



Curso de Graduação – Biologia

BMW-360 – Elementos de

Fisiologia e Anatomia II

2015/2



Lídia Moreira Lima (Ph.D)
Professora Associada, LASSBio, PPDF, ICB-UFRJ
lidialima@ufrj.br
lmlima23@gmail.com

Bibliografia: a) Barrett, KE, Barman, SM, Boitano, S, Brooks, HL. Fisiologia Médica de Ganong, 24ª Edição, Artmed, Porto Alegre, 2014; b) Hall, JE. Guyton & Hall - Fundamentos de Fisiologia, 12ª Edição, Elsevier, 2011

Fisiologia Respiratória

Pulmão

Respiração*

Captação de O₂

Remoção de CO₂

Repouso: respira 12 a 15 x/min

Cada respiração: 500 mL de ar

~6 a 8L de ar inspirados e expirados/min



SISTEMA RESPIRATÓRIO

Vias aéreas superiores
(sistema de entrada):
Nariz, cavidade nasal,
boca, faringe, laringe

Vias aéreas condutoras:
traqueia e se ramificam
Gerando brônquios,
bronquíolos e
bronquíolos terminais

Vias aéreas alveolares:
(parênquima pulmonar)
Bronquíolos respiratórios,
ductos e sacos alveolares

*Respiração: É a função fisiológica que regula as trocas gasosas no organismo entre o meio externo e interno, contendo três etapas reguladas por mecanismos fisiológicos próprios: Ventilação, Difusão e Perfusão

MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO



Ventilação:

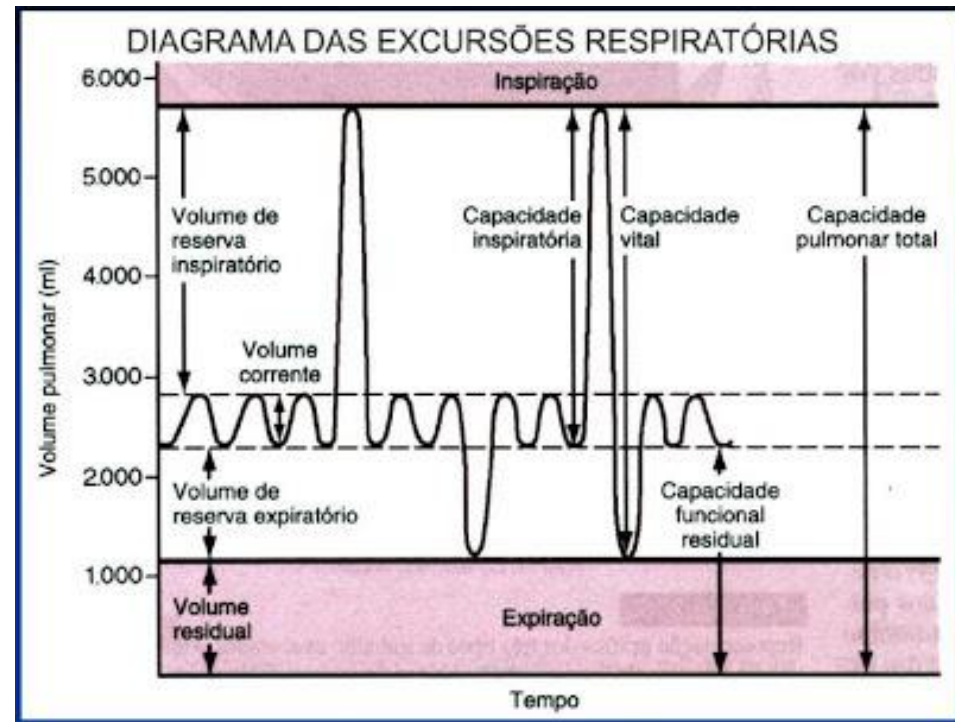
Fase mecânica de renovação e distribuição de ar intrapulmonar, caracterizada por movimentos físicos de entrada e saída e regulada pelo sistema nervoso. Além disso, a ventilação depende da permeabilidade do sistema condutor e da integridade do parênquima pulmonar.

- ✓ Os pulmões e a parede torácica são estruturas elásticas. Logo os primeiros deslizam facilmente sobre a parede do tórax.
- ✓ A **inspiração é um processo ativo**. A contração dos músculos inspiratórios aumenta o volume intratorácico. Os pulmões são expandidos. A pressão intrapleural na base dos pulmões **varia de -2,5mmHg para -6 mmHg**. A pressão nas vias aéreas torna-se levemente negativa e o ar flui para dentro dos pulmões.
- ✓ No final da inspiração, o recuo pulmonar traciona o tórax de volta a posição expiratória, onde as pressões de recuo dos pulmões e da parede torácica se equilibram. **A pressão nas vias aéreas torna-se levemente positiva, logo o ar flui para fora dos pulmões (expiração)**.
- ✓ Esforços respiratórios fortes reduzem a pressão intrapleural a valores tão baixos quanto -30mmHg, produzindo graus correspondentemente maiores de insuflação pulmonar.

MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO

Volumes e Capacidades Pulmonares

Espirometria: Técnica usada para avaliar função pulmonar, através da quantificação medir de volume a capacidade pulmonar (que se refere a soma de dois ou mais volumes)



Volume Corrente (VC): quantidade de ar que se move para dentro (inspiração) ou para fora (expiração) dos pulmões durante a respiração tranquila (500 mL a 750 mL)

Volume de reserva inspiratório (VRI) = Ar inspirado com esforço inspiratório máximo acima do VC (~2000mL)

Volume de reserva expiratório (VRE) = O volume expirado por um esforço expiratório ativo após expiração passiva (~1000 mL)

Volume Residual (VR) = volume de gás (ar) que resta nos pulmões após uma expiração máxima (~1300mL)

Capacidade Pulmonar Total (CPT): volume de gás nos pulmões após uma inspiração máxima e a soma dos volumes pulmonares ($CV + VR + VRE + VRI = \sim 5000\text{mL}$)

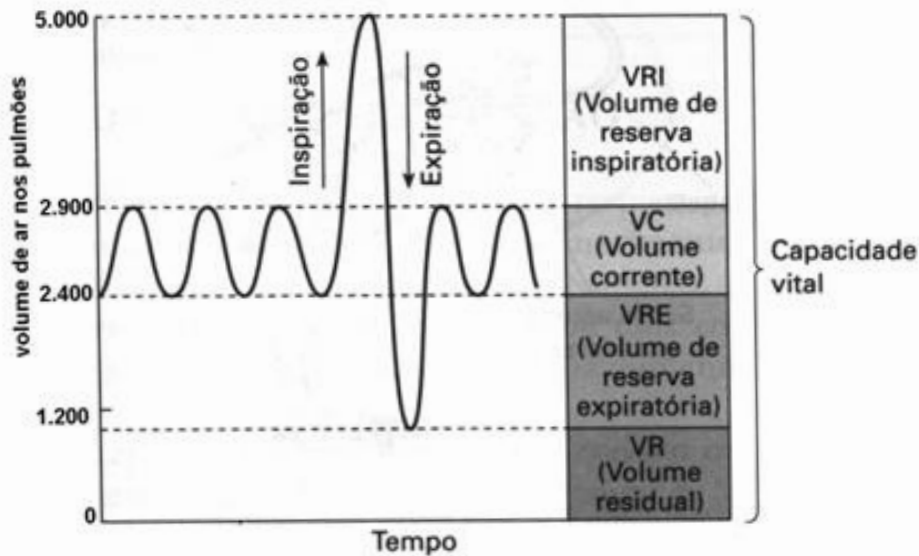
Capacidade Vital pulmonar (CV): quantidade máxima de ar que pode ser expirado após uma inspiração máxima (pulmão totalmente insuflado) ($VC + VRI + VRE = \sim 3500\text{ mL}$)

Capacidade Inspiratória (CI): quantidade máxima de ar inspirado a partir do nível expiratório final ($VRI + VC = \sim 2500\text{mL}$)

Capacidade residual funcional (CRF): volume de ar remanescente nos pulmões depois da expiração em uma respiração normal ($VR + VRE = \sim 2500\text{mL}$)

MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO

Volumes e Capacidades Pulmonares

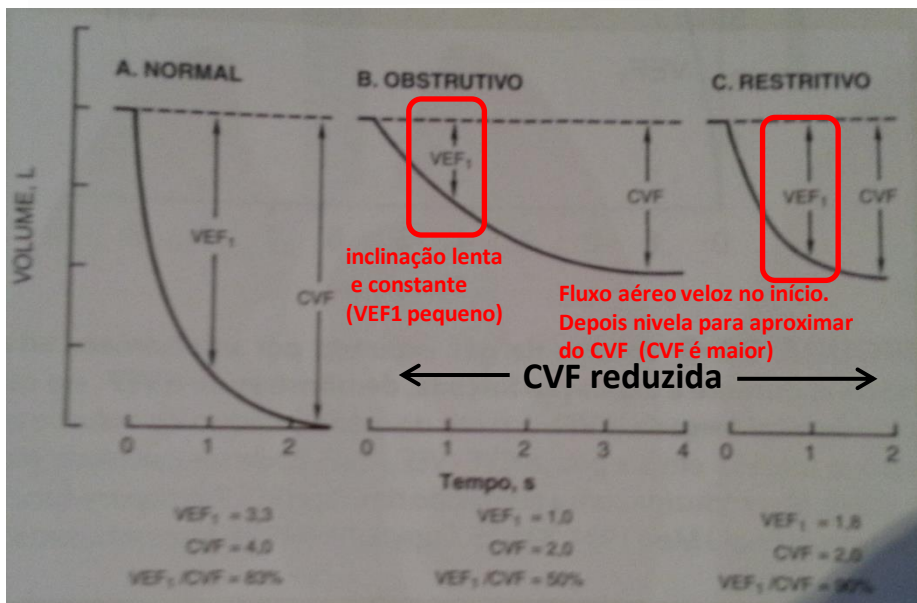


Capacidade vital forçada (CVF): quantidade maior de ar que pode ser expirada após um esforço inspiratório máximo. É medida clinicamente como índice de função pulmonar, fornecendo informações sobre a força dos músculos respiratórios e outros aspectos da função pulmonar.

CVF1 = volume expiratório forçado no primeiro segundo.

A razão de VEF1 para CVF (VEF1/CVF) é útil no diagnóstico de doenças das vias aéreas.

VEF1 = volume expiratório forçado no primeiro segundo.



CVF = 4 (sujeito normal); VEF1= 3.3 (sadio), logo $VEF1/CVF = 83\%$

CVF = 2 (obstrutivos); **VEF1 = 1**; logo $VEF1/CVF = 50\%$

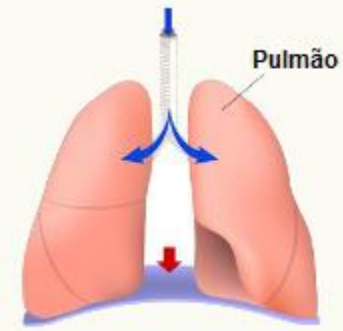
CVF = 2 (restritivo); **VEF1 = 1.8**, logo $VEF1/CVF = 90\%$

Espirometria representativa medindo volume sobre tempo (s) para sujeitos normais (A), obstrutivo (B) ou restritivo (C)

MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO

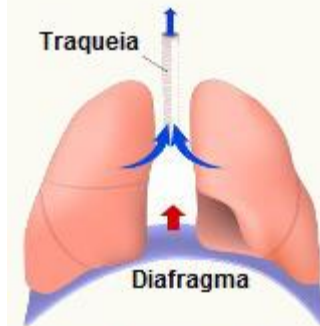
Complacência dos Pulmões e Paredes Torácicas

1. Toda estrutura elástica tem como propriedade fundamental oferecer resistência à deformação. **A capacidade que o pulmão tem de se expandir chama-se complacência.** Para que haja expansão do pulmão durante a respiração há um esforço realizado pelo músculo diafragma e pelos músculos intercostais externos.
2. **Quando a capacidade de expandir está diminuída, diz-se que o pulmão tem a complacência reduzida (se expande com mais dificuldade), impondo um maior trabalho ao sistema respiratório para “abrir” os pulmões e “fazer o ar entrar”**



Inspiração

Contração impulsiona
Estruturas abdominais
Para baixo e para frente,
aumentando a dimensão
da cavidade torácica
verticalmente



Expiração

relaxamento muscular
e recolhimento elástico
Passivo pulmonar

O gradeado Costal
exerce uma força de
expansão e o pulmão, ao
contrário, imprime uma
força para se retrair.

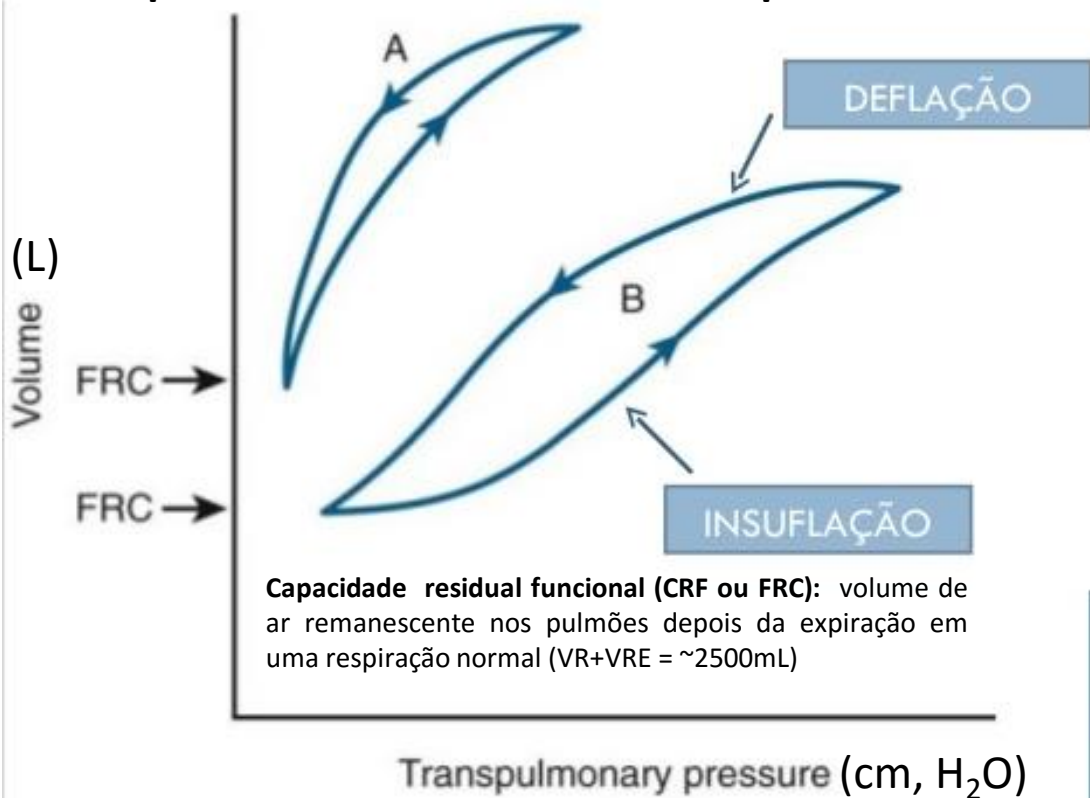


Na posição de repouso
do complexo toraco-
pulmonar observa-se
pressão intrapleural
negativa.

MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO

Complacência dos Pulmões e Paredes Torácicas

Curva pressão-volume do sistema respiratório total



Capacidade residual funcional (CRF ou FRC): volume de ar remanescente nos pulmões depois da expiração em uma respiração normal (VR+VRE = ~2500mL)

FIGURE 5-10 • Hysteresis in a normal lung and an acutely injured lung. In acute respiratory distress syndrome (ARDS), B, the lung is stiffer and requires a greater pressure at any given lung volume. Furthermore, the degree of hysteresis is much greater in ARDS lungs, with a greater separation of the inspiration and expiration curves (downward arrow).

Na faixa fisiológica normal de variação de pressão (- 5 a - 10 cmH₂O) o pulmão é bem distensível, para cada variação de 1 cmH₂O ocorre uma variação de 200mL de ar, porém se o pulmão já se encontra expandido, pequenas variações de volume, geram uma grande variação de pressão e impõe maior trabalho aos músculos inspiratórios

A Curva Pressão-Volume reflete as propriedades elásticas do pulmão. Para cada volume é determinada uma Pressão Transpulmonar. (PTP)

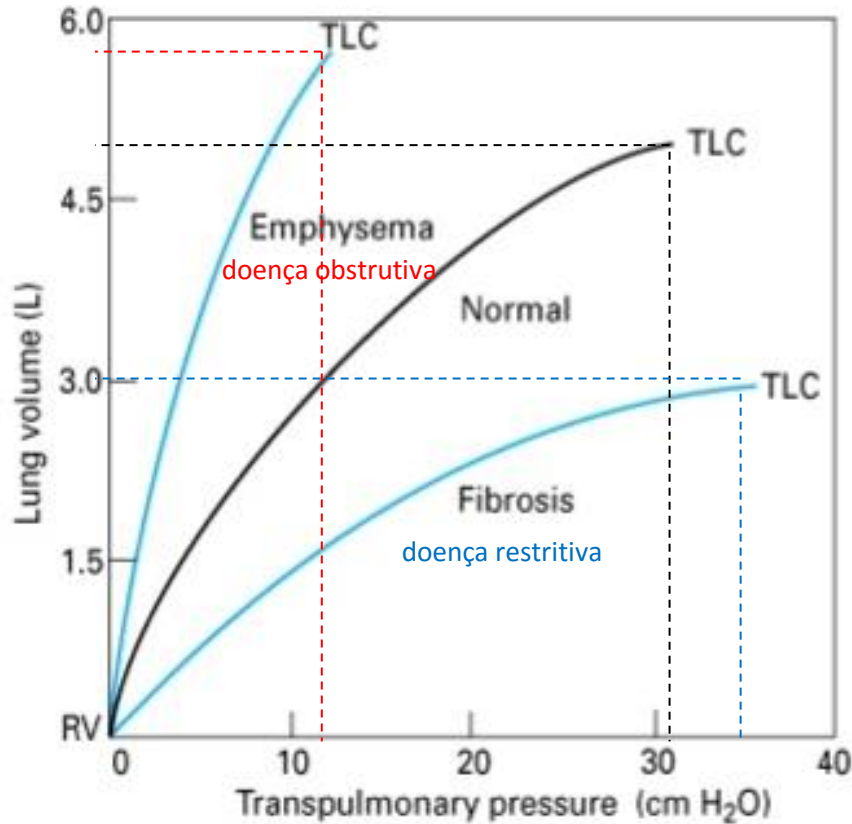
A PTP é determinada pela diferença entre a pressão alveolar e pleural

A definição clássica de complacência afirma que se trata de uma relação entre pressão e volume, ou seja, o quanto o pulmão é capaz de distender-se para acomodar o volume de ar que entra pelas vias aéreas. Portanto, a curva pressão-volume reflete as propriedades elásticas do pulmão (medi distensibilidade). Logo para cada volume é determinada uma pressão transpulmonar (PTP), a qual é obtida pela diferença entre a pressão alveolar e pleural

MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO

Complacência dos Pulmões e Paredes Torácicas

Curva pressão-volume do sistema respiratório total



Fibrose pulmonar: doença restritiva progressiva das vias aéreas em que há enrijecimento e retração cicatricial do pulmão. A curva é desviada para baixo e para direita, ou seja, a complacência está reduzida

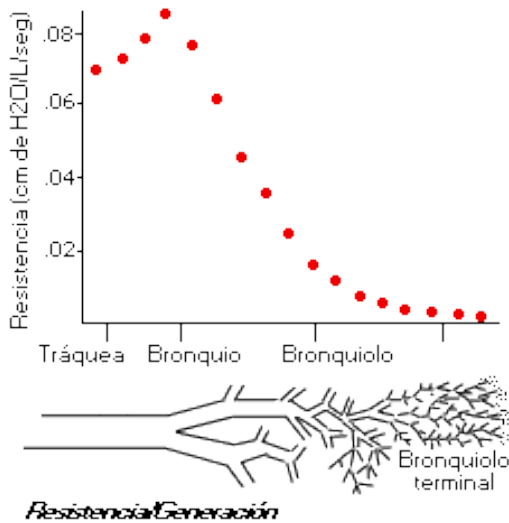
Enfisema: tipo de doença pulmonar obstrutiva crônica. Há aumento patológico da complacência, pois há uma destruição das fibras colágenas e elásticas dos septos interalveolares, que separam os alvéolos. O apresenta hiperinsuflação pulmonar, apresentando um tórax expandido. No entanto, o seu processo respiratório encontra-se prejudicado, pois as trocas gasosas não se processam adequadamente, por falta de uma superfície alveolar apropriada. A curva é desviada para cima e para esquerda, ou seja, a complacência está aumentada.

Source: Levitsky MG: *Pulmonary Physiology*, 7th Edition: <http://www.accessmedicine.com>

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved

MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO

Resistência das vias aéreas & papel dos surfactantes



Entende-se por resistência das vias aéreas (RVA) o grau de dificuldade que o fluxo de ar tem para se movimentar através das vias aéreas, sendo esse um parâmetro importante na avaliação funcional pulmonar. A RVA é calculada pela diferença de pressão entre o alvéolo e a boca, dividida pela taxa de fluxo aéreo. É definida como a mudança de pressão (ΔP) dos alvéolos à boca dividida pela mudança na velocidade do fluxo (V). Esta diferença de pressões é causada primariamente pelo atrito das moléculas de gás em contato com as vias aéreas. **A resistência ao fluxo das vias aéreas depende do tipo de fluxo (laminar ou turbulento), das dimensões das vias aéreas e da viscosidade do gás.** A RVA é registrada em cmH₂O/Litros/s.

- ✓ A resistência das vias aéreas é a força oposta ao fluxo de gás (ar) nas vias aéreas durante uma respiração normal.
- ✓ Diâmetro das vias aéreas é fator determinante da resistência das vias aéreas.
- ✓ A resistência das vias aéreas é aumentada expressivamente quando o volume pulmonar é reduzido.
- ✓ Brônquios e bronquíolos contribuem significativamente para a RVA.
- ✓ Acúmulo de muco (inflamação, alergia, infecções) aumentam a resistência.
- ✓ A contração dos músculos lisos que revestem as vias aéreas brônquicas (e.g. broncoconstrição) aumenta a RVA. Bronquíolos estão sujeitos ao reflexos do sistema nervoso e hormonal
- ✓ A RVA pode ser obtida com o auxílio da pletismografia.

MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO

Papel dos surfactantes na tensão superficial alveolar

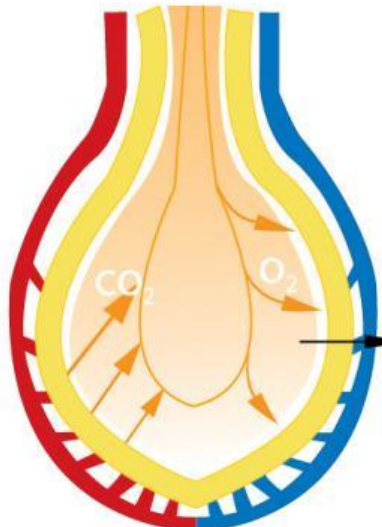
- ✓ A resistência das vias aéreas é normalmente baixa, porém estímulos nervosos e fatores químicos podem mudar o diâmetro dos bronquíolos, alterando a resistência e o fluxo de ar.
- ✓ A distensibilidade pulmonar (complacência) é normalmente alta devido ao componente elástico do tecido pulmonar e à habilidade do surfactante para reduzir a tensão superficial do líquido alveolar. Ou seja, o surfactante aumenta a complacência pulmonar, ao diminuir a tensão superficial, e estabiliza o pulmão, por variar a tensão à medida em que o raio alveolar se modifica.

Alvéolo Pulmonar

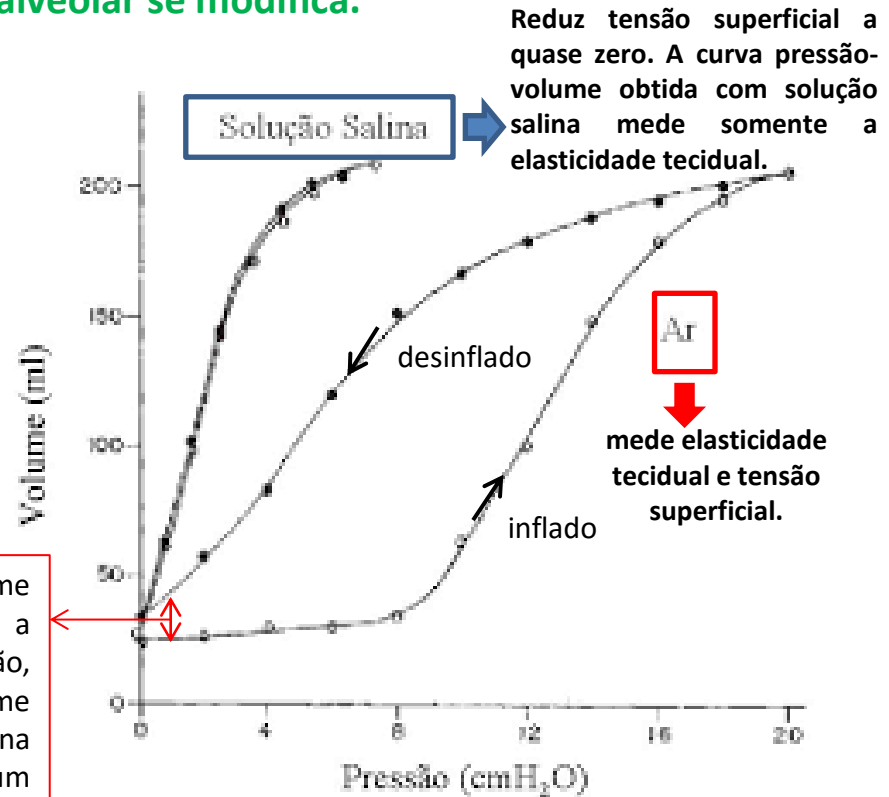
Surfactante pulmonar é uma mistura de dipalmitoilfosfatidilcolona (DPPC), outros lípídeos e proteínas, com propriedades tensoativas produzido pelos pneumócitos tipo II. **Reduzem a tensão superficial na interface entre o líquido presente na cavidade alveolar e o ar.**

Surfactante Alveolar

Histerese pulmonar é o nome dado para o fato de que a pressão gerada na inspiração, quando um dado volume encontra-se nos pulmões, na expiração, consegue manter um volume maior dentro dos pulmões



A interface gás-líquido está forrada por surfactantes (revestem os alvéolos)

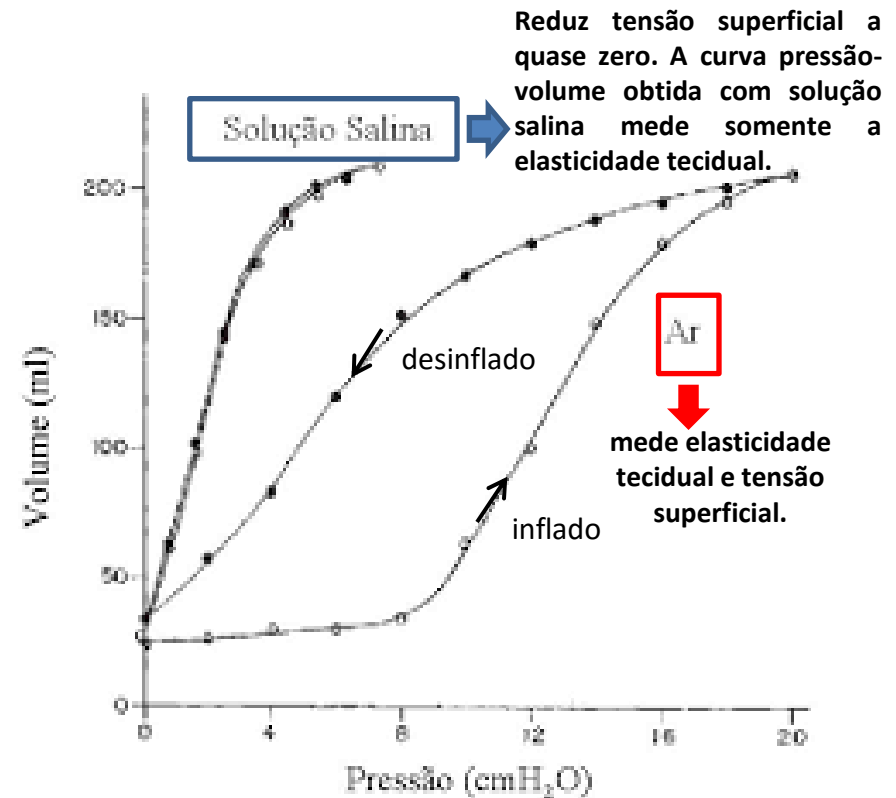


Pulmão de animal experimental distendido alternativamente com solução salina e com ar, enquanto a pressão intrapulmonar é mensurada.

MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO

Papel dos surfactantes na tensão superficial alveolar

- ✓ O surfactante é importante ao nascimento. Os pulmões permanecem colapsados até o nascer. Após o nascimento o neonato faz vários movimentos inspiratórios fortes e os pulmões se expandem. **O surfactante os impede de colapsar novamente.**
- ✓ Se a tensão superficial não for mantida baixa, quando os alvéolos diminuem de tamanho durante a expiração eles colapsariam, segundo a lei de Laplace. Logo, o surfactante pulmonar tem o papel de promover a estabilidade dos alvéolos, ao retardar/impedir seu colabamento.
- ✓ Lei de Laplace: $P=2T/r$; onde P = pressão necessária para manter alvéolo aberto (dina/cm); T = tensão superficial (dina/cm); r = raio do alvéolo (cm)
- ✓ Devido sua relação inversa com o raio, o alvéolo grande (raio maior) terá baixa pressão colapsante, necessitando de menos pressão para se manter aberto. O inverso é verdadeiro.
- ✓ O surfactante também ajuda a prevenir o edema pulmonar.

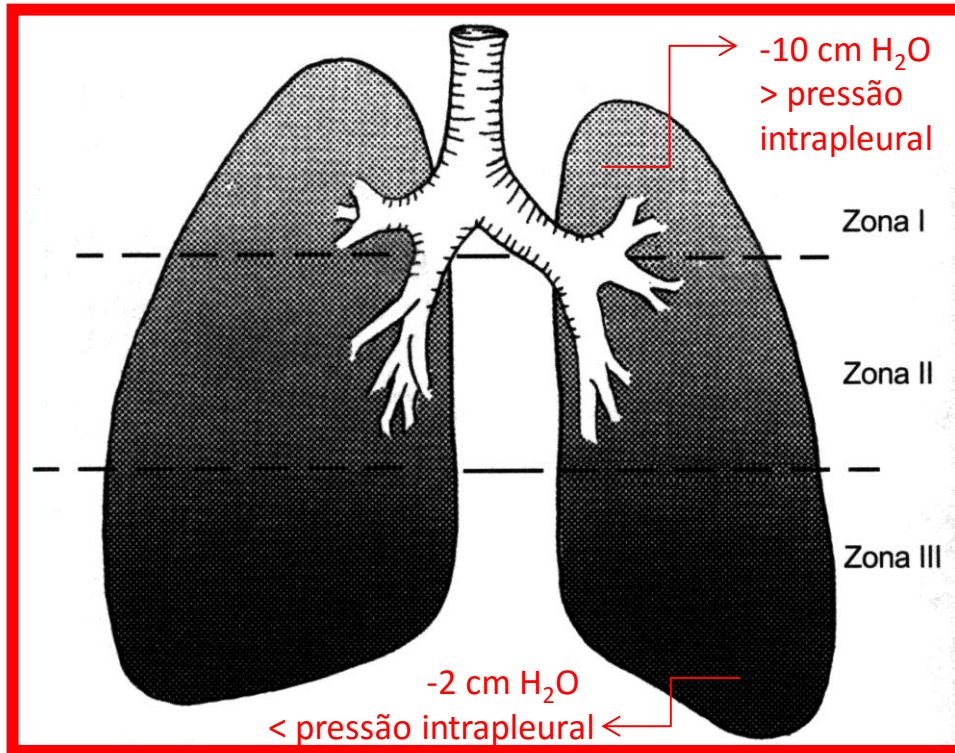


Pulmão de animal experimental distendido alternativamente com solução salina e com ar, enquanto a pressão intrapulmonar é mensurada.

MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO

Ventilação & Fluxo Sanguíneo

A perfusão pulmonar é dependente da postura. Na posição ortostática podem ser vistas três zonas:



● Zona I – a ventilação sobrepuja a perfusão

● Zona II - a ventilação e a perfusão são equivalentes

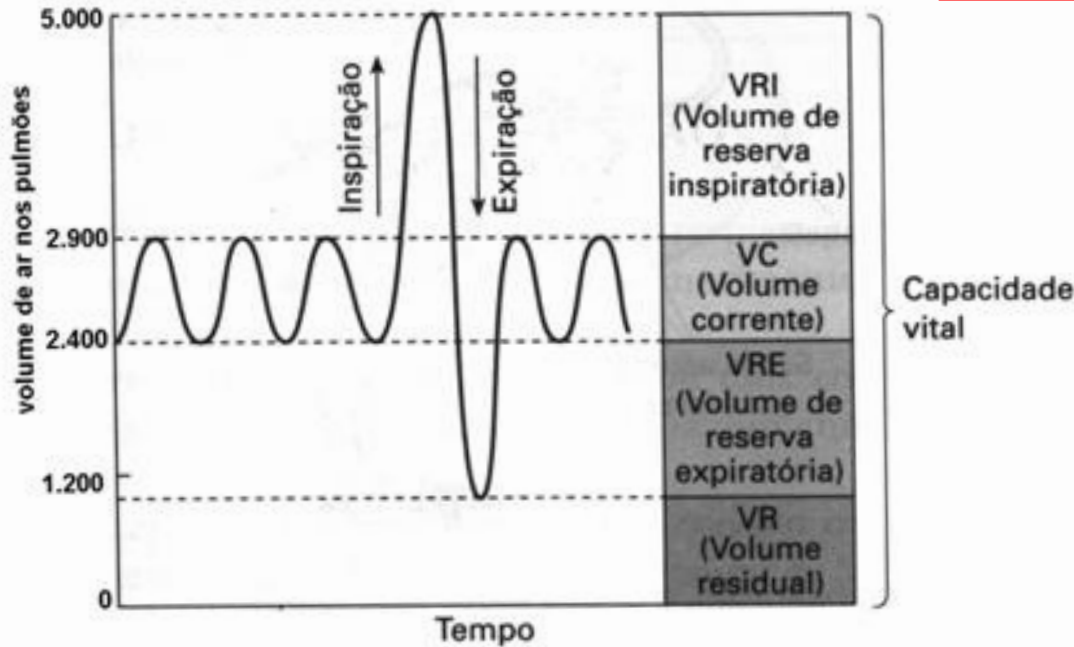
● Zona III – a perfusão sobrepuja a ventilação

✓ A relação da ventilação para fluxo sanguíneo nos pulmões em repouso é ca. 0,8 L/min (4,2L/min de ventilação dividido por 5,5 L/min de fluxo sanguíneo)

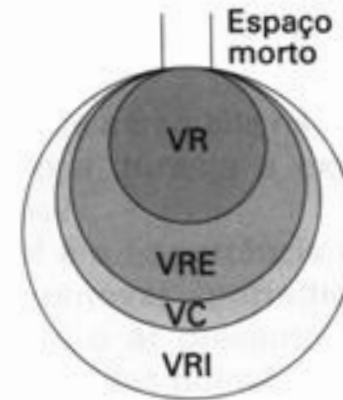
- ✓ Na posição ortostática a ventilação por unidade de volume do pulmão é maior na base pulmonar que no ápice (efeito gravitacional). Isso pq no começo da inspiração, a pressão intrapleural é menos negativa na base, e como a diferença de pressão intrapulmonar intrapleural é menor que no ápice, o pulmão é menos expandido. Inversamente no ápice o pulmão é mais expandido.
- ✓ O fluxo sanguíneo também é maior na ápice que na base. A relação ventilação/perfusão na base é baixa e alta no ápice

MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO

Ventilação Desigual & Espaço Morto



A troca de gases no sistema respiratório ocorre somente nas porções terminais das vias aéreas, o gás que ocupa o resto do SR não está disponível Para trocas com o sangue capilar pulmonar.



Espaço Morto Anatômico:
É igual ao peso corporal em libras (150 lb = 68 Kg).

Logo dos 500 mL de ar inspirado, apenas 350 mL se misturam com o ar nos alvéolos

Já na expiração Os primeiros 150 mL expirados são ocupados por gás proveniente do espaço morto, somente os últimos 350 mL provém dos alvéolos.

Portanto, a ventilação alveolar (quantidade de ar que alcança os alvéolos por min) é menor que o VMR.

Tabela: Efeito das variações na frequência e profundidade da respiração sobre a ventilação alveolar

Frequência Respiratória	30/min	10/min
Volume Corrente	200 mL	600 mL
Volume minuto	6L	6L
Ventilação alveolar	$(200-150) \times 30 = 1.500\text{mL}$	$(600-150) \times 10 = 4.500\text{mL}$

Nota: Devido ao espaço morto a respiração superficial e rápida produz muito menos ventilação alveolar que a respiração profunda e lenta no mesmo VMR.

MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO

Ventilação Desigual & Espaço Morto

- ✓ Devido ao espaço morto a respiração superficial e rápida produz muito menos ventilação alveolar que a respiração profunda e lenta no mesmo VMR (tabela 1).
- ✓ É importante distinguir entre espaço morto anatômico (= volume do SR fora dos alvéolos) e espaço morto (fisiológico) total (= volume de gás que não realiza trocas com o sangue, i.e. ventilação desperdiçada). Em indivíduos sadios os 2 espaços são idênticos e podem ser estimados pelo peso corporal. Porém em estados fisiopatológicos podem haver locais sem troca entre o gás em alguns dos alvéolos e o sangue, e alguns alvéolos podem ser hiperventilados. O volume de gás em alvéolos não perfundidos e qualquer volume de gás nos alvéolos em excesso daquele necessário para arterializar o sangue nos capilares alveolares, faz parte do volume de gás do espaço morto, ou seja não realiza trocas.
- ✓ O espaço morto anatômico pode ser mensurado através de análise das curvas de N_2 após única inspiração.

MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO

Troca de Gases nos Pulmões: Pressões Parciais

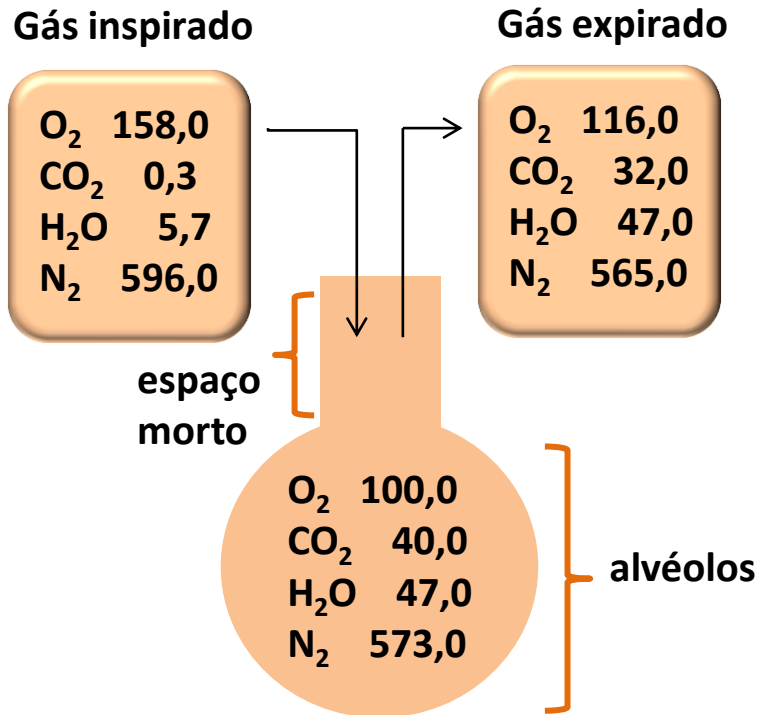
- ✓ Pressões parciais são frequentemente usadas para descrever os gases na respiração.
- ✓ A pressão de um gás é proporcional a sua temperatura e ao número de moles ocupando um certo volume. Equação do estado de gás ideal: $P = nRT/V$ onde P = pressão, n = nº de moles; R = constante gasosa; T = temperatura absoluta; V = volume

Lembrete: gases se expandem para preencher o volume disponível para eles, e o volume ocupado por um número de moléculas de gás em uma dada temperatura e pressão é o mesmo independentemente da composição do gás.

- ✓ Composição do ar seco: 20,98% de O_2 ; 0,04% de CO_2 ; 78,06% de N_2 e 0,92% de outros gases. Pressão atmosférica (P_{atm}) = 760mmHg ou 1 atm. Logo a Pressão parcial (P) de $N_2 = 0,79 \times 760$; $PO_2 = 0,21 \times 760$ e $PCO_2 = 0,0004 \times 760$.
- ✓ PH_2O a $t = 37^\circ C = 47$ mmHg. Logo ao considerar a pressão de vapor d'água a Pressão Parcial dos gases que alcançam os pulmões será de $P_{O_2} = 150$ mmHg; $P_{CO_2} = 0,3$ mmHg; $P_{N_2} = 563$ mmHg.
- ✓ Os gases difundem-se de áreas de alta pressão para áreas de baixa pressão, com a velocidade de difusão dependendo do gradiente de concentração e da natureza da barreira entre as duas áreas.
- ✓ Quando uma mistura de gases está em contato com um líquido (e.g. sangue), cada gás da mistura se dissolve no líquido a uma extensão determinada por sua pressão parcial e sua solubilidade no líquido.
- ✓ A pressão parcial de um gás em um líquido é a pressão que na fase gasosa em equilíbrio com o líquido, produziria a concentração de moléculas de gás encontrada no líquido.

MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO

Troca de Gases nos Pulmões: Ar Alveolar & Ventilação Pulmonar

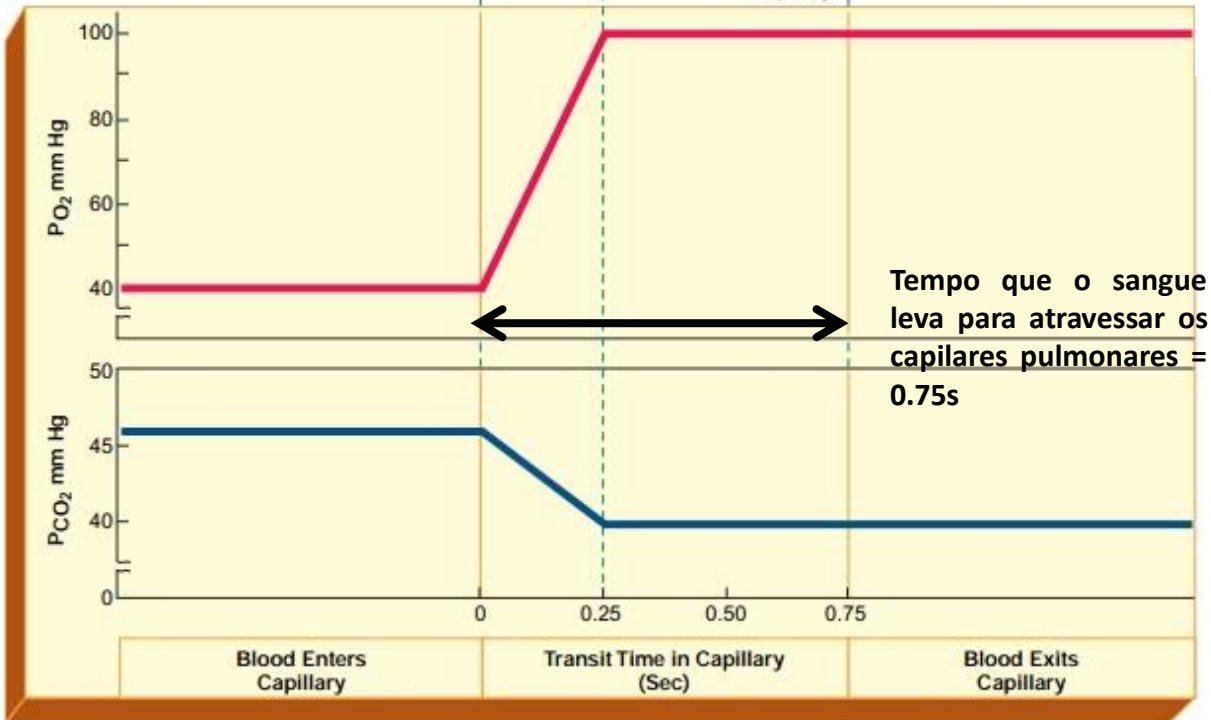
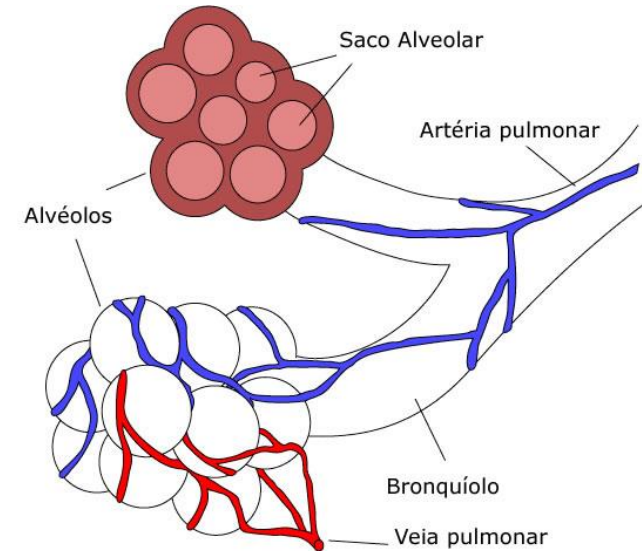
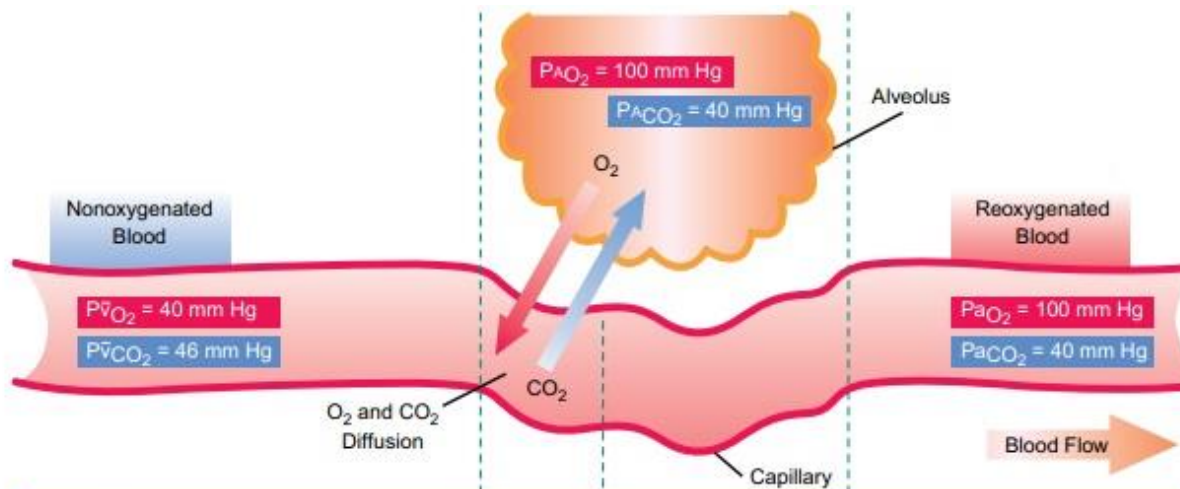


	Ar inspirado	Ar expirado
N ₂	79%	79%
O ₂	20,94%	15,7%
CO ₂	0,04%	5%
H ₂ O	0,5%	6,2%

- ✓ O₂ se difunde continuamente a partir dos alvéolos para a corrente sanguínea
- ✓ CO₂ se difunde continuamente a partir do sangue para dentro dos alvéolos
- ✓ No estado de equilíbrio, o ar inspirado se mistura com o gás alveolar, repondo o O₂ que entrou no sangue, e diluindo o CO₂ que entrou nos alvéolos. Logo o conteúdo de O₂ do gás alveolar cai e o conteúdo de CO₂ se eleva até a próxima inspiração.

MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO

Troca de Gases nos Pulmões: Difusão através da membrana alveolocapilar

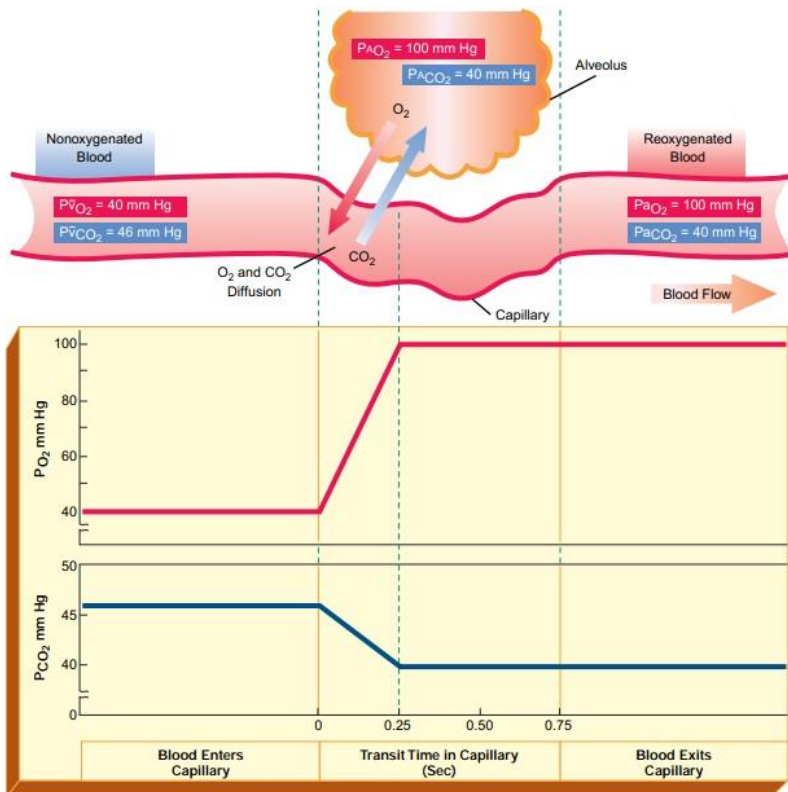


A **capacidade de difusão** do pulmão para um dado gás é diretamente proporcional à área de superfície da membrana alveolocapilar e inversamente proporcional a sua espessura.

MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO

Troca de Gases nos Pulmões: Difusão através da membrana alveolocapilar

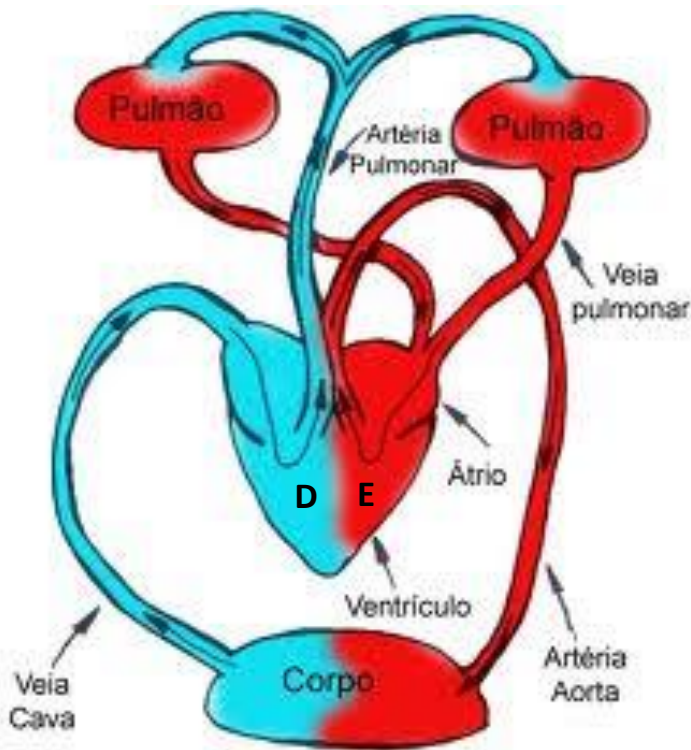
- ✓ A **capacidade de difusão** do pulmão para um dado gás é diretamente proporcional à área de superfície da membrana alveolocapilar e inversamente proporcional a sua espessura.
- ✓ A capacidade de difusão para CO (DL_{CO}) é medida como um índice da capacidade de difusão, pois sua captação por difusão é limitada.
- ✓ A DL_{CO} é proporcional a quantidade de CO que entra no sangue (V_{CO}), dividida pela pressão parcial de CO nos alvéolos, menos a pressão parcial de CO no sangue que entra nos capilares pulmonares. Exceto em fumantes, este último valor é próximo de zero, e portanto pode ser ignorado, Logo: $DL_{CO} = V_{CO}/PA_{CO}$



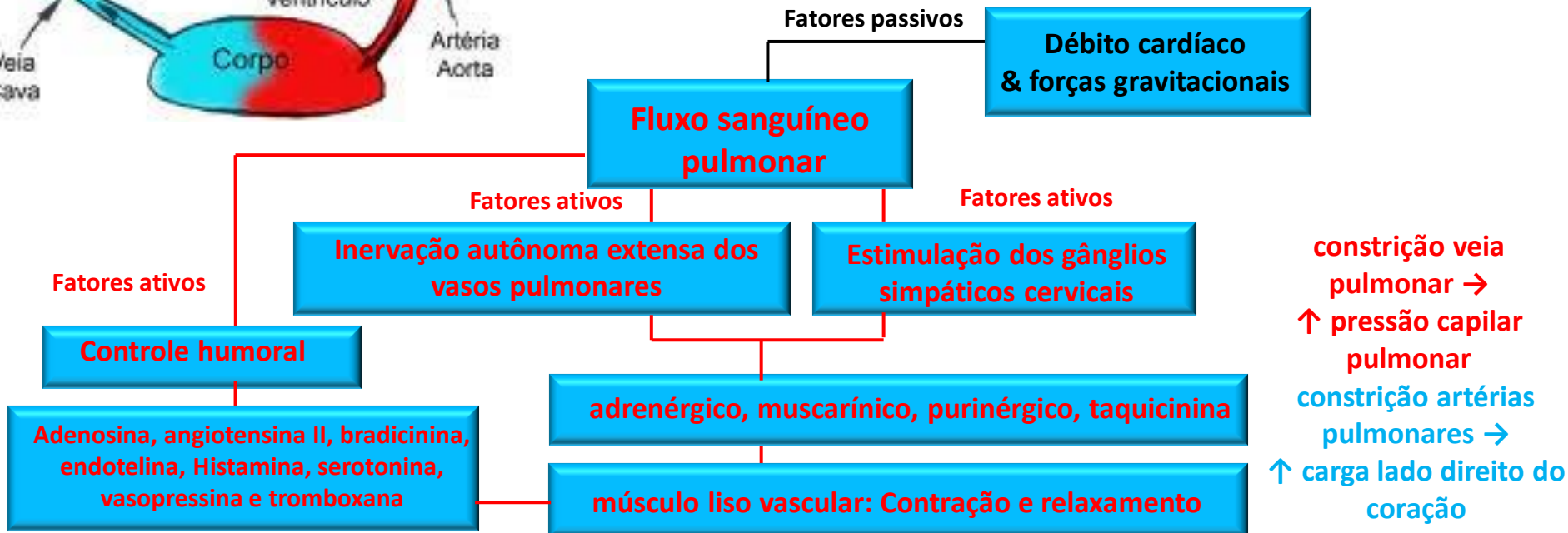
- ✓ O valor normal de DL_{CO} em repouso é em torno de 25 mL/min/mmHg. Ele aumenta até 3 vezes durante o exercício físico, em consequência da dilatação capilar e de um aumento no número de capilares ativos.
- ✓ A P_{O_2} do ar alveolar é normalmente 100 mmHg e a PO_2 que entra nos capilares pulmonares é 40mmHg.
- ✓ A capacidade de difusão do O_2 em repouso é cerca de 25 mL/min/mmHg. A P_{O_2} do sangue se eleva até 97 mmHg, um valor logo abaixo da P_{O_2} alveolar
- ✓ A P_{CO_2} do sangue venoso é 46mmHg e do sangue alveolar é 40 mmHg, logo o CO_2 se difunde do sangue para dentro dos alvéolos ao longo deste gradiente. A P_{CO_2} do sangue que sai dos pulmões é 40 mmHg.
- ✓ O CO_2 passa através de todas as M biológicas e a capacidade de difusão do CO_2 nos pulmões é muito maior que a capacidade do O_2 . Por isso a retenção de CO_2 raramente é um problema, mesmo em pacientes com fibrose alveolar

MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO

CIRCULAÇÃO PULMONAR



- ✓ O sangue venoso pobre em oxigênio e rico em dióxido de carbono e resíduos do metabolismo celular volta ao coração através das veias cavas e desemboca no átrio direito. Do átrio direito o sangue passa ao ventrículo direito de onde será bombeado para os pulmões através das artérias pulmonares.
- ✓ No pulmão o sangue sofre a hematose e retorna para o átrio esquerdo através das veias pulmonares (pequena circulação). O ventrículo esquerdo recebe o sangue do átrio esquerdo e o bombeia para todo o organismo através da aorta (grande circulação).



MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO

CIRCULAÇÃO PULMONAR



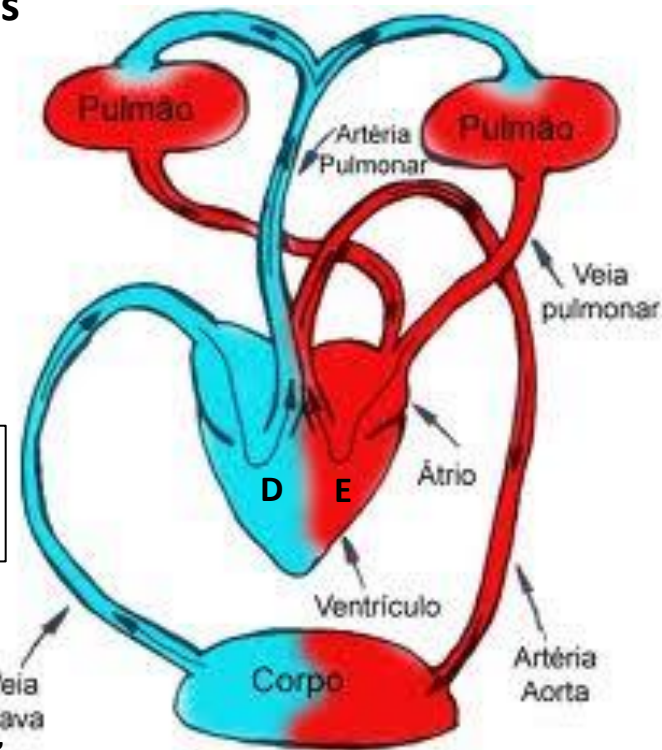
Capilares previamente mal perfundidos são recrutados p/transportar sangue

Dilatação dos capilares

↑ Débito cardíaco & Pressão arterial se eleva

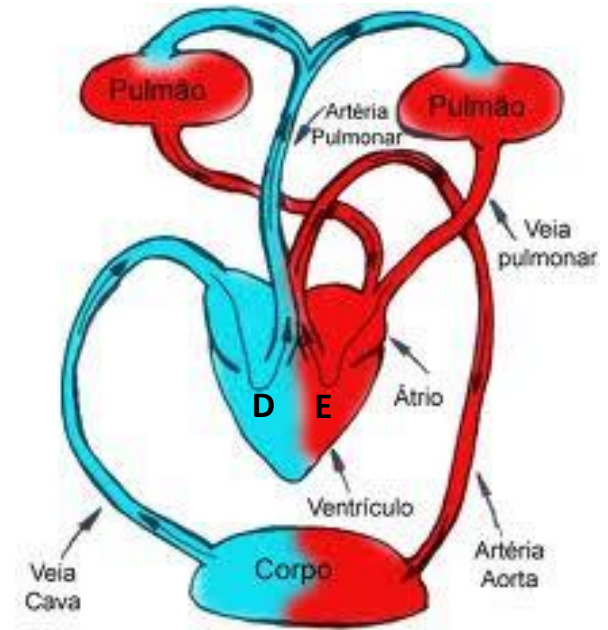
↑ hemáceas movendo-se nos pulmões
Não há redução da saturação de O_2 da Hgb

↑ qtidade total de O_2 transportada à circulação sistêmica



MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO

CIRCULAÇÃO PULMONAR



Brônquio ou
Bronquíolos
obstruídos



Alvéolos hipoventilados



Hipoxia alveolar

(deficiência de O_2 ao nível tecidual)



Ação sobre musculatura lisa na área em hipoxia
para produzir constrição



Desviando sangue para fora da área
de hipoxia



Acúmulo de CO_2 e conseqüente $\downarrow pH$

Desvio ventilação p/ fora da área
mal perfundida



Constrição dos
brônquios



$\downarrow PO_2$ alveolar
área afetada



Reduz fluxo sangue



Vasoconstrição pulmonar

MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO

FUNÇÕES METABÓLICAS E ENDÓCRINAS DOS PULMÕES

Tabela 1: Substâncias biologicamente ativas metabolizadas pelos pulmões

Sintetizadas e usadas nos pulmões

surfactantes

Sintetizadas ou armazenadas e liberadas no sangue

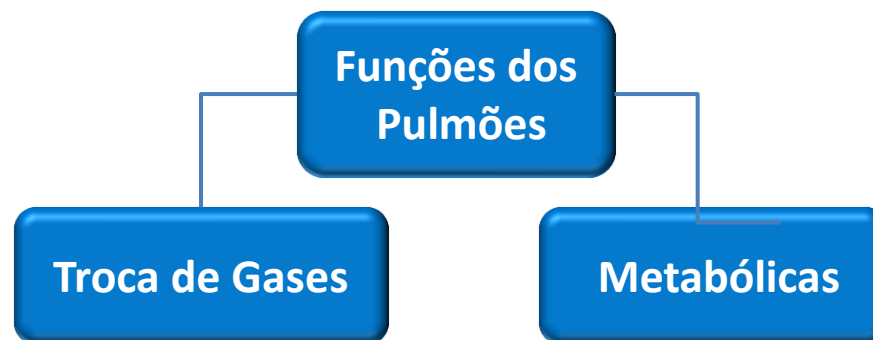
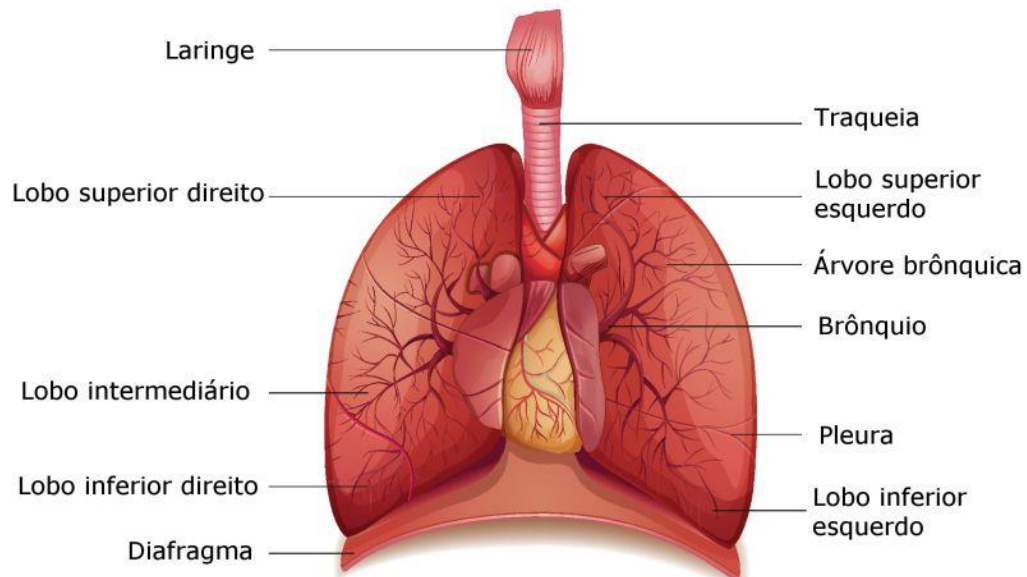
Prostaglandinas, Histamina, Calicreína

Parcialmente removidas do sangue

PGs, Bradicinina, nucleotídeos de adenina, serotonina, noradrenalina, acetilcolina

Ativada nos pulmões

Angiotensina I → angiotensina II



MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO

TRANSPORTE GASOSO (TROCA GASOSA)

- ✓ As trocas gasosas entre o meio e as superfícies respiratórias ocorrem por meio da **difusão**. Em linhas gerais, difusão é o movimento de partículas de uma região, em que elas estão em maior concentração, para outra em que estão em menor concentração.



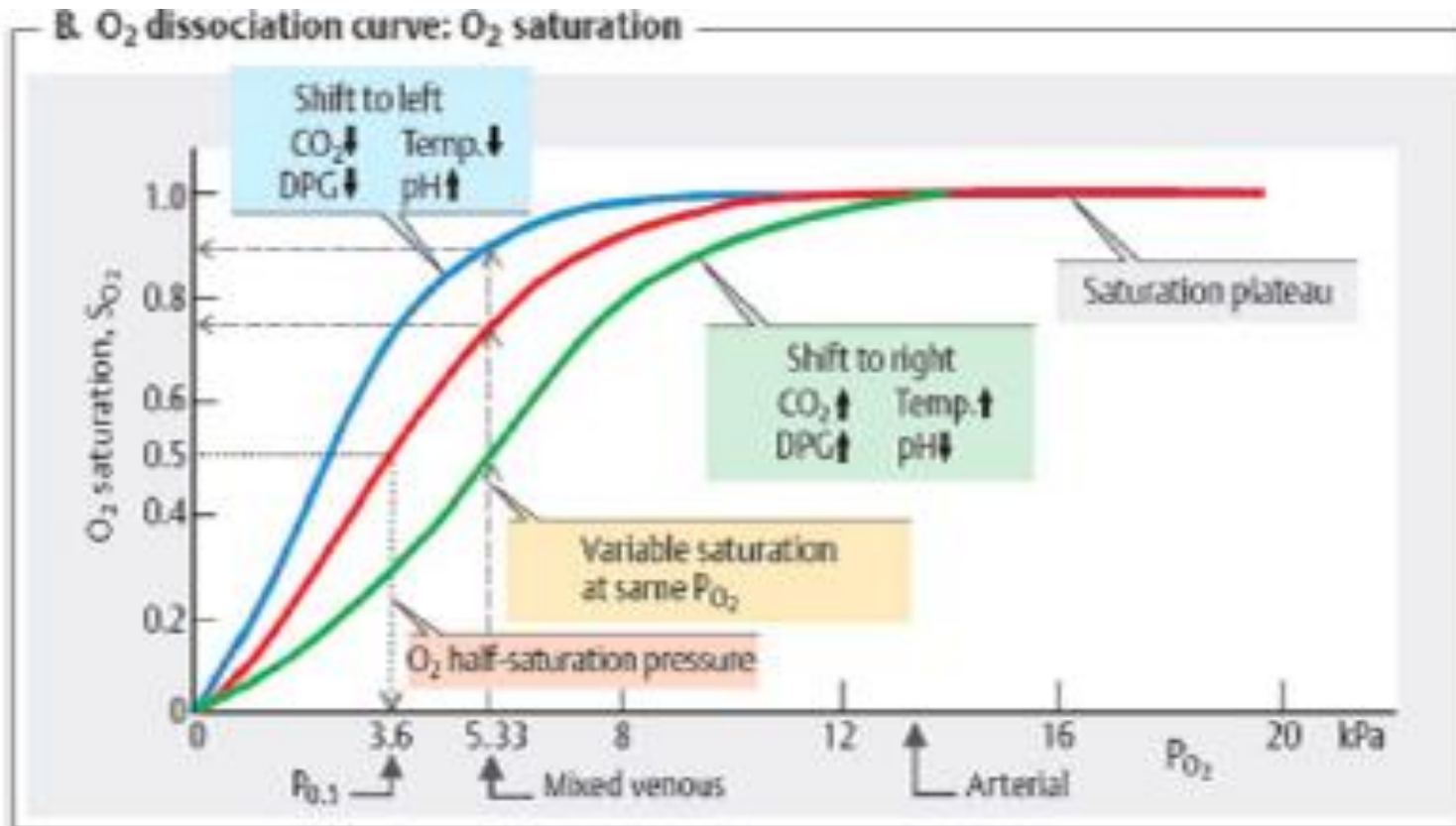
O sangue venoso que chega aos capilares sanguíneos dos pulmões, por sua vez tem PO_2 igual a 40 mmHg e PCO_2 igual a 45 mmHg. Como o PO_2 do ar pulmonar (104 mmHg) é maior que a do sangue dos capilares pulmonares (40 mmHg), ocorre difusão de gás oxigênio do ar pulmonar para o sangue. Por outro lado, como a PCO_2 do sangue dos capilares (45 mmHg) é maior que a PO_2 do ar pulmonar (40 mmHg), ocorre difusão do gás oxigênio do sangue para os pulmões. Ao passar pelos capilares dos tecidos corporais, o sangue cede o gás oxigênio obtido nos pulmões e adquire gás carbônico.

- ✓ A curva de dissociação oxigênio-hemoglobina é afetada por: pH, temperatura, CO_2 e [2,3-difosfoglicerato]

MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO

TRANSPORTE GASOSO (TROCA GASOSA)

✓ A curva de dissociação oxigênio-hemoglobina (*i.e.*, a afinidade entre o O_2 e a Hb) é afetada por: pH, temperatura, CO_2 e [2,3-difosfoglicerato]



A alteração da afinidade do oxigênio pela Hb ocasionada por esses efeitos é representada pelo deslocamento da curva de dissociação da hemoglobina para a esquerda (maior afinidade) ou para a direita (menor afinidade = chamado de efeito Bohr).

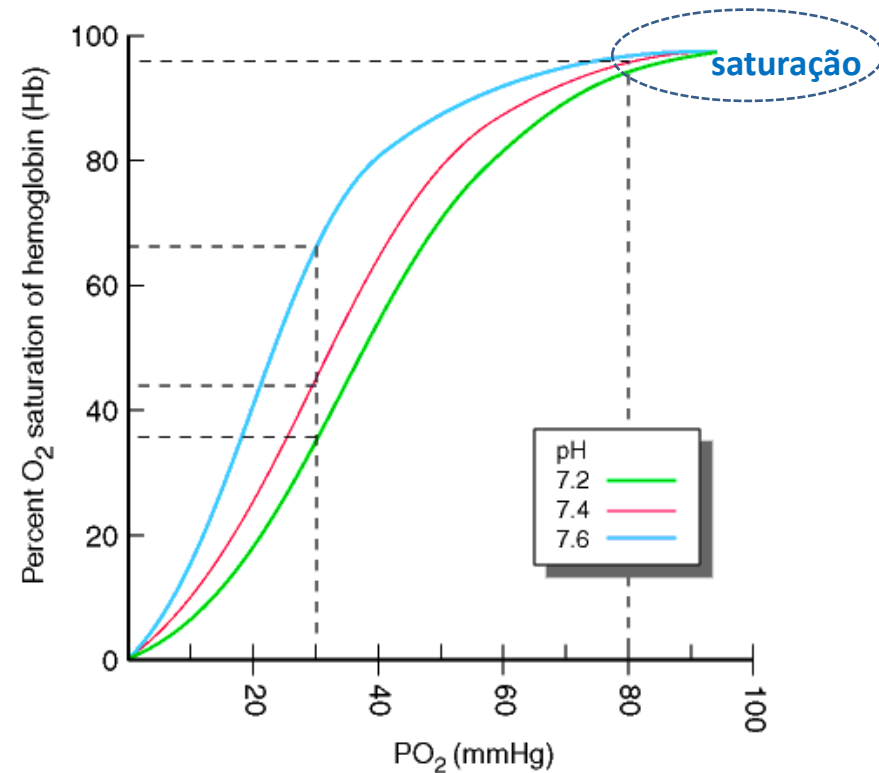
Curva de saturação e dissociação do oxigênio (O_2) em relação aos fatores temperatura, pH, CO_2 e 2,3-DPG.

✓ O deslocamento da curva pode ser mensurado pela medida da pressão parcial de oxigênio que satura 50% da hemoglobina, chamada de P_{50} .

MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO

TRANSPORTE GASOSO (TROCA GASOSA)

✓ A curva de dissociação oxigênio-hemoglobina é afetada por: pH, temperatura e [2,3-difosfoglicerato]



pH do sangue cai (↓) quando o conteúdo de CO₂ aumenta (P_{CO2} ↑)

↓
desvio curva para direita

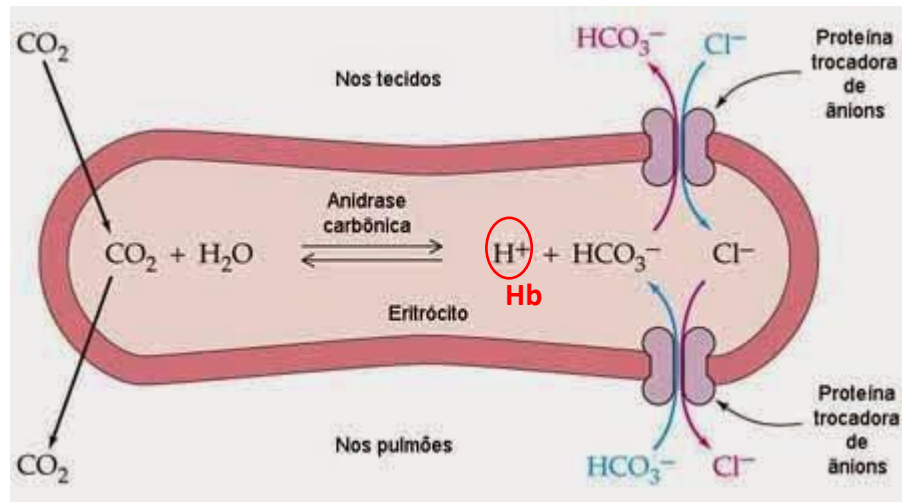
↓
↓ afinidade da Hb pelo O₂
(efeito Bohr)

↓
É necessário uma P_{O2} mais alta para a Hb se ligar a uma quantidade de O₂ (logo ↑P_{50sat})

↓
Razão: desoxiemoglobina (Hb desoxigenada) liga-se a H⁺ mais ativamente que a Hb-oxigenada (oxiemoglobina)

MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO

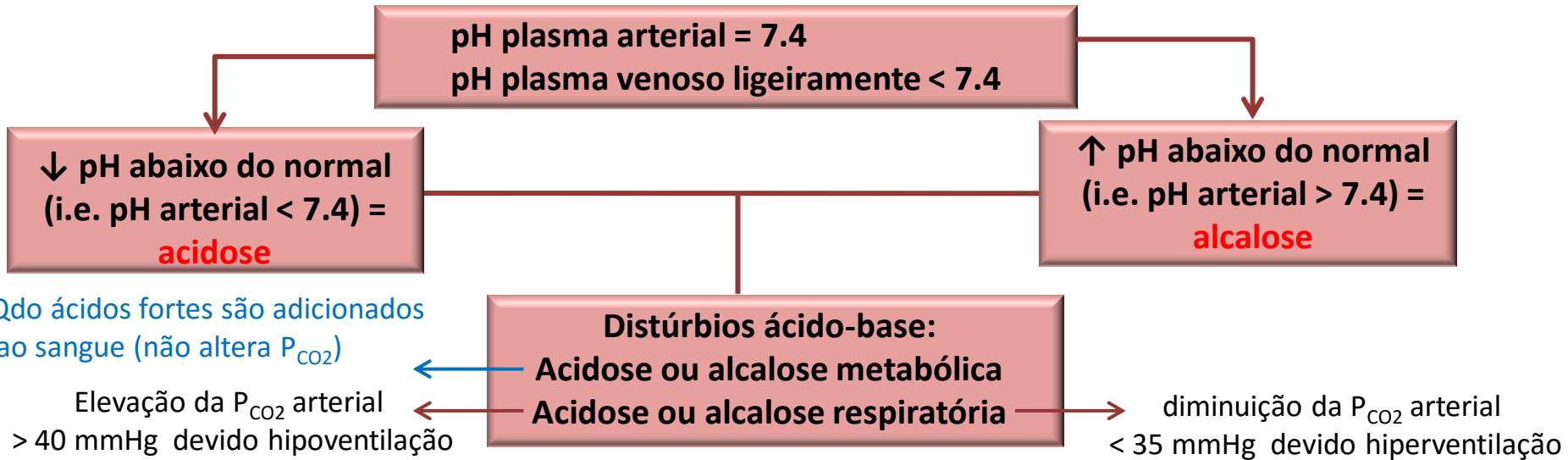
TRANSPORTE GASOSO (TROCA GASOSA): DESTINO DO CO₂ NO SANGUE



- ✓ Solubilidade do CO₂ no sangue é 20 vezes a do O₂, logo mais CO₂ do que O₂ está na forma dissolvida considerando pressões parciais iguais.
- ✓ CO₂ que se difunde para as hemácias é hidratado formando H₂CO₃, via anidrase carbônica.
- ✓ O H₂CO₃ se dissocia em H⁺ e HCO₃⁻. O protón é tamponado pelo Hb. Como a elevação de HCO₃⁻ das hemácias é muito maior que a do plasma, a medida que o sangue passa pelos capilares, ca 70% deste ânion entra no plasma.
- ✓ O HCO₃⁻ em excesso deixa as hemácias em troca de íons cloreto, via proteína trocadora aniônica 1.

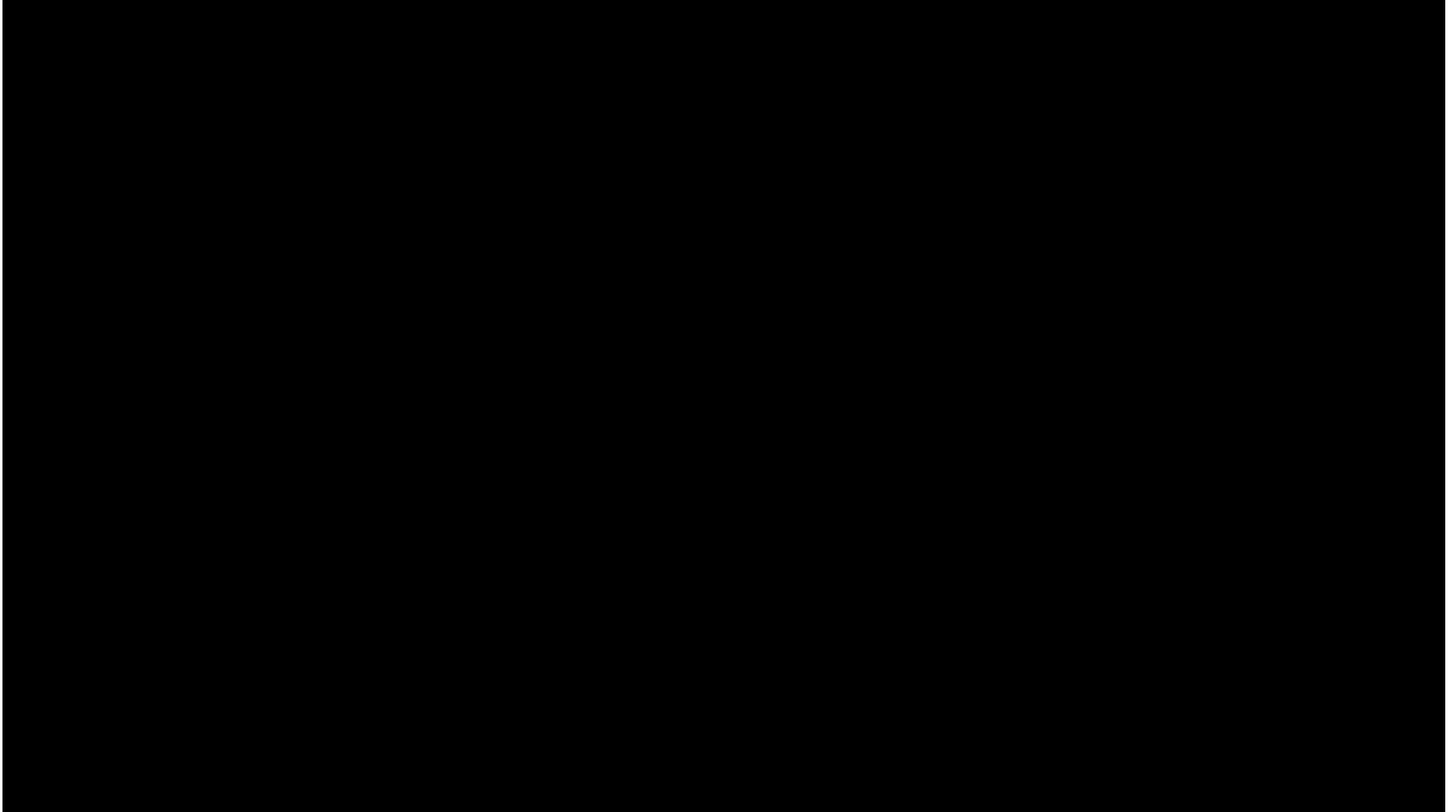
MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO

TRANSPORTE GASOSO (TROCA GASOSA): ACIDOSE & ALCALOSE



Plasma arterial				
condição	pH	HCO_3^- (mEq/L)	P_{CO_2} mmHg)	Causa
Normal	7.4	24.1	40	
Acidose metabólica	7.28	18.1	40	Ingestão de NH_4Cl
	6.96	5.0	23	Acidose diabética
Alcalose metabólica	7.5	30.1	40	Ingestão de $NaHCO_3$
	7.56	49.8	58	Vômitos prolongados
Acidose respiratória	7.34	25.0	48	Respirar CO_2 a 7%
	7.34	33.5	64	Enfisema
Alcalose respiratória	7.53	22.0	27	Hiperventilação
	7.48	18.7	26	≥ 3 semanas em altitude 4000m

FISIOLOGIA RESPIRATÓRIA



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=vIY3AOnqLtk>

Autor: Lisboa Miranda