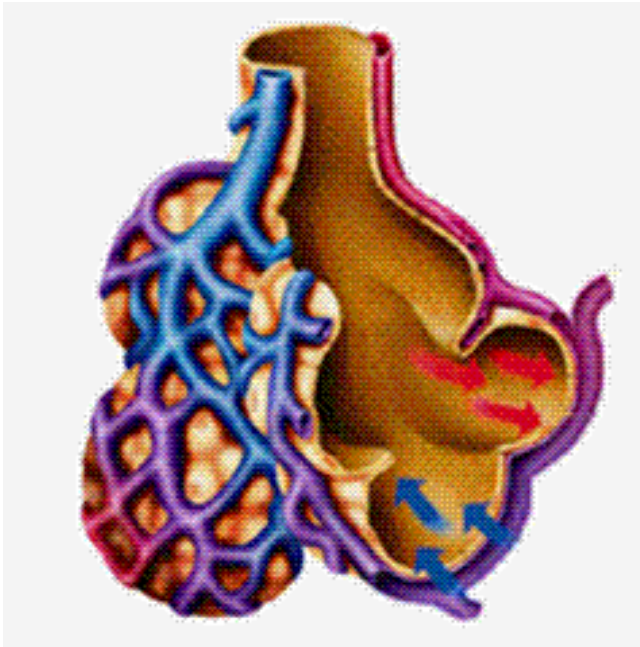
Propriedades elásticas do pulmão

- *Elasticidade* - tendência do tecido voltar ao seu tamanho original;
 - Altos conteúdos de elastina e colágeno;
 - Tensão elástica aumenta durante a inspiração e reduz durante a expiração.
- *Tensão superficial*

O que é tensão superficial?



Tensão Superficial

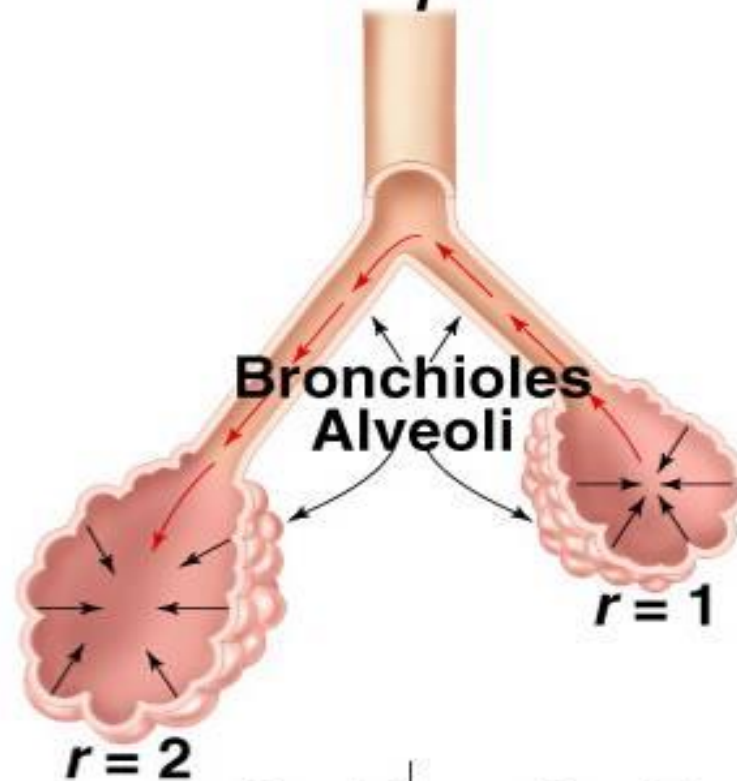


Tensão superficial

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

Law of Laplace

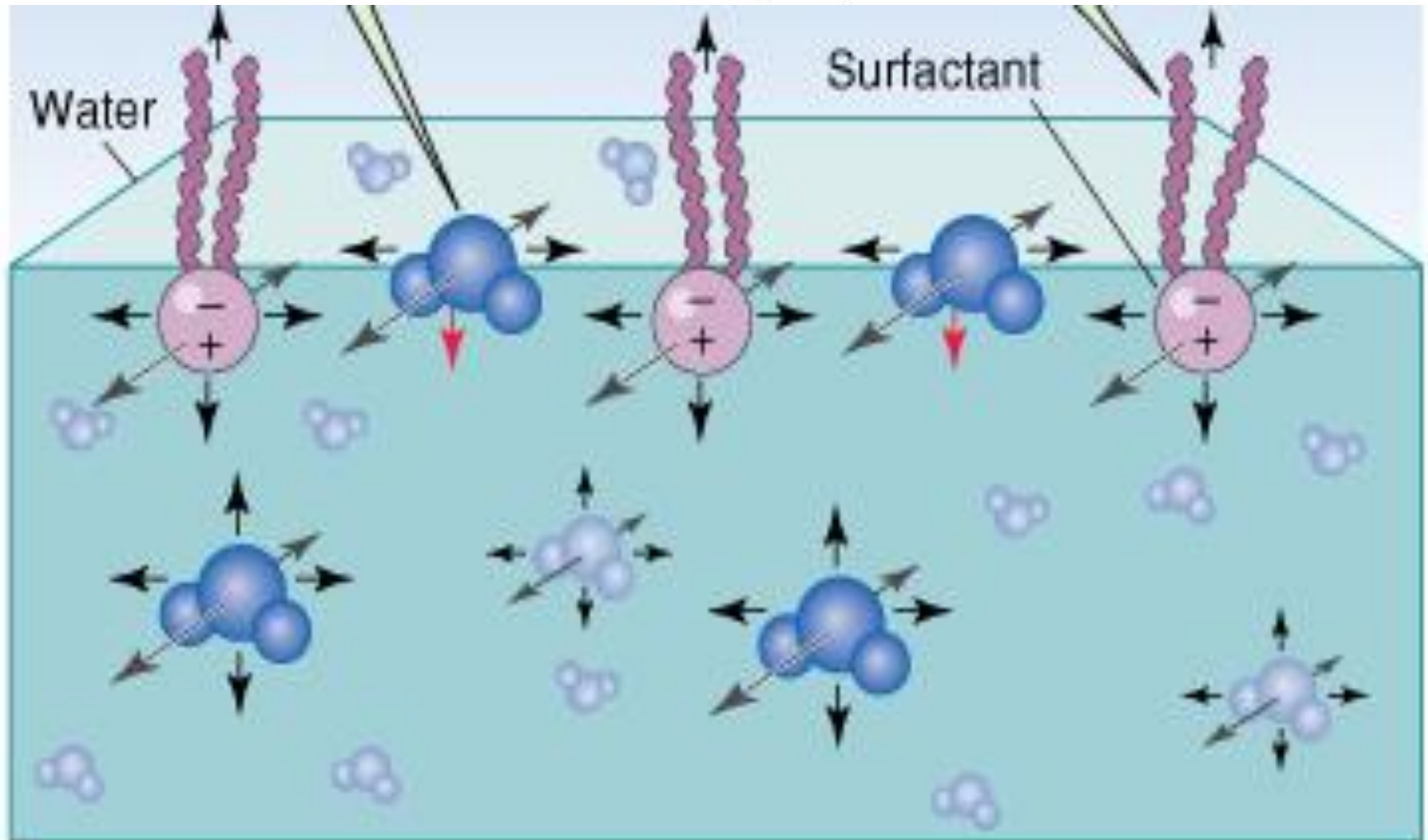
$$P = \frac{2 \times T}{r}$$



$$\begin{array}{c} P = \frac{2 \times T}{2} \\ P = T \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{c} P = \frac{2 \times T}{1} \\ P = 2T \end{array} \right.$$

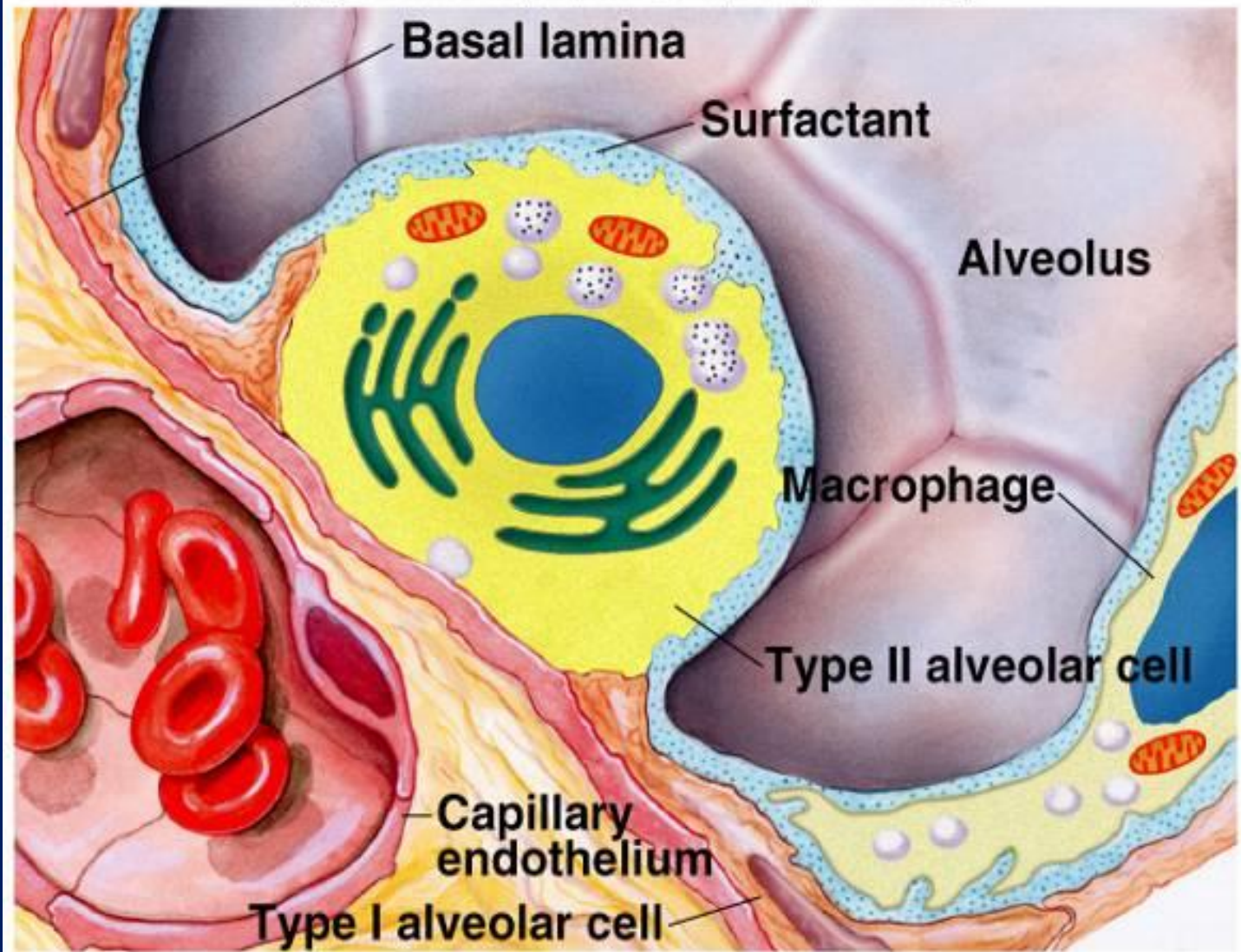
Principal Componente do surfactante pulmonar

Dipalmitoilfosfatidilcolina (DPPC)

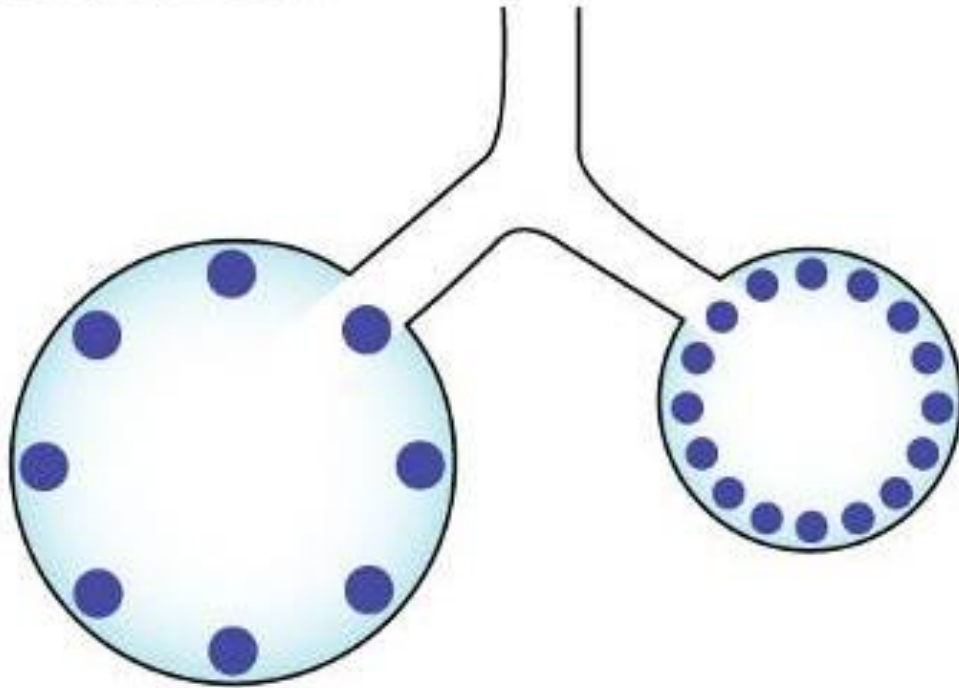


Surfactante

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



Papel do surfactante no alvéolo:

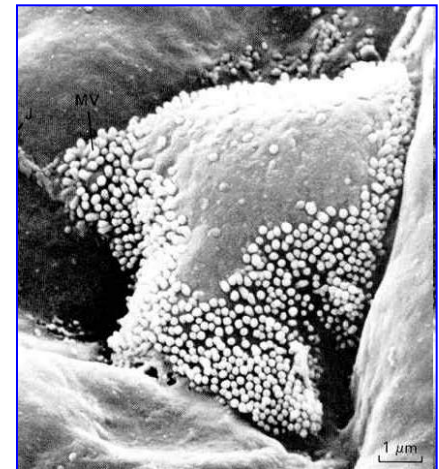
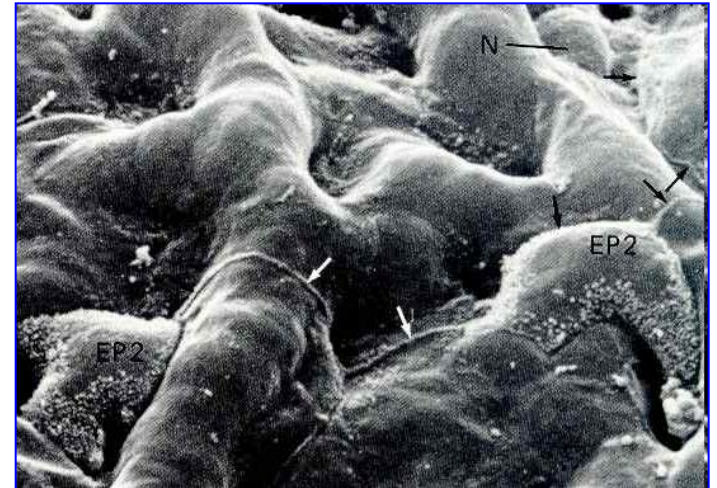


$$\begin{aligned} r &= 2 \\ T &= 2 \\ P &= (2 \ 3 \ 2)/2 \\ P &= 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r &= 1 \\ T &= 1 \\ P &= (2 \ 3 \ 1)/1 \\ P &= 2 \end{aligned}$$

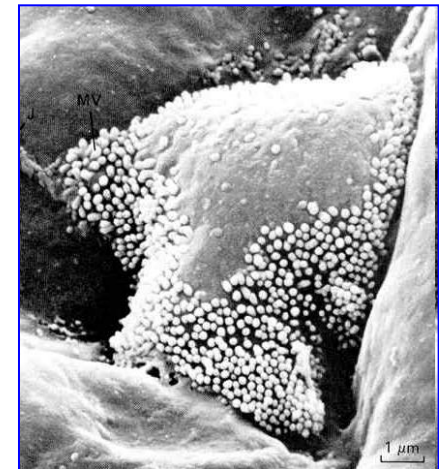
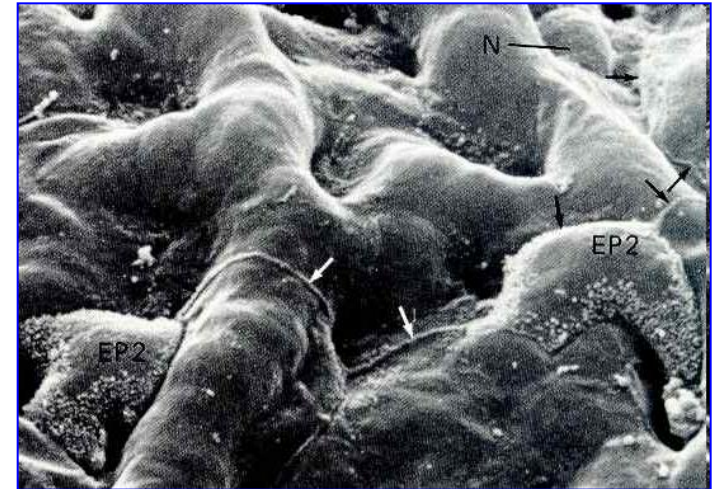


Dipalmitoilfosfatidilcolina

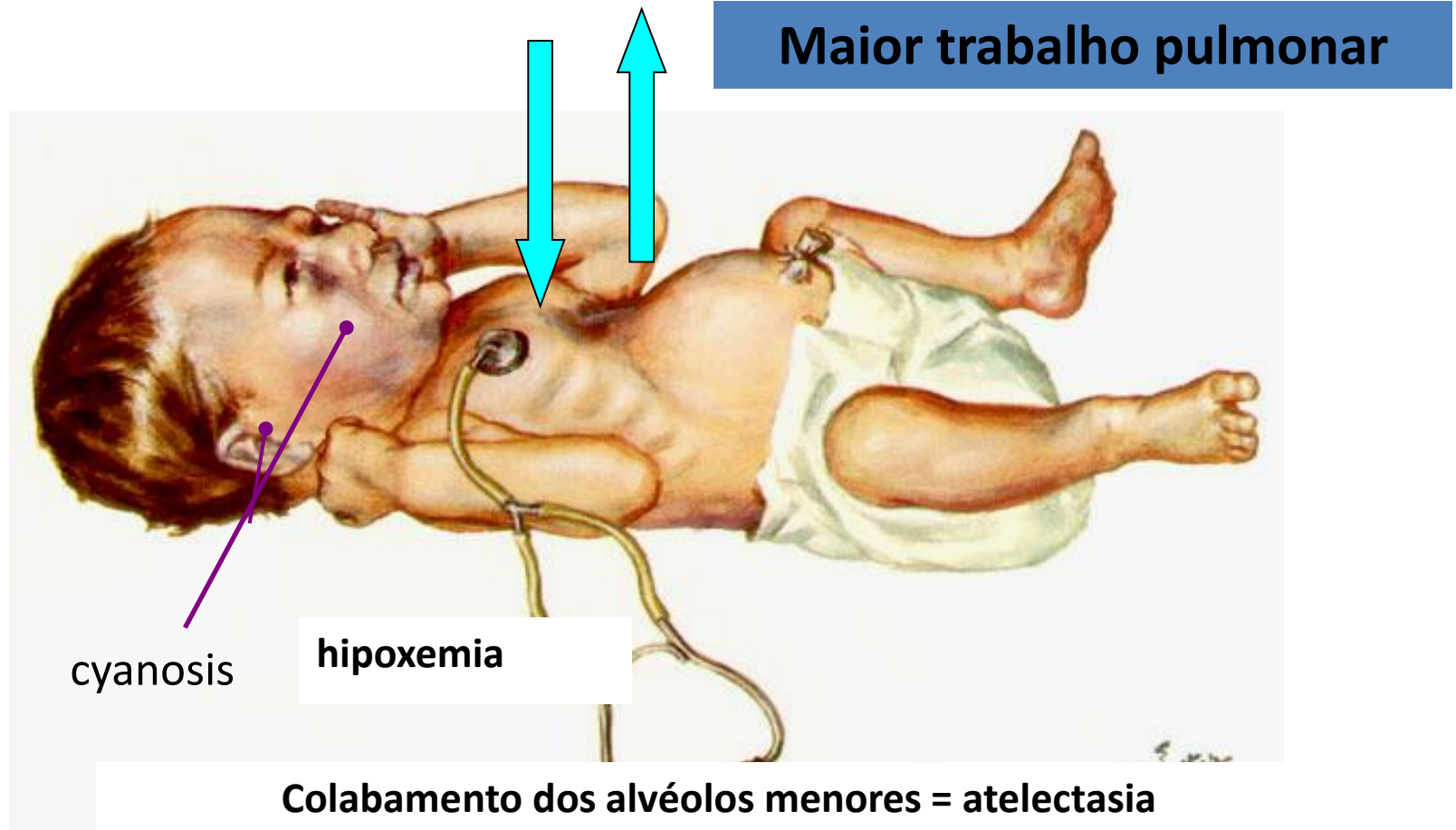


Papel do surfactante no alvéolo

- redução da tensão superficial
- estabilização alveolar
- diminuição do trabalho respiratório
- evita o edema intersticial pulmonar
- aumento da complacência pulmonar



Síndrome da angústia respiratória do neonato





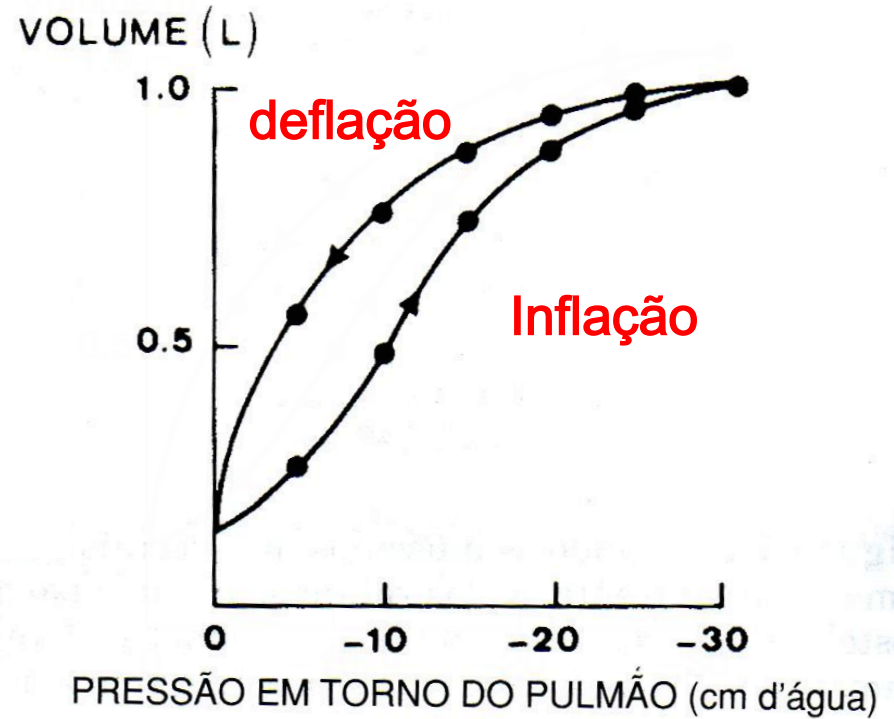
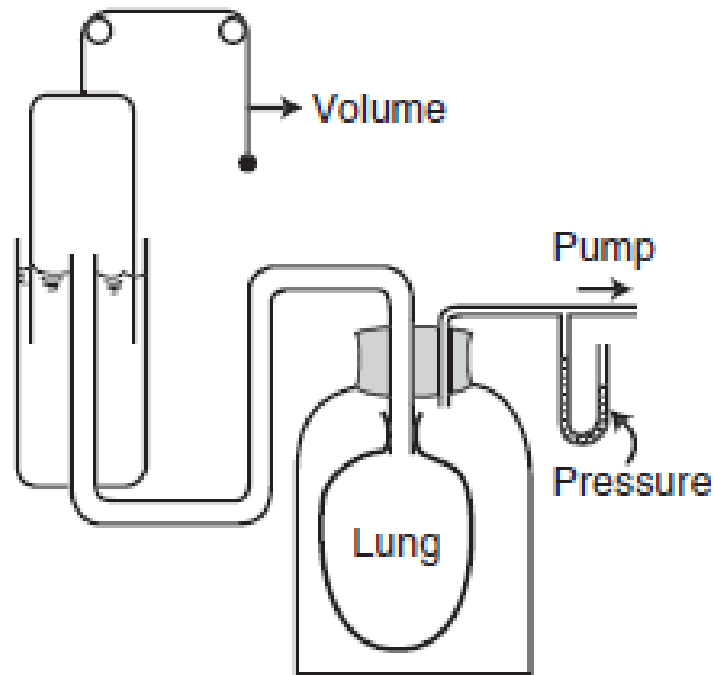
Complacência

- Facilidade com que o pulmão se expande
- A complacência é inversamente proporcional a resistência elástica.

É a mudança de volume por unidade de alteração de pressão

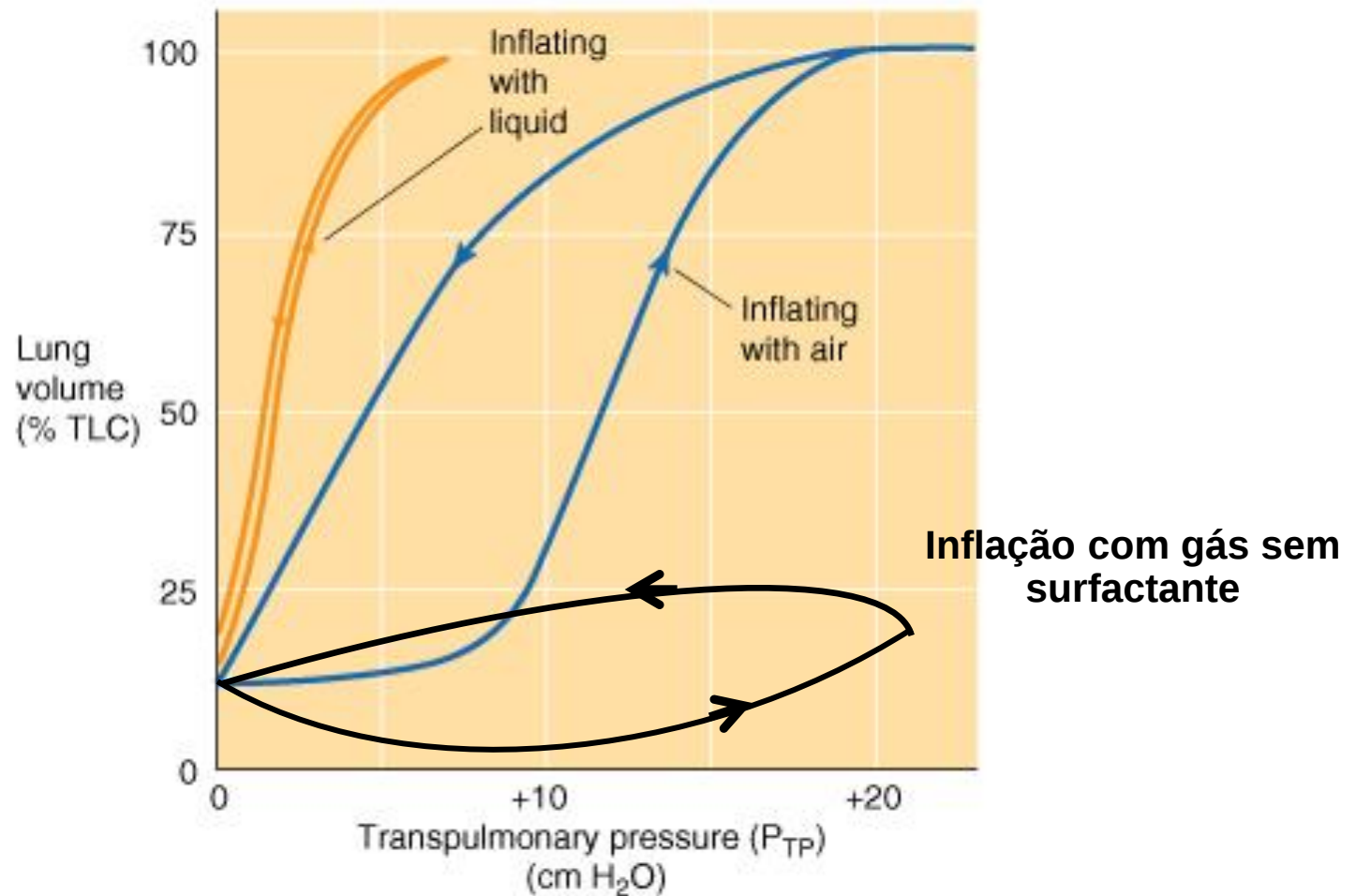
$$\Delta V / \Delta P$$

Curva de Pressão-Volume



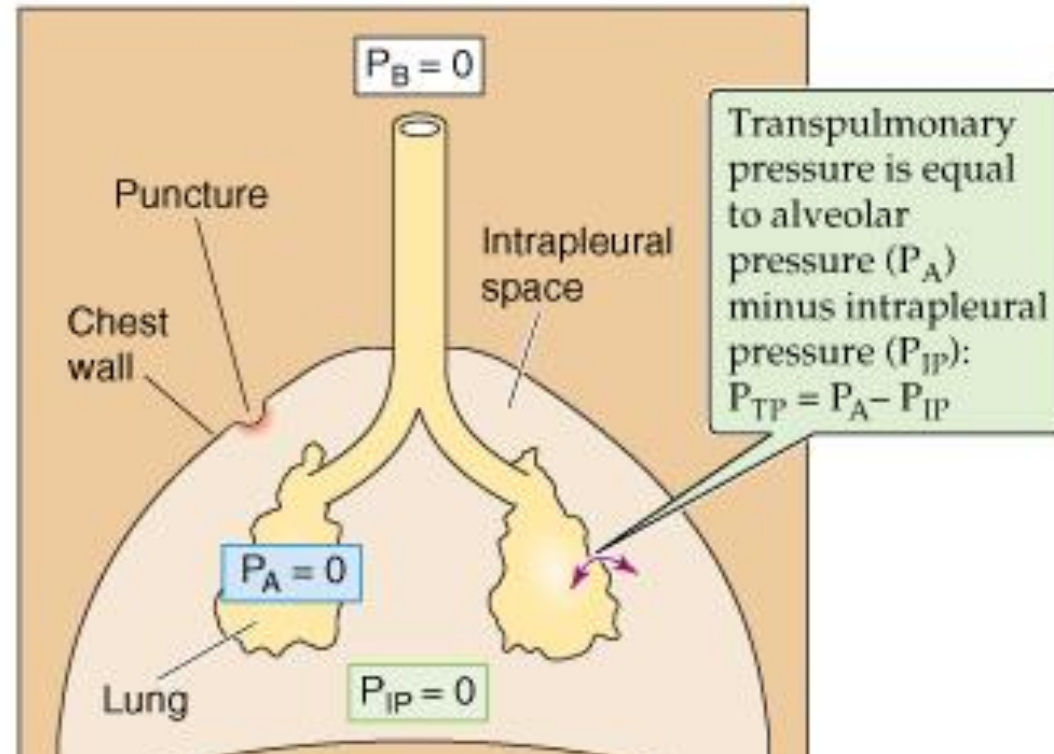
Histerese pulmonar

Complacência/ Tensão Superficial



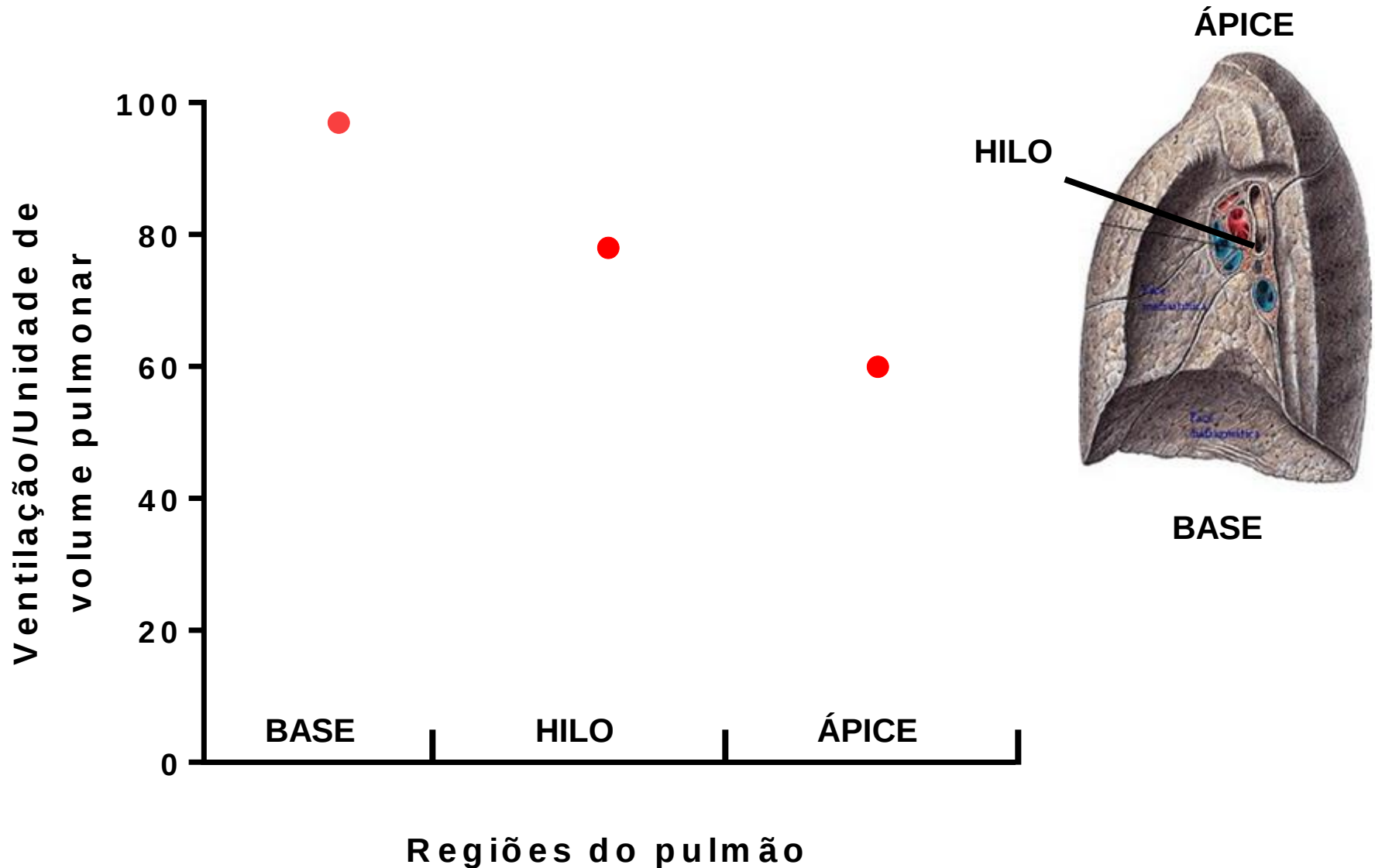
Pesquisador: von Neegaard

Ausência da Pressão Pleural



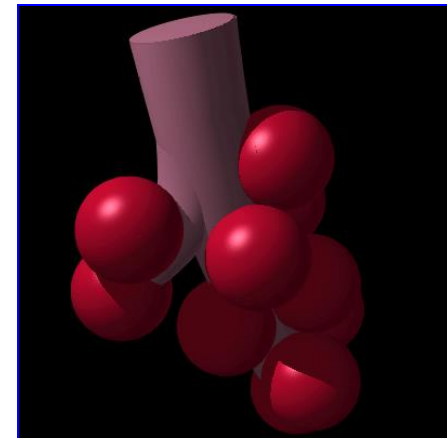
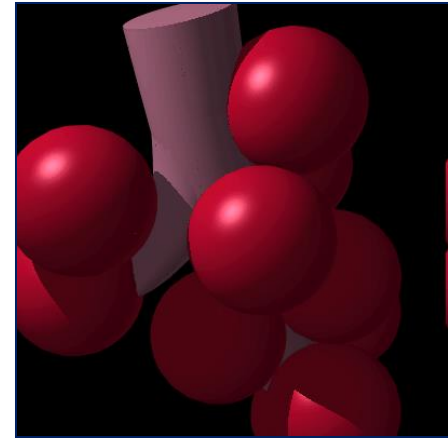
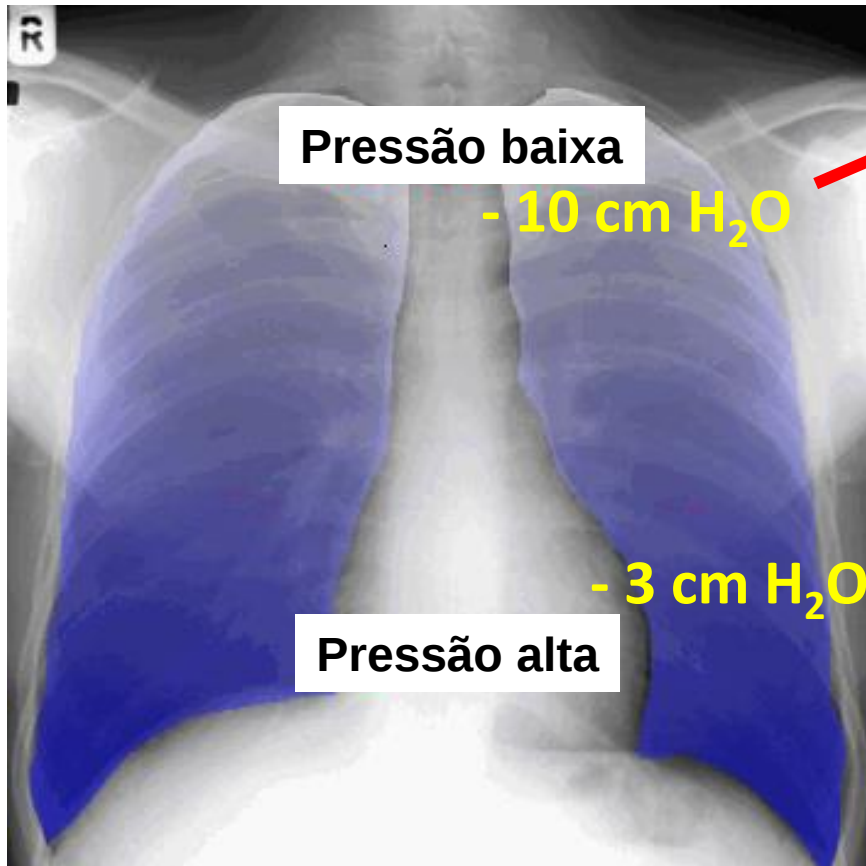
Pneumotórax

Distribuição da Ventilação

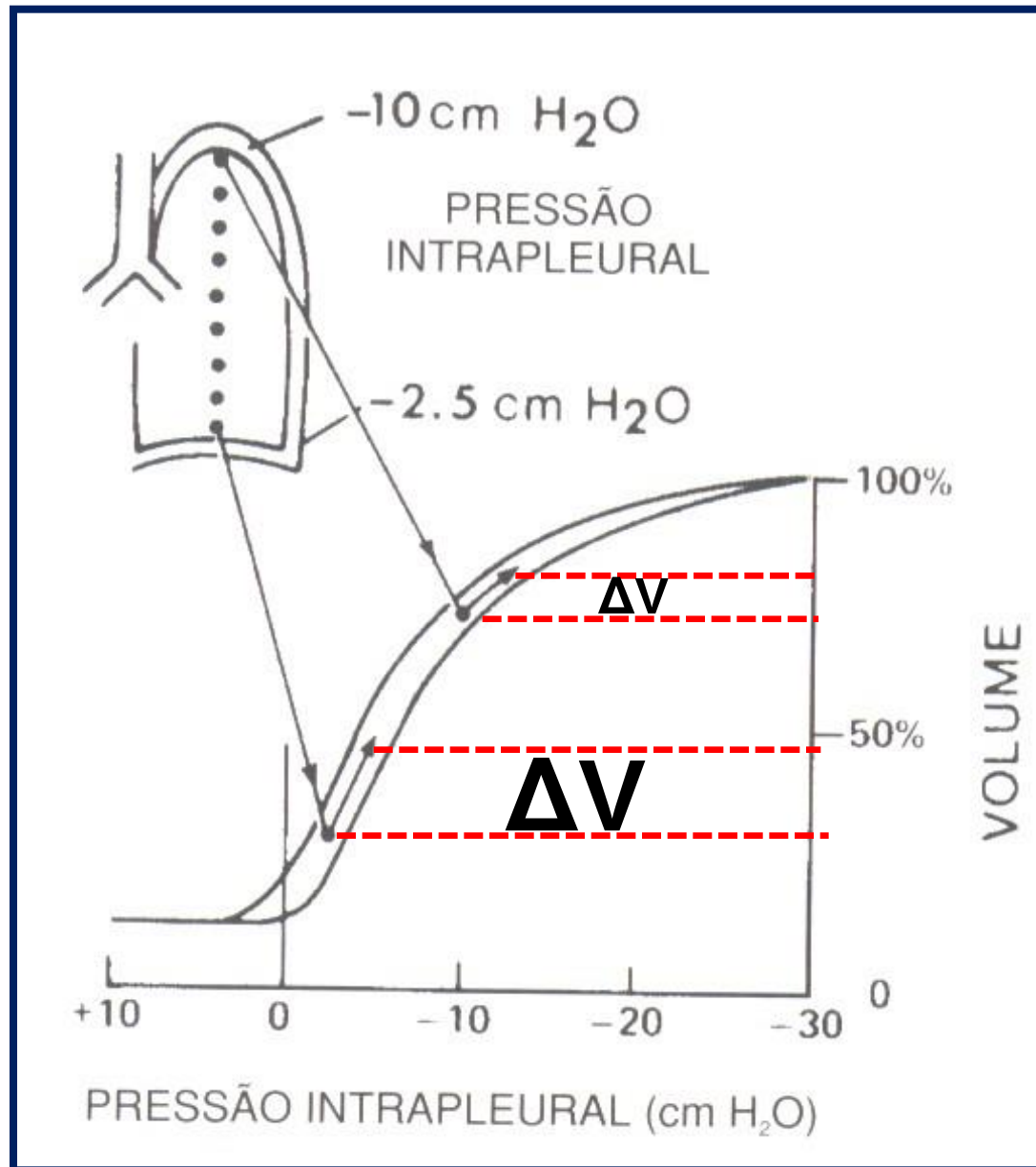


Modificada de Milic-Emili, J. et al, 1966

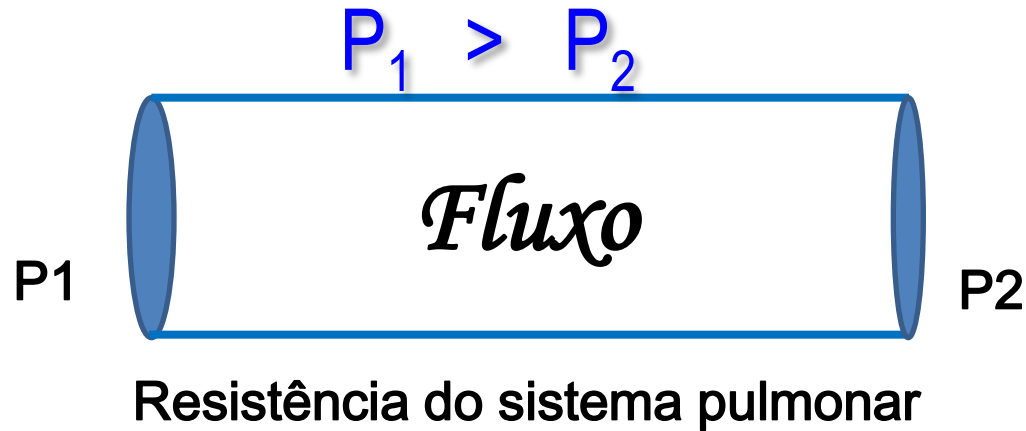
Diferenças regionais na ventilação



Diferenças regionais na ventilação



Resistência das via aéreas



ΔP depende:

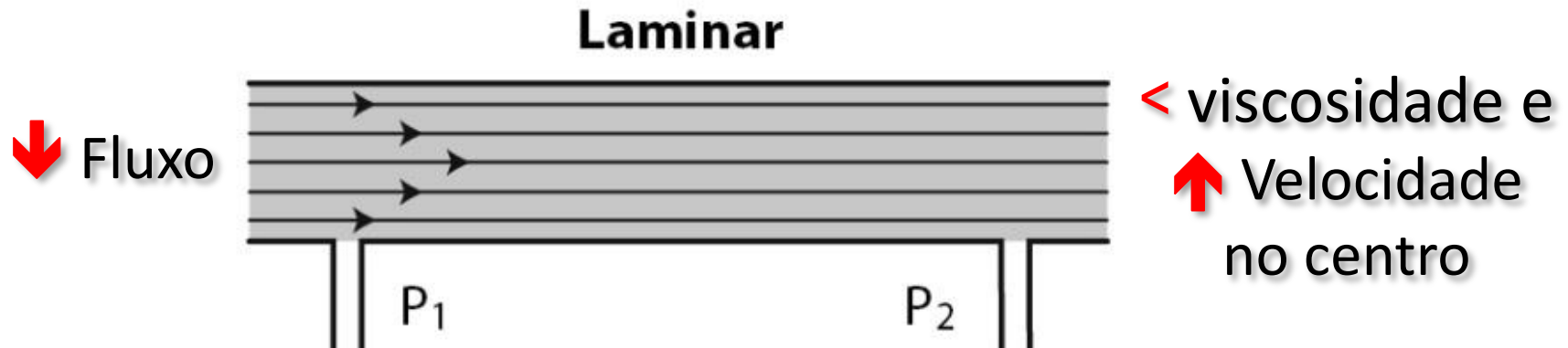
- *Valor do fluxo*
- *Característica aerodinâmica do fluxo*

Fluxo laminar

Fluxo turbulento

Fluxo transaccional

Fluxo Laminar



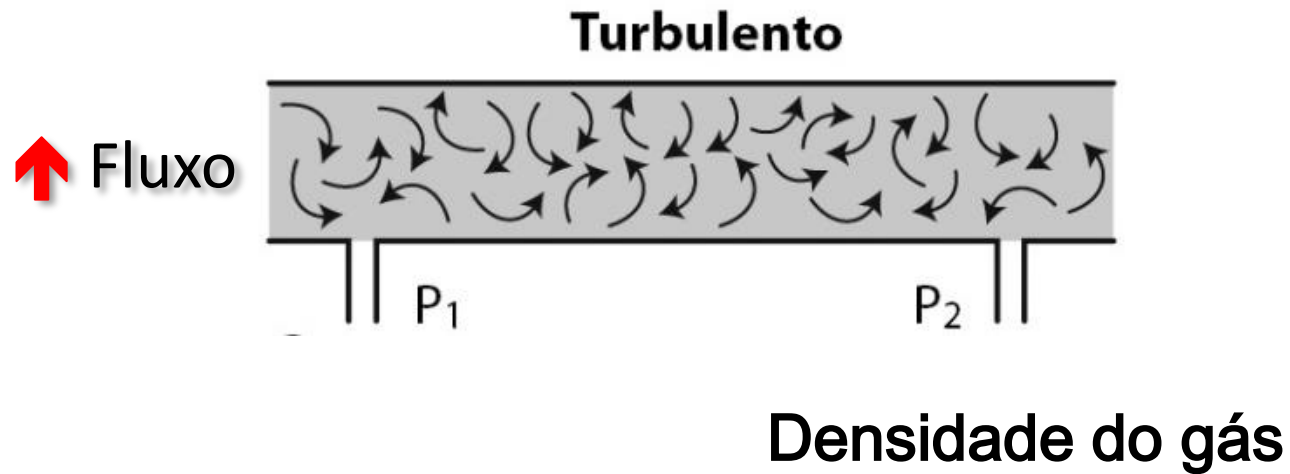
$$\Delta P = \frac{8 \cdot \eta \cdot L \cdot \dot{V}}{\pi \cdot r^4}$$

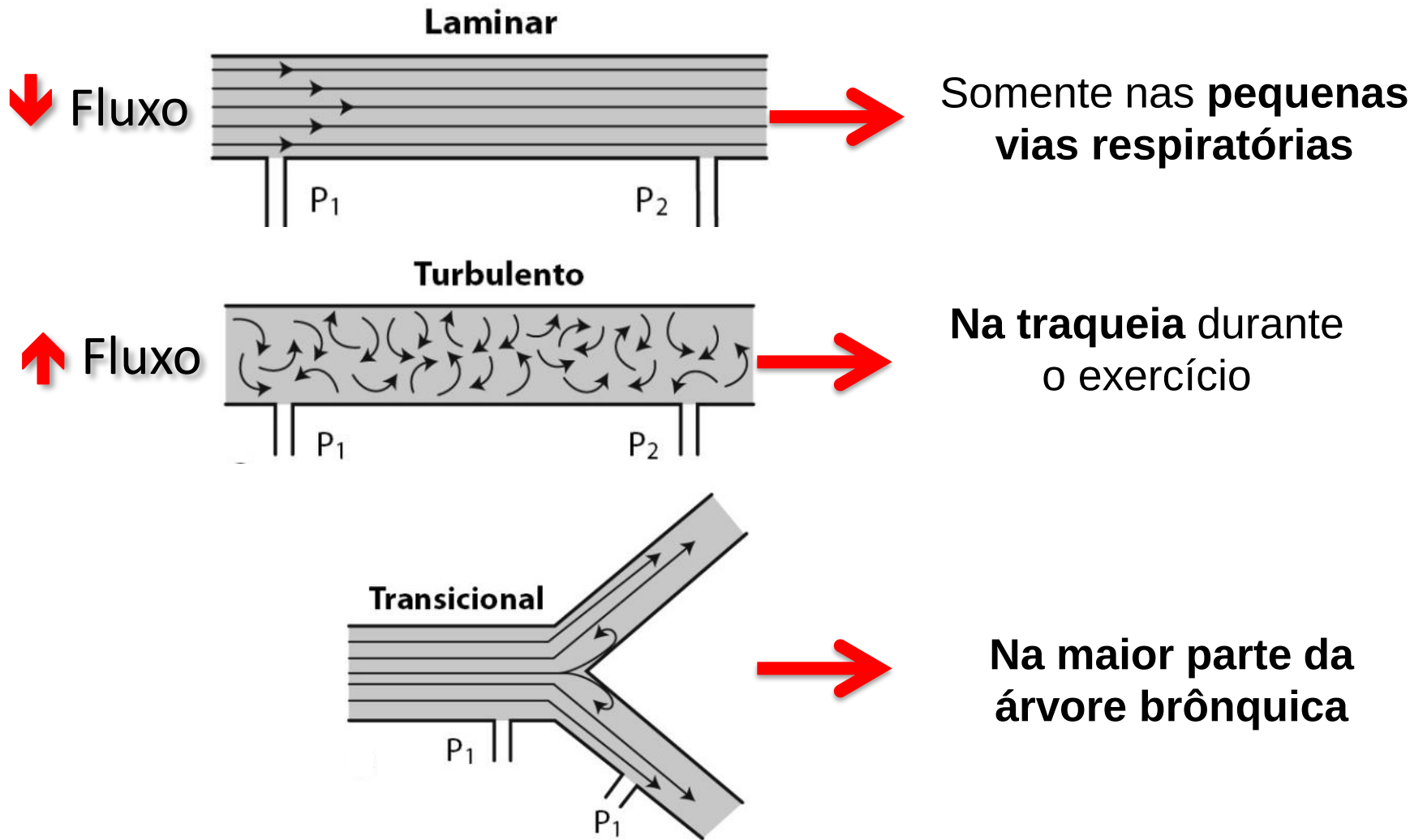
$$R = \frac{8\eta L}{\pi \cdot r^4}$$

$$R = \frac{\Delta P}{\dot{V}}$$

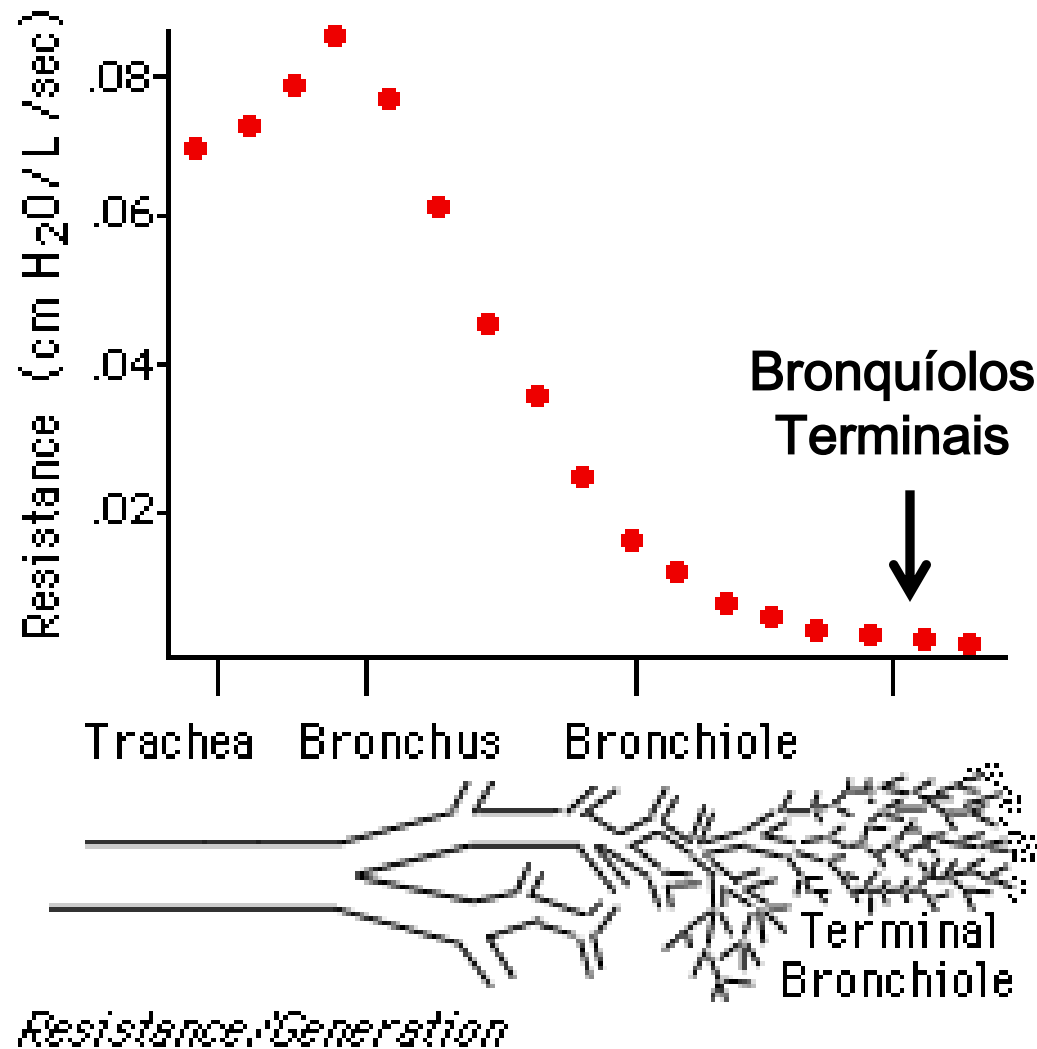
- $\dot{V}$ – fluxo de ar
- ΔP – diferença de pressão
- η – viscosidade do ar
- L – comprimento do tubo
- r – raio do tubo
- R – resistência

Fluxo Turbulento





Resistência das vias aéreas



Fatores que alteram a resistência das vias aéreas

Sistema Nervoso Simpático

Sistema Nervoso Parassimpático

(Adrenalina e Noradrenalina)

(Ach)

volume pulmonar

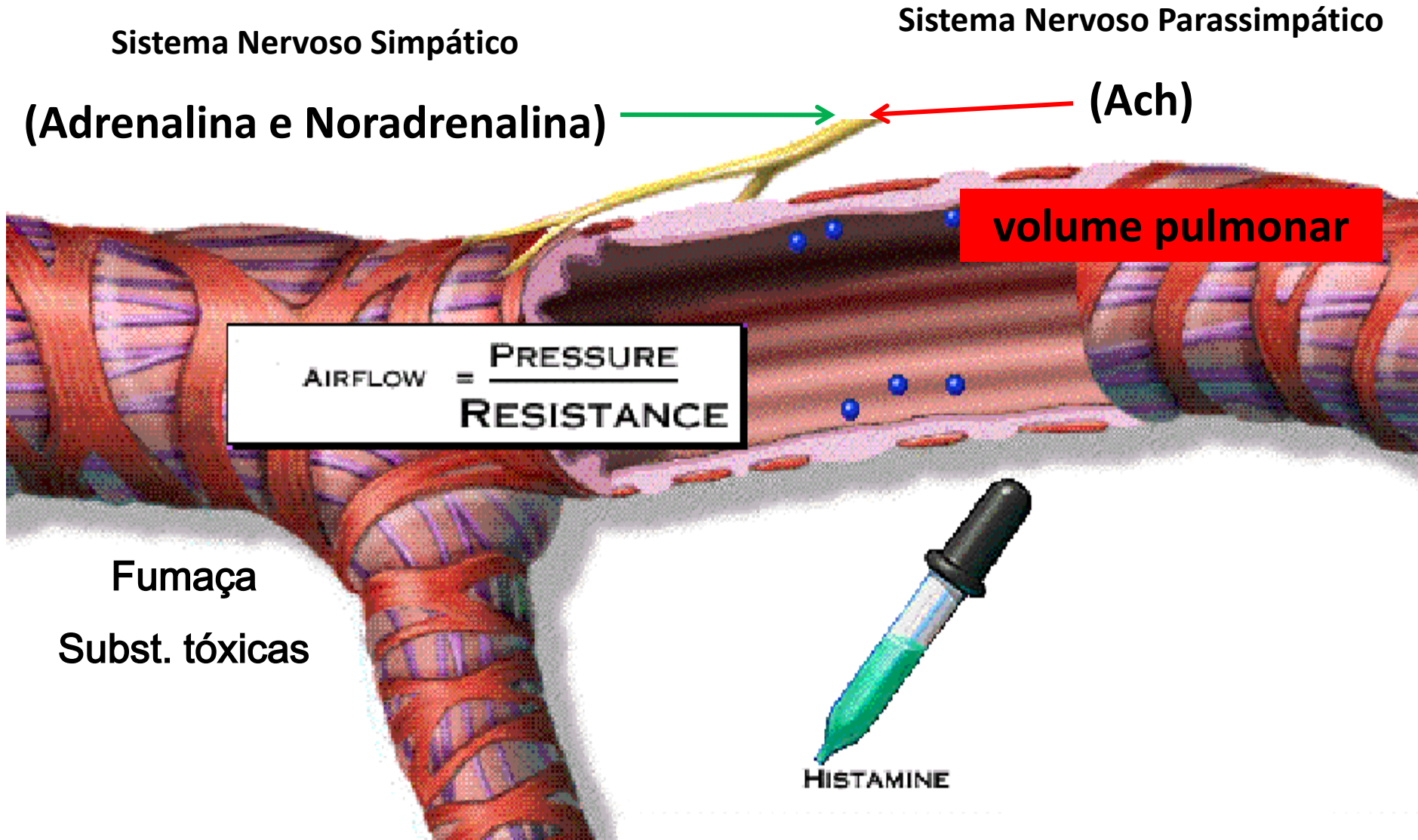
$$\text{AIRFLOW} = \frac{\text{PRESSURE}}{\text{RESISTANCE}}$$

Fumaça

Subst. tóxicas

HISTAMINE

DENSIDADE E VISCOSIDADE DO AR



Obrigado!