

SISTEMA RESPIRATÓRIO

FUNÇÕES PULMONARES

Primeiro suprir oxigênio para os tecidos e segundo, remover gás carbônico.

- Hematose
- Filtração do sangue - Relacionar com TEP (abaixo)
- Fonação
- Olfativa
- Defesa contra patógenos
- Regulação da temperatura
- Regulação da PA - (ECA - conversão da angiotensina I pela II)
- Reserva de sangue

OBS: Risco de Tromboembolismo pulmonar (TEP) - Ver trajeto (ex: êmbolo na veia safena, causaria um tep)

DC=Volume de ejeção do sangue/min x Frequência cardíaca

DC -> 70 ml ejetado a cada sístole em repouso x 73 bat = 5L/min

A respiração pode ser dividida em 4 etapas principais:

- 1) **Ventilação pulmonar:** **influxo e efluxo de ar entre a atmosfera e os alvéolos pulmonares** (Volume 500ml em repouso, 6 a 8ml/kg)
- 2) **Difusão:** **oxigênio e dióxido de carbono entre os alvéolos e o sangue** -> Membrana alvéolo pulmonar
- 3) **Perfusão/ transporte de gases:** **Transporte de O₂ e CO₂ no sangue e nos líquidos corporais (do sangue para tecidos)**
- 4) **Regulação da Ventilação:** controle pelo SNC (no bulbo) e SNP (12 a 16 ciclos/min)
 - Alvéolos: Se comunicam entre si pelos **poros de coln e canais de lambert**
 - Sempre que a pressão intralveolar estiver elevado, vai comprimir os capilares alveolares
 - **CLÍNICA:** Ex: *paciente com enfisema pulmonar (perda da elasticidade do alvéolo). Começa a aprisionar ar, já que não tem elastância para retirar o ar por completo. Esse aprisionamento, aumenta a pressão no alvéolo, e os capilares alveolares comprimem mais, isso causa a Hipertrofia do ventrículo direito, aumenta a compressão nos capilares, aumenta a resistência periférica, coração tem que bombear mais.*
Alfa 1 antitripsina: quebram a elastase e a perda da elasticidade aprisiona o ar: enfisema: drogas e toxinas. Assim há compressão dos capilares adjacentes e o ventrículo direito aumenta seu trabalho e pode surgir insuficiência cardíaca direita.

FUNÇÕES DO CONDICIONAMENTO DO AR

- **Nariz:** Passagem do ar, aquecimento, umidificação e filtração do ar (pelas vibrissas)
(As conchas nasais criam uma turbulência do ar que entra em contato com a parede da cavidade nasal)
- **Ventilação pulmonar:** Quantidade de ar que **entra nas vias aéreas** por minuto
- **Ventilação alveolar:** Quantidade de ar que **chega no alvéolos**

VENTILAÇÃO PULMONAR (cap. 37)

A caixa torácica aumenta latero-lateral, antero- posterior, céfalo-caldal.

- **Músculos Inspiratório:** **Diafragma e intercostais externos, respiração Basal.**
 - o **Se forçada:** serrátil posterior superior, serrátil anterior, levantador do lábio superior e asa do nariz, esternocleidomastóideo, peitoral menor, escalenos.
 - (**CLÍNICA:** *quem tem insuficiência respiratoria bate a asa do nariz*)
- **Músculos expiratórios:** **nenhum** (expiração se dá pela **Força elástica passiva**).
 - o **Acessórios:** abdominais e intercostais internos (fibras de posição contrária dos intercostais externos).
 - (**CLÍNICA:** *Enfisema, pessoa magra (astênico), gasto enérgico, precisa fazer força para expirar, contração da musculatura*)
- **Alça de balde** - Elevação lateral das costelas
- **Braço de bomba** - Elevação anterior da caixa torácica
- **Pleura:**
 - o Envelopa os pulmões, duas faces: **parietal e visceral.**

- Entre as duas tem um líquido pleural (20ml) fica no espaço pleural.
 - (Líquido acima de 70ml já diz derrame pleural)
 - O espaço é considerado virtual.
 - A pleura parietal é conectada ao diafragma, quando ele se contrai, faz uma pressão negativa maior da que já existe. E assim o pulmão se expande para baixo e o ar entra nos pulmões.
- (só a pleura parietal é innervada pelos nervo intercostais e frênicos, sensitivamente)

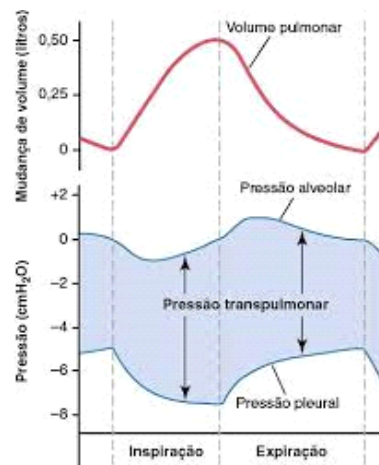
PRESSÃO

Pressão nos vasos:

- Artéria pulmonar:
 - Pressão Sistólica 25mmHg
 - Pressão Diastólica 8 mmHg
 - Pressão MÉDIA na artéria pulmonar: 15mmHG
- Átrio esquerdo: 2mmHg
- - Como os capilares pulmonares são muito pequenos, não conseguia medir a pressão sanguínea neles, logo, entrou em consenso, já que na artéria pulmonar a média é 15, no átrio esquerdo é 2, adotou-se:
 - Capilares pulmonar: 7mmHg

Pressão nos pulmões:

- 300 milhões de alvéolos nos pulmões
- A pressão no espaço pleural é negativa: líquido é constantemente drenado e produzido mantendo a pressão negativa, o líquido é formado pelo interstício. (Pelo sistema linfático)



- **Pressão Pleural:** é a pressão no líquido entre a pleura visceral e a pleura parietal.
 - Início da Inspiração pressão é -5 cmH₂O e no final é -7,5. Na expiração ela começa com -7,5 e volta a -5.
- **Pressão Alveolar:** É a pressão do Ar dentro dos alvéolos.
 - Inicia em 0 pois ainda não a fluxo de ar para dentro, a medida que o alvéolo vai dilatando, a pressão vai para -1cmH₂O, e a medida que vai entrando o ar, a pressão volta para zero. Depois que essas alvéolos estão cheios, começa a expiração, a pressão nesse momento começa a subir e vai de 0 até +1cmH₂O e volta ao final a 0.
- **Pressão Transpulmonar:** é a diferença de pressão entre a alveolar e a pleural.
- Em repouso, pressão 0 nos alvéolos (igual da atm)
- A pressão em repouso é -5 cm de água intrapleural. Essa pressão faz o ar entrar pela diferença de pressão com o meio externo
- Na contração basal ou acessória, diminui a pressão intrapleural, ela cai de -5 para -7,5/8 cm/água. Quando essa pressão fica ainda mais negativa, a parede dos alvéolos é estirada, e cai 1 cm/água, fazendo com que o ar sai da atmosfera e vai para os alvéolos
- Sem contração muscular é impossível chegar ar nos pulmões.
- Quando relaxa, a pressão intrapleural volta a -5, o **recuo elástico comprime os alvéolos**, fazendo com que a pressão alveolar seja +1, forçando o ar a sair.
- Se uma pessoa respira com nariz e boca fechados a pressão pode chegar a -80 ou a +100 mmHg
- (CLÍNICA: Pneumotórax, quando comunica a cavidade pleural com a atmosfera, o ar, sai da atmosfera e vai pra cavidade pleural, tornando essa pressão positiva devida a elastância do pulmão, que faz a compressão deste, impedindo que ele se expanda, é uma doença restritiva)

COMPLACÊNCIA PULMONAR

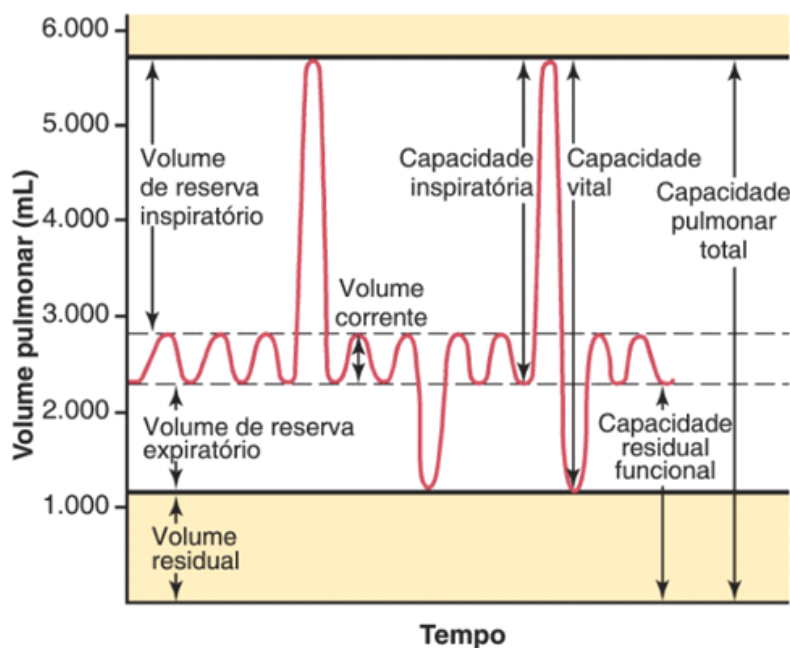
- Grau de extensão dos pulmões por cada aumento de pressão transpulmonar -> 200 ml/cm de pressão de água transpulmonar.
- Ou seja, a cada aumento de 1 cm de água na pressão transpulmonar, o pulmão se expandirá 200 ml.
- Forças elásticas do pulmão:
 1. Força elástica do tecido pulmonar
 2. Força elástica causada pela tensão superficial do líquido que reveste as paredes internas do pulmão.

TENSÃO SUPERFICIAL

- Na superfície interna dos alvéolos, possui moléculas de águas, estas tentam se unir, resultando na tentativa de contrair o alvéolo e enviar o ar para fora, induzindo o colapso destes.
- Para essa tensão não prejudicar os alvéolos, existem 2 tipos de células: Pneumócitos I e II.
- O **Pneumócito tipo II**, produz um líquido rico em lipídeos que evita o colabamento, chamado **de Surfactante**.
- O surfactante é um agente ativo da superfície da água, ou seja, reduz bastante a tensão superficial da água.

VOLUMES

- **Volume Corrente:** **500ml**, ar que **entra e sai dos pulmões** a cada ciclo, em uma respiração tranquila/ basal (6 a 8ml/kg)
 - o De 500ml, **150ml** fica na via condutora de ar (espaço morto), **350ml chega nos alvéolos**.
- **Volume de reserva inspiratória:** volume de ar **que ainda pode ser inspirado após uma inspiração tranquila**, **3000 ml** (Além dos 500 ml)
- **Volume de reserva Expiratória:** ar que consegue expirar com força, após o final da expiração corrente. **1100 ml de ar**. (Além dos 500ml)
- **Volume residual:** Após a expiração forçada ainda restam **1200ml** nos pulmões. **Sempre há ar no pulmão se não ocorrerá colabamento**
- Total: $500 + 3000 + 1100 + 1200 = 5800 \text{ ml}$ -> Aproximadamente **6 litros de ar** podem entrar nos pulmões.



CAPACIDADE PULMONAR

A capacidade Pulmonar pode ser avaliada na espirometria

- **Capacidade inspiratória:** Soma do Volume de **reserva inspiratória + volume corrente = 3.500 ml**
- **Capacidade Residual funcional:** É o volume que aumentado além do volume residual. **Soma do Volume residual (1200) + Volume de reserva expiratória (1100) = 2.300 ml**
- **Capacidade vital:** Quantidade de ar que tem nos pulmões e pode ser exalada ou inalada de forma forçada - **Tira só o residual = 4.600ml**
- **Capacidade pulmonar total:** Soma de todos os Volumes após uma inspiração forçada = **6L (5800ml)**
- **Espaço morto:** área do pulmão que **não participa das trocas gasosas**
 - o Anatômico: Ar que se "perde" no trajeto, Laringe, traqueia, nariz, até chegar aos bronquíolos
 - o Fisiológico ("patológico"): Aumento do espaço morto
- **CLINICA** Indivíduo com **obstrução ao fluxo sanguíneo pulmonar**, o ar pode chegar nos bronquíolos e alvéolos, porém não há troca gasosa, porque não tem sangue para fazer a troca gasosa.
- **CLINICA**
- **Shunt cardíaco:** direito e esquerdo. Distúrbio no coração que **Mistura de sangue arterial e venoso**.
No feto há essa comunicação, pois os capilares pulmonares estão contraídos, pois não chega ar, então há uma comunicação do tronco

pulmonar com a aorta, que permite o sangue não ir todo para esses capilares sanguíneos. Ao nascer, esses fluxo inverte, e o sangue da aorta que tem mais pressão começa a passar nesse canal arterial, que é muito sensível a oxigênio e então começa a se fechar.

- **Shunt Pulmonar: área perfundida (há sangue) e não ventilada**
- **Ventilação Alveolar: 4200ml/minuto** É a quantidade de ar novo que chega nos alvéolos a cada minuto. $(12 \text{ resp/min} \times 350\text{ml})$
- **Resistência da árvore brônquica:** a maior resistência é nos brônquios segmentares
- **Efeito do SNA nos bronquíolos:**
 - o **Simpático: Bronquiodilatação**
 - o **Parassimpática: Bronquioconstrição**
- **Células Ciliares:** Cada célula tem creca de 200 cílios, que tem movimentos. Partícula que entra é deslocada para fora
- **CLINICA:** Metaplasia - modificação celular - Fumantes: Células colunares ciliadas passam a ser escamosas.

CIRCULAÇÃO PULMONAR (cap. 38)

- **Volume sanguíneo nos pulmões 450 ml** (9% do total de sangue corpóreo = Pulmão é reservatório sanguíneo)
- **70 ml localizado nos capilares** pulmonares
- O restante é dividido entre artérias e veias Pulmonares
- Cada tecido regula seu próprio fluxo sanguíneo

OBS: A **gravidade** faz com que a base do pulmão seja mais perfundida que o terço médio e o ápice (na posição ortostática - de pé, deitado é igual) -> **Perfusão maior na base (pressão maior na base)**

Fluxo de sangue pelos pulmões e sua distribuição

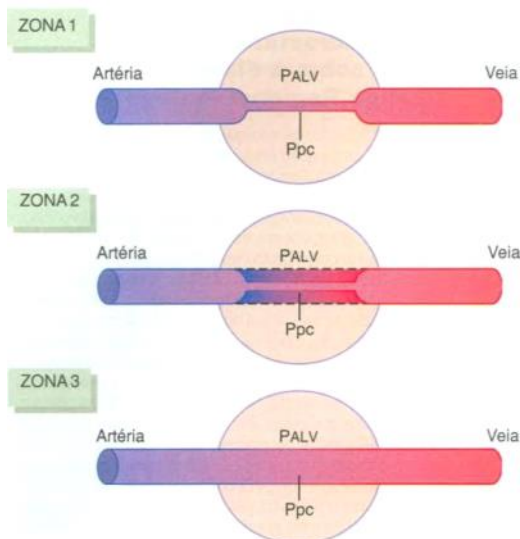
- **No organismos:** Pouco O₂ e muito CO₂ -> Vasodilatação -> Aumenta fluxo, para trazer mais O₂ e levar embora o CO₂. Nos pulmões é diferente:
- **Nas artérias pulmonares:**
 - o **Alvéolo com pouco O₂ -> Vasoconstrição de artérias**, já que tem pouco O₂ para hematose, a vasoconstrição faz com que o sangue seja direcionado para aqueles alvéolos mais ventilados.
 - o **Alvéolo com Muito O₂ -> Vasodilatação de artérias**

(área dos capilares 70m²)

ZONAS DE FLUXO SANGUÍNEO

Zona 1 é patológico e 2 e 3 fisiológico

- **Zona 1:** Ausência de fluxo sanguíneo, durante todas as partes do ciclo cardíaco.
 - o **Patológico de aprisionamento aéreo, retentores de ar.** A pressão intralveolar sempre será maior que os capilares. Pulmão infra insuflado.
 - o **Insuficiência cardíaca** -> não há bombeamento de sangue eficaz, baixa pressão nas artérias
- **CLINICA:** Patologias que causam aprisionamento aéreo. (Enfisema, bronquite crônica)
- **Zona 2:** Fluxo sanguíneo Intermitente
 - o Durante a sístole cardíaca, a pressão sanguínea aumenta e o fluxo também. O vaso dilata e o sangue passa pelos capilares. **A pressão sistólica é maior que a pressão do ar alveolar**
 - o Durante a diástole, a pressão na artéria diminui, o capilar se fecha, pois a pressão é baixa, nesse momento não tem fluxo nos capilares. **A pressão diastólica é menor que a pressão do ar alveolar.**
 - o **Ápice**
- **Zona 3:** Fluxo sanguíneo contínuo
 - o Fluxo passando a todo tempo no capilar, a pressão capilar alveolar, permanece mais alta que a pressão do ar alveolar.
 - o **Base do pulmão e terço médio**
 - o *independente da fase, a pressão dos alvéolos contra a parede dos vasos não interfere no fluxo sanguíneo - fluxo contínuo*
- Na atividade física, a zona 2 torna zona 3, pois aumenta pressão e volume, zona 2 fica com fluxo contínuo.
- Dentro dos vasos pulmonares há 1mmHg a mais que o interstício, permitindo a saída de líquidos dos vasos.



PRESSÃO DOS GASES

- Princípio de Stalin:

- ▶ Forças que tendem a causar influxo de líquido dos capilares na direção do interstícios.
 - **Pressão capilar:** 7mmHg (pressão de saída de líquido do capilar)
 - **Pressão coloidosmótica do líquido intersticial:** 14mmHg (puxa para o interst.)
 - **Pressão negativa do Líq. Intersticial:** 8mmHg (puxa para o interstício)
 - **TOTAL para fora: 29 mmHg**
- ▶ Forças que tendem a causar a absorção de líquidos pelos capilares (do interstício para o capilar)
 - **Pressão coloidosmótica do plasma:** 28mmHg
 - **TOTAL para dentro: 28mmHg**
- ▶ **Resultado:** Pressão de filtração média é **+1mmHg** (tira sangue do capilar)
- Se o líquido ficasse só passando para o interstício, daria um edema. Assim, esse edema é evitado a seguinte forma:
 - Bomba linfática (saída/drenagem pelos vasos linfáticos)
 - Líquido passa para o alvéolo e é evaporado, aquece e umidifica o ar nas vias respiratórias.
- **CLÍNICA:** O aumento da pressão coloidosmótica no interstício causa edema pulmonar;
- Pressão sanguínea alta é relacionada a pressão hidrostática: causa de edemas em hipertensos.

Lembrar que quando nos exalamos nos misturamos os gases provenientes do metabolismo + do espaço morto.

DIFUSÃO GASOSA (cap. 39)

Após a Ventilação, a próxima etapa é a difusão do oxigênio dos alvéolos para o sangue

- Gás -> Região mais concentrada para menos concentrada

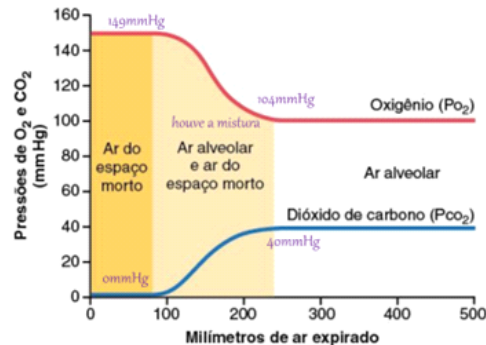
- **Pressão parcial dos gases:** Pressão exercida por determinado gás, contra as paredes do "recipiente" que está esse gás. (PO_2 , PCO_2)
- **Lei de Henry:** Quanto mais solúvel um gás, menor sua pressão parcial e vice e versa. (PCO_2 é muito menor que pO_2 , já que o CO_2 é mais solúvel)

$$\text{Pressão parcial} = \frac{\text{Concentração de gás dissolvido}}{\text{Coeficiente de solubilidade}}$$

Tabela 40-1 Pressões Parciais dos Gases Respiratórios (em mmHg) quando Entram e Saem dos Pulmões (ao Nível do Mar)

	Ar Atmosférico		Ar Umidificado		Ar Alveolar		Ar Expirado	
N_2	597	(78,62%)	563,4	(74,09%)	569	(74,9%)	566	(74,5%)
O_2	159	(20,84%)	149,3	(19,67%)	104	(13,6%)	120	(15,7%)
CO_2	0,3	(0,04%)	0,3	(0,04%)	40	(5,3%)	27	(3,6%)
H_2O	3,7	(0,5%)	47	(6,2%)	47	(6,2%)	47	(6,2%)
Total	760	(100%)	760	(100%)	760	(100%)	760	(100%)

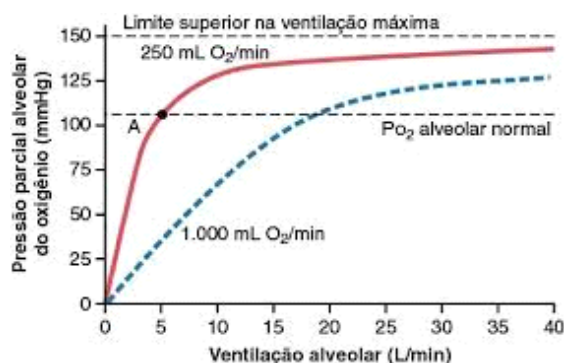
- **Pressão de O₂**
 - o Espaço Morto: PO₂ **149mmHg**
 - o Alvéolo: ela cai para **104 mmHg** (cai pela mistura de gases que já existiam nos pulmões)
 - o Ar exalado: Sai do alvéolo de 104 e mistura com o gás do espaço morto que tem pressão de 149, então sai com a pressão parcial pO₂ **120mmHg**
- **Pressão CO₂**
 - o Entra (atm) **0,3 mmHg**
 - o No alvéolo aumenta para **40mmHg**
 - o Ao sair, diminui para **27 mmHg**.



- **Pressão parcial de O₂ no sangue:**
 - o **PaO₂ venoso** é de **40mmHg** chega nos alvéolos e passa pelo capilar perialveolar (104)
 - o **PO₂ sangue arterial** **104** -> **95mmHg** (cai de 104 para 95/97 **Shunt**)
- **Pressão parcial de CO₂ no sangue:**
 - o PaCO₂ (na ATM é 0,3mmHg), no
 - o **Sangue arterial** é de **35 a 45mmHg** (considerar média de **40mmHg**)
 - o **Sangue venoso** é **45mmHg** (pouca diferença se considerar o sangue arterial), a pressão parcial no alvéolo é de 40mmHg (igual ao sangue arterial) por isso após a difusão fica 40mmHg, pois o CO₂ passa para os alvéolos e iguala a pressão.
- **Gás é trocado lentamente nos alvéolos** -> Para evitar mudanças repentinas de concentração de gases no sangue e evitar o aumentos e quedas excessivas da oxigenação tecidual, da concentração tecidual de CO₂ e pH do sangue.
- **Desvio/Derivação pulmonar:** 150ml de sangue/minuto que irriga os brônquios/parênquima pulmonar pelas artérias brônquicas, ele não participa das trocas gasosas e se mistura com o sangue arterial. Ele cai direto nas veias pulmonares e mistura com o sangue que acabou de ser oxigenado pelos pulmões. Isso faz com que o sangue tenha uma queda de pressão. Ele faz a troca gasosas com a pressão de 104mmHg e com isso cai para 95/97 mmHg. (**SHUNT**)
- **DPOC causa hipercapnia** pois pelo aprisionamento de ar causa o acúmulo de CO₂ no alvéolo e também no sangue, já que a pressão parcial de CO₂ no sangue para acontecer difusão deve ser igual ou maior no sangue, para que possa passar ao alvéolo.
- **Se fizer uma lavagem pelo aumento da respiração (hiperventilação), o indivíduo perde CO₂ e portanto a quantidade de CO₂ do sangue arterial também diminui** pois elas devem ser iguais (por causa da difusão, que se iguala).
- **VENTILAÇÃO EM MÉDIA: 4,2 L/min**
- **Durante a atividade aumenta a FR para manter a pressão de 104 no alvéolo, pois há o aumento de O₂.**

CONCENTRAÇÃO DE O₂ E PRESSÃO PARCIAL NOS ALVEÓLOS

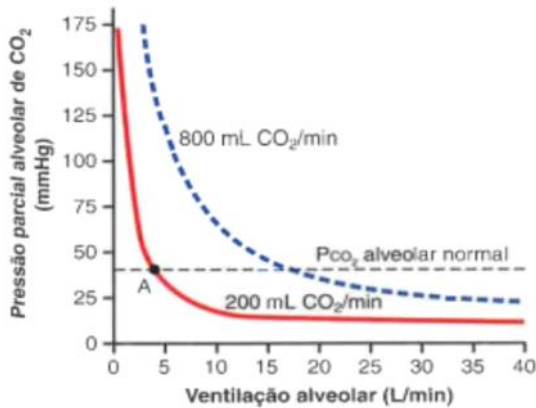
- A concentração do oxigênio nos alvéolos e também sua pressão são controlados por 2 mecanismos:
 - o Pela Intensidade de **absorção de oxigênio pelo sangue** (+ sangue, + O₂ passa)
 - o Pela Intensidade de entrada de novo oxigênio nos pulmões pela **ventilação**. (+ventilação + O₂ passa)



- **Na linha vermelha:** Para uma absorção de O₂ de 250mL/min, na ventilação média de 4,2L/min, tem-se pO₂ de 104mmHg, ou seja, o ponto operacional normal. Outro ponto é que mesmo que aumente a ventilação, nunca consegue aumentar a pressão parcial de O₂ (PO₂) ACIMA DE 149mmHg (considerando a nível do mar, pois é a pressão máxima do oxigênio no ar)
- **Na Linha Azul:** Para uma absorção de O₂ de 1000mL/min (ex: atividade física moderada), em uma ventilação normal de 4,2 L/min, a pressão alveolar fica muito baixa, por isso o indivíduo hiperventila, pra manter a pO₂ alveolar normal, de 104 mmHg.

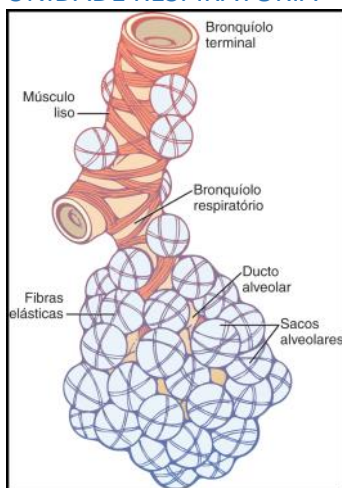
CONCENTRAÇÃO DE CO₂ E PRESSÃO PARCIAL NOS ALVEÓLOS

- o A PCO₂ alveolar **aumenta diretamente na proporção da excreção de Dióxido de carbono**
- o A PCO₂ alveolar **diminui na proporção inversa da ventilação alveolar**



- **Na linha vermelha:** Para uma excreção de CO₂ de 200mL/min, na ventilação média de 4,2L/min, tem-se pO₂ de 40mmHg ou seja, o ponto operacional normal. O Aumento da ventilação Diminui a pressão parcial alveolar de CO₂.
- **Na Linha Azul:** Em uma situação de alta excreção de CO₂, eu preciso de hiperventilar para manter a pressão de CO₂ alveolar.
- **Diferença de altitude:** A fração inspirada é igual.

UNIDADE RESPIRATÓRIA



MEMBRANA AVÉOLO-CAPILAR

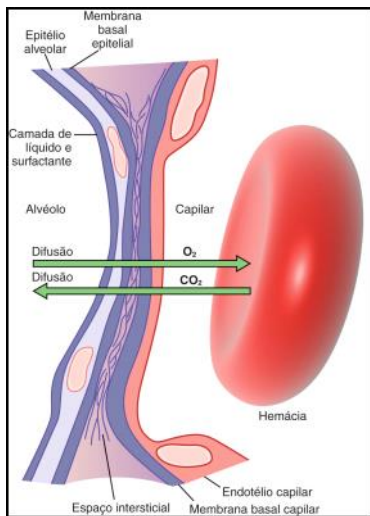
6 Camadas alveolo-capilar (hemácia):

- 1) surfactante
 - 2) epitélio alveolar
 - 3) membrana basal alveolar
 - 4) interstício
 - 5) membrana basal endotelial (dos capilares)
 - 6) endotélio capilar
- 7ª Camada que não é considerada por toda literatura: **Plasma**

Fatores que **afetam a intensidade da difusão:**

- o Espessura da membrana (Ex: se tem liquido de edema, aumenta a espessura, fibrose nos pulmões)

- Área superficial da membrana (*enfisema destrói parede de alvéolos, coalescem*)
- Coeficiente de difusão da transferência de cada gás (*Constante -> CO₂ difunde muito mais rápido*)
- Diferença de pressão (*do gás nos alvéolos e do gás no sangue dos capilares -> maior pressão de um lado, passa mais rápido*)
- Se há água nos pulmões a membrana alvéolo-capilar será mais espessa e terá menor difusão de O₂ e CO₂ - **Aumenta espessura**
- **Proteinúria:** sangue com menor pressão coloidosmótica e assim terá maior perda de líquido para o interstício e assim a camada de interstício da membrana alveolar também será maior, mais espessa (**edema**) .



Capacidade de difusão da membrana respiratória

- Homem jovem a capacidade de difusão do O₂ é: 21ml/min/mmHg
- Durante atividade física, aumenta para: 65ml/min/mmHg
- Fatores: Abertura de muitos capilares pulmonares "adormecidos" ou aumento da dilatação daqueles já abertos e aumento da proporção ventilação-perfusão

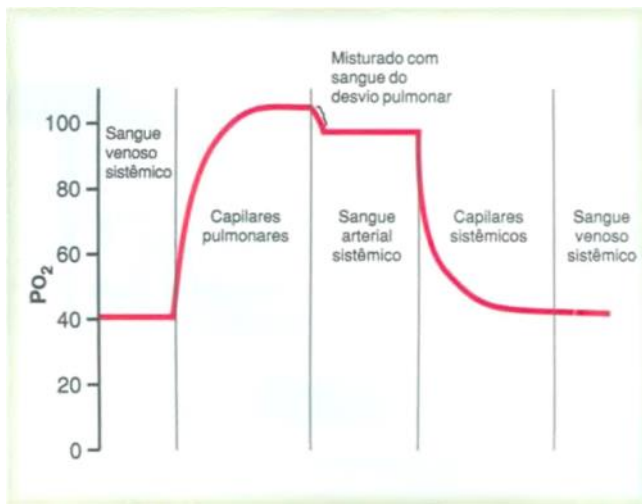
Proporção ventilação-perfusão (V_a/Q)

- V_a = Ventilação
- Q = Perfusão (fluxo sanguíneo)
- **V_a normal e Q normal -> V_a/Q = NORMAL**
 - PCO₂ = 104 e PO₂ = 40 mmHg
- **V_a = 0 e Q normal -> V_a/Q = ZERO (0)**
 - PO₂ continua 40 mmHg, que é o valor que chega do sangue venoso e PCO₂ 45 mmHg chegando também do sangue venoso
- **V_a = Normal e Q = 0 -> V_a/Q = INFINITA**
 - PO₂ 149 mmHg do ar que está chegando e PCO₂ = 0 mmHg (ar inspirado) , já que não está tendo troca.
- Proporção 0 e INFINITA -> **Não há troca gasosa**

TRANSPORTE DE OXIGÊNIO E DIÓXIDO DE CARBONO NO SANGUE E NOS LÍQUIDOS TECIDUAIS (Cap. 40)

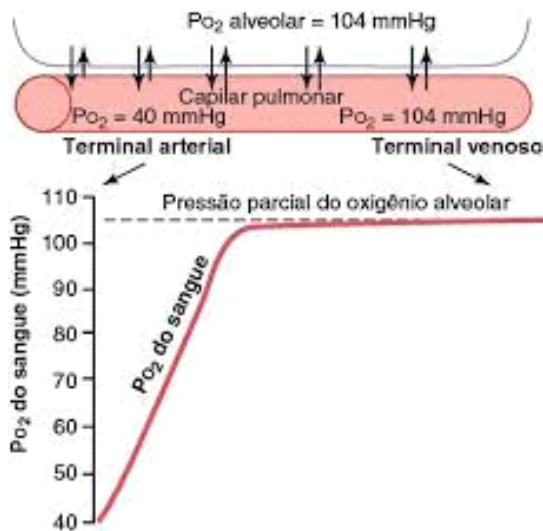
TRANSPORTE DE OXIGÊNIO

- O oxigênio se difunde dos alvéolos para o sangue dos capilares pulmonares porque sua pressão parcial nos alvéolos é maior, e do sangue para os tecidos porque a PO₂ do sangue é maior.
- O oxigênio é transportado nas **hemácias (97%)** (*liga frouxamente na hemoglobina*), ou **dissolvido (3%)**.



Do Alvéolo para o capilar alveolar

- PO_2 do sangue venoso é 40mmHg, pois deixou oxigênios nos tecidos e do alvéolo 104mmHg
- Essa diferença de pressão (104 e 40) faz com que o oxigênio se difunda para os capilares

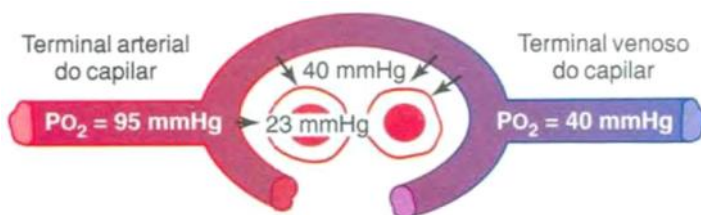


Do capilar para o Líquido tecidual

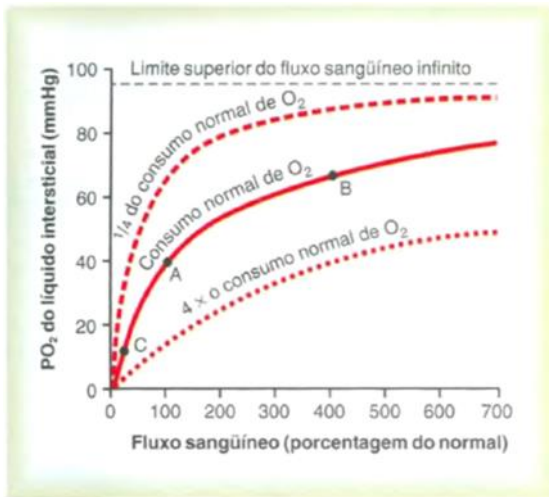
- PO_2 tecidual é cerca de 40mmHg
- Diferença de pressão: 95-40mmHg

Do interstício para a célula

- PO_2 Celular é cerca de 23mmHg
- Diferença de pressão: 40-23mmHg

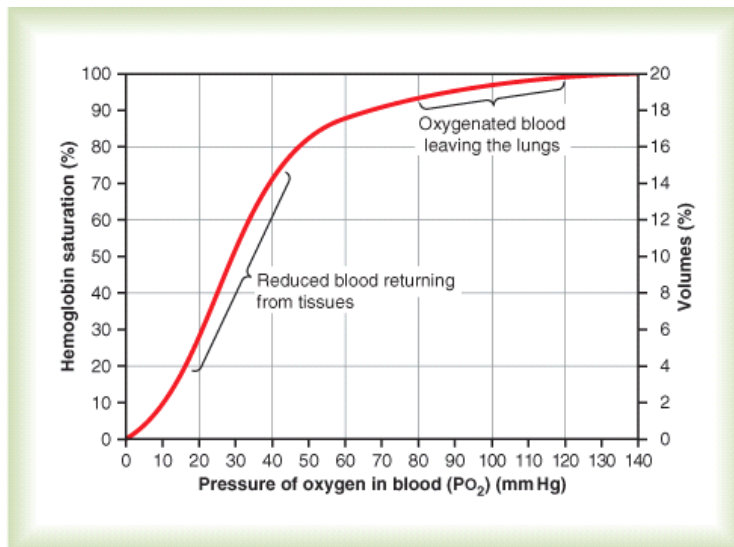


- **Pressão parcial de oxigênio nos tecidos pode ser determinada por:**
 - o **Intensidade de transporte de oxigênio para os tecidos (fluxo):** Se aumenta o fluxo, aumenta a quantidade de O_2 transportada para os tecidos, e aumenta a pressão parcial ali no líquido intersticial, mas até o limite de 95mmHg
 - o **Intensidade da Utilização do O_2 pelos tecidos:** Se aumenta o gasto de O_2 , ocorre a redução da pressão parcial no líquido intersticial. E vice e Versa, PO_2 elevada quando o gasto diminui.



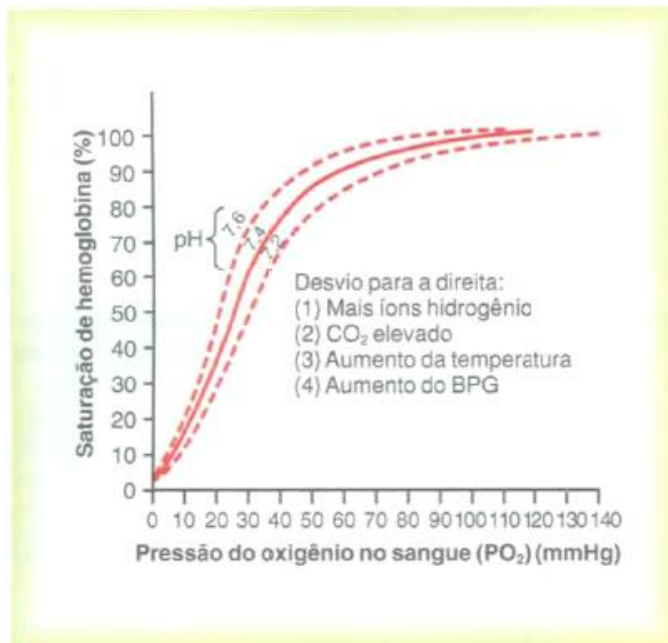
Curva de dissociação de Hemoglobina

- O_2 liga-se frouxamente na hemoglobina -> **PO_2 alto O_2 liga-se na hemoglobina, PO_2 baixo como nos tecidos, se solta.**
- Cada 100ml tem 15g de hemoglobina
- Cada Grama de hemoglobina **carrega 1,34ml de oxigênio (20ml a cada 100g = 20%)**



© Elsevier. Guyton & Hall: Textbook of Medical Physiology 11e - www.studentconsult.com

- **Saturação:** Percentual de hemácias Transportando O_2 (normal=90 a 100%)
- pO_2 Sangue arterial: 95mmHg
- *Segundo o gráfico, e considerando 100ml de sangue: **O sangue arterial com pO_2 de 95mmHg, carrega 20 ml (ou 20%) de oxigênio, quando o sangue é venoso, e passa oxigênio para os tecidos, ele passa a ter 14,4ml de O_2 , ou seja, **deixa cerca de 5 ml nos tecidos a cada 100ml de sangue.*****
- Hemoglobina funciona como um **tampão**, regulando a quantidade de sangue que é deixada nos tecidos.
- Desvio:



(+ CO₂ -> aumenta H⁺ -> Diminui pH)

- **Fatores que aumentam a dissociação do O₂ com a hemoglobina (IMPORTANTE)**

- Aumento de H⁺:** O aumento de H⁺ diminui o Ph do sangue, causando acidose, e para equilibrar o ph novamente precisa do O₂ -> vai ser liberado mais O₂ pela hemoglobina.
- Aumento de CO₂:** (efeito Bohr -> Aumento de CO₂ no sangue -> aumenta a concentração de H₂CO₃ (ácido carbônico) e H⁺ -> diminui o ph -> liberação de O₂ pela hemoglobina para aumentar o ph novamente e evitar acidose)
- Aumento da temperatura:** A alta temperatura tende a **separar as ligações**, como ocorre em processos inflamatórios. Assim, há um aumento do desprendimento do O₂ na hemoglobina.
- Aumento do BPG (2,3- bifosfoglicerato):** O bifosfoglicerato é um composto presente na hemoglobina e faz a redução da afinidade do O₂ com o grupo heme, por isso a reação é reversível.
 - Aumento do BPG -> reduz a afinidade -> **maior liberação de O₂**
 - O mecanismo dele pode ser importante na **adaptação da hipóxia**, onde ocorre um **aumento de BPG** especialmente aquela causada por fluxo tecidual deficiente.

Em Situação de exercício:

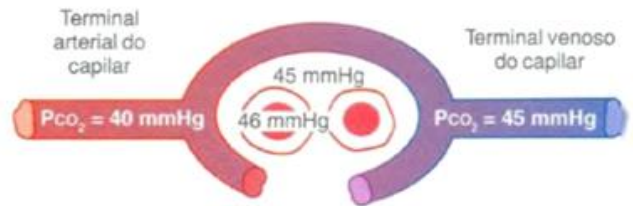
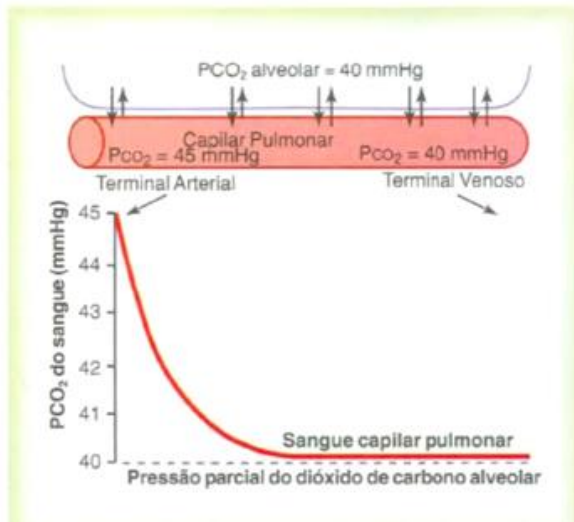
- Aumenta o metabolismo do tecido -> aumenta aporte de O₂ -> **aumenta o CO₂** -> desvia a curva para a direita
- Libera ácido láctico -> **mais H⁺ no sangue** -> desvia curva para a direita
- Aumento da temperatura** -> diminui afinidade com a hemoglobina -> desvia a curva para a direita

- **Efeito Bohr detalhado:** nos tecidos em que há produção de CO₂ para o sangue o mesmo quando liberado no sangue forma ácido carbônico e consequente formação de H⁺, essa acidez **aumenta a dissociação do oxigênio da hemoglobina deixando-o mais disponível para os tecidos**. Já nos pulmões há a perda de CO₂ do sangue para os alvéolos, consequente desvio para a esquerda, já que diminui a quantidade de H⁺, deixando o sangue mais alcalino e aumentando a captação de oxigênio pela hemoglobina.

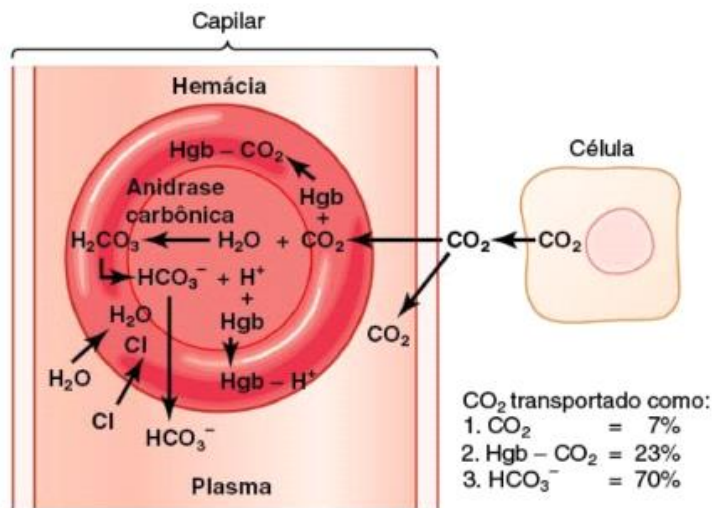
Transporte de O₂ durante o exercício físico

- Aumento o metabolismo**, células utilizam mais O₂, e a **pressão de O₂ do líquido intersticial** cai de 40 para valores até de **15mmHg**.
- De acordo com o Gráfico de saturação, quanto mais cai a pressão, menor é a saturação de hemoglobina, logo mais O₂ foi deixado no tecido.
- Ex: Saturação de 97% ao deixar os alvéolos, carrega cerca de 20ml de O₂, com a pO₂ de 15mmHg, a saturação é de aproximadamente 15%, carregando apenas 4,4 ml de O₂, sinal que deixou nos tecidos cerca de 15 ml, a cada 100ml de fluxo de sangue. Sendo que em condições normais é deixado cerca de 5ml a cada 100ml de fluxo sanguíneo.
- Débito cardíaco** aumenta cerca de 6x -> aumentando também o transporte de O₂.

TRANSPORTE DE CO₂

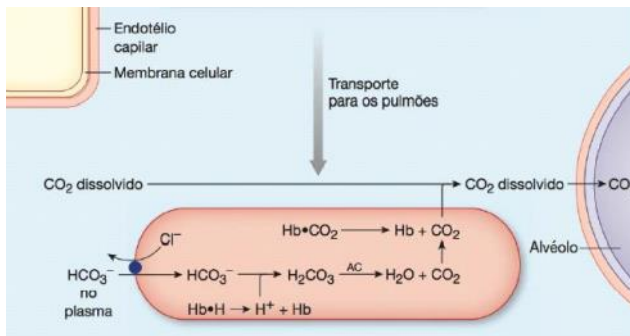


- O Dióxido de carbono, consegue difundir bem mais rápido que o O₂, por isso a baixa diferença de pressão (45-40=5mmHg)
 1. Da célula para o interstício: 46-45 mmHg
 2. Do Interstício para o capilar: 45-40mmHg -> Sangue venoso se iguala e fica com PCO₂ de 45mmHg
 3. Do Capilar para os pulmões: 45-40mmHg
- **Ao Contrário do oxigênio, se há um aumento do fluxo sanguíneo, a pressão parcial de CO₂ no líquido intersticial diminui (lava CO₂), e se há uma redução no fluxo sanguíneo, aumenta a PCO₂.**
- **Se aumenta o gasto metabólico, a PCO₂ do líquido intersticial aumenta e se diminui o gasto metabólico, diminui a PCO₂**
- O CO₂ é transportado de 3 formas:
 - o Dissolvido no **plasma 7%**
 - o Na **forma de bicarbonato 70%**
 - o Na **hemoglobina 23%** (Carbamina-hemoglobina)
- **Na forma de Bicarbonato:** CO₂ entra na célula -> Junta com a água e Forma ácido carbônico (auxílio da anidrase carbônica) -> Dissocia em H⁺ e HCO₃⁻ -> Hemácia fica mais ácida e diminui afinidade por O₂ -> Bicarbonato sai (70% no plasma), é trocado por íon cloreto (Desvio de cloreto).
- A hemoglobina faz a remoção do H⁺ que ficou na célula -> Hb.H (*evita excesso de H⁺ e acidose respiratória*)



ura 41-13. Transporte de dióxido de carbono no sangue.

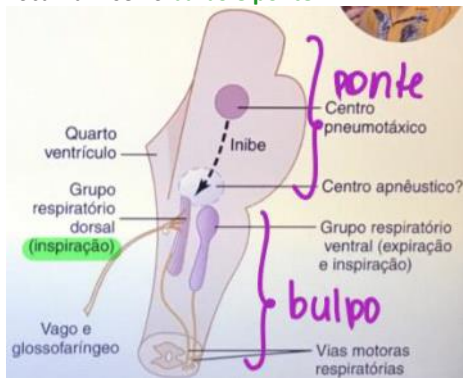
Remoção de CO₂ nos pulmões



- **O efeito Haldane** é o contrário do **Bohr**, é o aumento da tendência do dióxido de carbono de deixar o sangue conforme aumenta a saturação da hemoglobina pelo oxigênio.
 1. Mais O₂ na hemoglobina, torna ela mais ácida, quanto mais ácida menos ela combina com CO₂.
 2. Maior acidez da hemoglobina, ela libera mais H⁺ que se liga aos íons bicarbonato, para formar ácido carbônico que dissocia em água e CO₂, e o CO₂ é liberado nos alvéolos.

CONTROLE RESPIRATÓRIO (Cap. 41)

- **Centro respiratório**: 4 grupos neuronais - **3 de funções primordiais para a respiração** e 1 para momentos de apneia (centro apnêustico).
- Localizam-se no **bulbo e ponte**



- 1 - **Grupo respiratório dorsal**: porção dorsal do bulbo: **INSPIRAÇÃO** - (inspiração tranquila, trabalha sozinho, insp. Forçada tem ação do grupo ventral)
- 2 - **Grupo respiratório ventral**: Encarregado basicamente da **EXPIRAÇÃO forçada** e **inspiração forçada** (com Dorsal) -> (respiração basal: praticamente inativo)
- 3 - **Centro Pneumotáxico**: **controle da FR e amplitude respiratória**. (Ponte)

Grupo Respiratório Dorsal

- Se situa no interior do núcleo do trato solitário (NTS),
- Desempenham papéis relevantes no controle respiratório.
- O NTS corresponde à **terminação sensorial dos nervos vago e glossofaríngeo, que transmitem sinais sensoriais para o centro respiratório** a partir de
 1. Quimiorreceptores periféricos;
 2. Barorreceptores;
 3. Vários tipos de receptores nos pulmões.

Essas estruturas são sensíveis as variações de CO₂ e O₂ -> **Muito CO₂ Inspira mais (lavar CO₂) , Pouco CO₂, Diminui a FR para reter mais.**

- **CO₂ estimula diretamente o grupo respiratório dorsal**
- **O₂ e pH estimula os quimiorreceptores periféricos**

▶ Descargas Inspiratórias rítmicas:

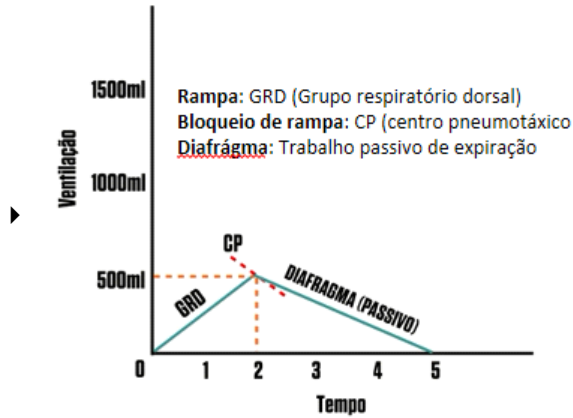
- O ritmo básico respiratório é gerado principalmente no grupo respiratório dorsal. Esse grupo de neurônios **gera repetitivos potenciais de ação neuronais inspiratórios**. (12-20/min) (por isso a gente respira em um ritmo e não tem que pensar em respirar)
- O sinal nervoso motor, transmitido para os músculos inspiratórios, principalmente para o diafragma, não representa surto instantâneo dos potenciais de ação

▶ Sinal Inspiratório em "Rampa":

Respiração basal:

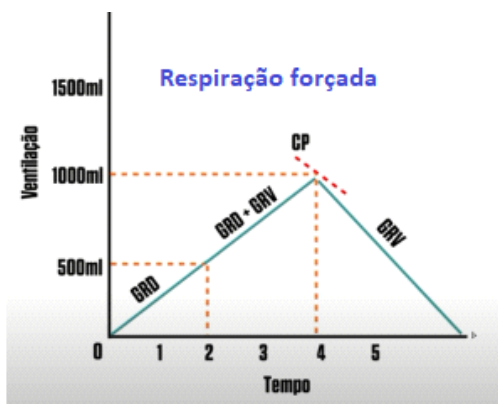
- Na respiração normal é enviado sinal para o diafragma contrair, esse sinal exibe início débil com elevação constante, na forma de rampa por cerca de **2 segundos**.
- Então, **o sinal apresenta interrupção abrupta (Pelo Centro pneumotáxico)** durante aproximadamente os **3 segundos seguintes**, o

que desativa a excitação do diafragma e permite a **retração elástica dos pulmões e da parede torácica**, produzindo a expiração.



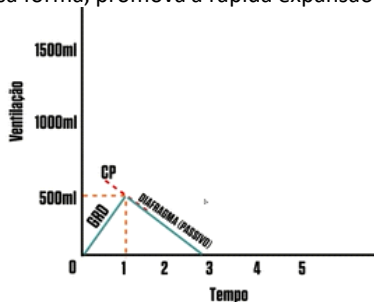
Respiração forçada

- Na inspiração forçada o **GRDorsal** auxilia com 500 ml de ventilação -> pede ajuda para o **GRVentral** -> contribui com os ml adicionais (parte forçada) -> depois acontece o **bloqueio pelo CP**. (Dura + de 2 segundos)
- Na expiração forçada Agora, não é mais o diafragma que relaxa de forma passiva, haverá a **participação dos músculos da expiração, por estímulo do GRVentral**: M. Intercostal interno e reto abdominal



Controle da "Rampa":

1. Controle da velocidade do aumento do sinal em rampa, de modo que durante respiração mais intensa a rampa eleva com rapidez (<2s) e, dessa forma, promova a rápida expansão dos pulmões.



2. Controle do ponto limítrofe da interrupção súbita da rampa, que é o método usual de controle da frequência respiratória; ou seja, quanto mais precocemente a rampa for interrompida, menor será a duração da inspiração. Esse método também reduz a duração da expiração. Por conseguinte, há aumento da frequência respiratória

Grupo Respiratório Ventral

- Os neurônios desse grupo permanecem quase totalmente inativos durante a respiração normal e tranquila.
- Parecem não participar da oscilação rítmica básica responsável pelo controle da respiração
- Quando o impulso respiratório tende para que o aumento da ventilação pulmonar fique acima do normal, **os neurônios do centro dorsal ativam ele, e em uma respiração forçada, trabalham juntos.**

Centro Pneumotático

- O CENTRO PNEUMOTÁTICO **LIMITA A DURAÇÃO DA INSPIRAÇÃO E AUMENTA A FREQUÊNCIA RESPIRATÓRIA**
- A função do centro pneumotático é basicamente a de **limitar a inspiração**, que adicionalmente apresenta o efeito secundário de aumento na frequência respiratória, já que a limitação da inspiração também reduz a expiração e o ciclo total de cada movimento

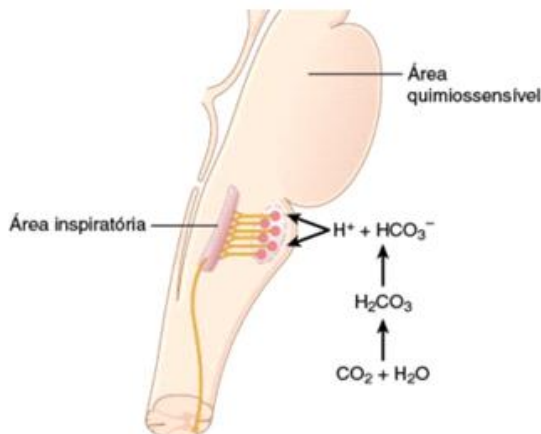
respiratório. Sinal pneumotáxico intenso pode elevar a frequência respiratória para 30 a 40 movimentos respiratórios por minuto, enquanto um sinal pneumotáxico débil pode reduzir a frequência para apenas 3 a 5 movimentos respiratórios por minuto.

- **Reflexo de Hering Breuer**: quando os pulmões são **excessivamente insuflados**, os receptores de estiramento, presente nas porções musculares dos brônquios, ativam resposta de feedback apropriada que **“desativa” a rampa inspiratória** e, conseqüentemente, **interrompe a inspiração**. Ou seja, atua no controle da frequência respiratória, evitando que o pulmão insufla excessivamente.

(Em seres humanos, o reflexo de Hering-Breuer provavelmente não é ativado até que o volume corrente aumente para valor superior a três vezes o normal (> que cerca de 1,5 litro por movimento respiratório))

Área Quimiossensível do Centro respiratório

- Área Situada Bilateralmente que se encontra apenas 0,2 mm da superfície ventral do bulbo
- Essa área é **sensível às alterações sanguíneas de PCO₂ (indiretamente)**, ou da **concentração de íons H (diretamente)**. tal área estimula outras porções do centro respiratório.
- **Íons H⁺ não ultrapassam a barreira hematoencefálica, mas age diretamente na área quimiossensível. CO₂ ultrapassa, mas age indiretamente.**
- **O CO₂ em excesso e a água ultrapassam a barreira hematoencefálica, faz reação com a água, formando ácido carbônico, que se dissocia em H⁺ e bicarbonato, o H⁺ no SNC, se conecta aos neurônios da área quimiossensível, e manda sinal para o grupo respiratório Dorsal, para ventilar mais.**



ATENÇÃO:

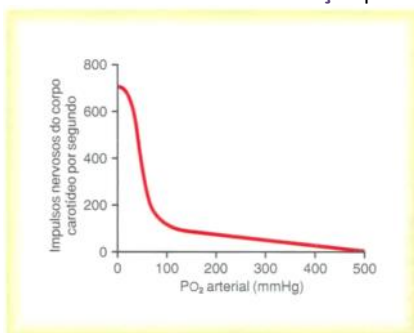
- **Diminuição de O₂** estimula os **quimiorreceptores periféricos, nos corpos carotídeos e aórticos** (não atua diretamente no centro respiratório)
- **Aumento de CO₂** estimula os **quimiorreceptores periféricos e centrais (área quimiossensível do CR)**

► Efeito estimulatório reduzido do CO₂ após os 2 primeiros dias:

- A variação da concentração sanguínea do CO₂ **exerce potente efeito agudo** sobre o controle da atividade respiratória, mas somente **fraco efeito crônico após alguns dias de adaptação**
- E o **principal agente** por essa redução da estimulação **são os rins**, que reajustam a concentração de H⁺ no sangue pelo mecanismo:
- Após 2 dias -> rins aumenta a **produção de bicarbonato** -> se difunde pela barreira hematoencefálica e hematoliquórica -> se une ao H⁺ -> neutraliza as cargas de positivas

Controle por quimiorreceptores periféricos

- Em diversas áreas externas do cérebro existem os quimiorreceptores que detectam principalmente as **variações sanguíneas de O₂ (com maior relevância) e CO₂**, transmitindo sinais neurais para o centro respiratório encefálico como resposta.
- **Redução do Oxigênio arterial** estimula os Quimiorreceptores periféricos, uma vez que eles estão localizados nas artérias aorta e carótida:
 - Falta de O₂ -> ativa os quimiorreceptores -> levam sinais para o bulbo -> ativa o grupo respiratório dorsal (GRD) -> provoca **aumento da ventilação** para regular a PO₂ (como em situação de exercício por exemplo).



Fenômeno de aclimação

- Os alpinistas verificaram que, ao escalarem a montanha, por dias (e não por horas), apresentavam respiração muito profunda, e assim, conseguiram suportar bem as concentrações de O₂ baixas no ar atmosférico -> fenômeno chamado de aclimação.

- A causa desse fenômeno se deve que **depois de 2 a 3 dias**, o **centro respiratório no tronco cerebral perde sua sensibilidade** às **alterações de PCO₂ e dos íons hidrogênio**, assim a ventilação alveolar aumenta (de 400 a 500%) para compensar a redução do O₂, colaborando imensamente com o suprimento adicional de O₂ para os alpinistas.

pH do sangue

- Ph do sangue arterial: **7,35 a 7,45** (levemente alcalino)
- Abaixo ↓ - **acidose**
- Acima ↑ - **alcalose**
- Acidose e alcalose mista
- *Acima de 7,96 ou menor de 6,85 há rompimento das membranas e morte celular*
- **Ph Normal: 7,35 a 7,45**
- **Bicarbonato normal 22 - 28**
- **CO₂ normal: 45 mmHg**
- **Regulação de pH:**
 1. Sistema Tampão
 2. Centro respiratório
 3. Rins
- **Tamponamento:** 64% Bicarbonato -> Se liga aos H⁺ livres para formar ácido mais fraco

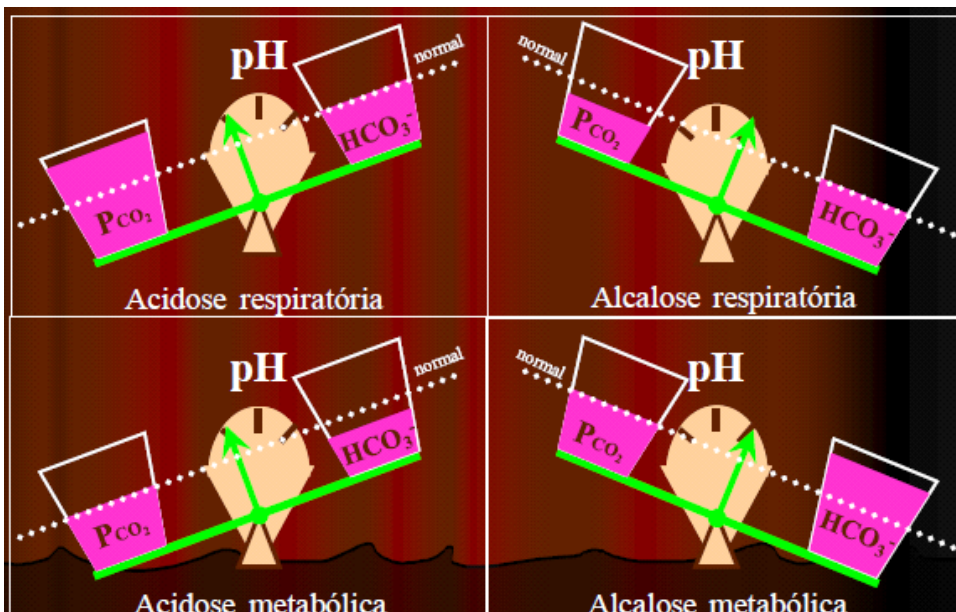
Regulação do pH pelo Sistema respiratório

- **pH baixo ↓**: Muito CO₂, Muito H⁺ livre, o centro respiratório esta estimulado com **aumento da FR**
- **pH elevado ↑**: há redução de CO₂ levando a **bradipneia para reter CO₂**

-> *Interferência do Grupo respiratório dorsal, aumentando e diminuindo a FR. Área quimiosensível de CO₂*

Balanço ácido-base

- CO₂ e HCO₃⁻ devem estar balanceados para manter o pH, Qualquer fator que altere essa balança é preciso recompensar
- Considerar o **CO₂ como um ÁCIDO** (CO₂ reage com água, forma ácido carbonico e libera H⁺)



- **1ª Situação:** pH está sendo desviado pelo **aumento de CO₂** -> **ACIDOSE RESPIRATÓRIA - pH baixo**
 - o **Compensação:** Sistema Renal aprisiona HCO₃⁻
 - o *(Hipoventilação leva aumento de CO₂ - asma por ex.)*
- **2ª Situação:** **Nível baixo de CO₂** e nível normal de HCO₃⁻ -> **ALCALOSE RESPIRATÓRIA**
 - o **Compensação:** Sistema renal Elimina bicarbonato
 - o *(Hiperventilação leva a diminuição de CO₂)*
- **3ª Situação:** nível normal de CO₂ e **diminuição de bicarbonato** -> **ACIDOSE METABÓLICA**
 - o Distúrbio metabólico pois quem regula os níveis de bicarbonato é os rins
 - o **Compensação respiratória:** Aumento da frequência respiratória para lavar mais CO₂.

- 4ª Situação: **Aumento do HCO_3** e nível normal de CO_2 -> **ALCALOSE METABÓLICA**
 - o **Compensação Respiratória**: Diminui a FR para aprisionar CO_2

Obs: Bicarbonato consegue regular de forma exógena

Diminuição de CO_2 e aumento de HCO_3 -> **Alcalose Mista**
 Aumento de CO_2 e diminuição do HCO_3 -> **Acidose Mista**

ACIDOSE RESPIRATÓRIA - Causas

- **Alto CO_2 , acima de 45mmHg e pH abaixo de 7,35**
- **Hipoventilação** leva ao aumento de CO_2

1) Alteração do Sistema nervoso que pode dificultar a respiração:

- o traumatismos crânio-encefálicos,
- o intoxicações exógenas (drogas, monóxido de carbono)
- o comas de qualquer natureza,
- o resíduo de drogas depressoras,
- o lesão medular,
- o lesão do nervo frênico,
- o bloqueadores neuromusculares

2) Alterações tóraco pulmonares

- o obstrução das vias aéreas altas,
- o Atelectasias - Colapso pulmonar
- o pneumonias extensas - Inflamação do parênquima pulmonar
- o derrame pleural - Acúmulo de líquido na cavidade pleural (líquido comprime pulmão)
- o pneumotórax extenso
- o traumatismo torácico,
- o hipercapnia permissiva
- o **DPOC/Asma - Enfisema, Bronquite crônica e ectasia**

CLÍNICA: Hipercapnia permissiva: Aumentar disponibilidade de O_2 - aumentar o tempo ins. (o normal o ins é 2s de ins. e 3 de ex). posso inverter (3 de ins e 2 de ex, esse 1 segundo a mais pode melhorar a difusão. Aumenta assim também o CO_2 -> **Ventilação Mecânica**)

ALCALOSE RESPIRATÓRIA

- A alcalose respiratória é sempre consequência da **hiperventilação pulmonar, tanto na sua forma aguda como na crônica.**
- **Baixo CO_2** -> Abaixo de 35mmHg e pH Acima de 7,45

ACIDOSE METABÓLICA

- **Ânion GAP**

A quantidade iônica no corpo deve estar entre 8 a 16meq/L se sódio estiver inalterado o **cl- deve aumentar para manter a eletroneutralidade.**

- o Se o cl- elevar em compensação a queda de bicarbonato: **acidose metabólica hiperclorêmica.**

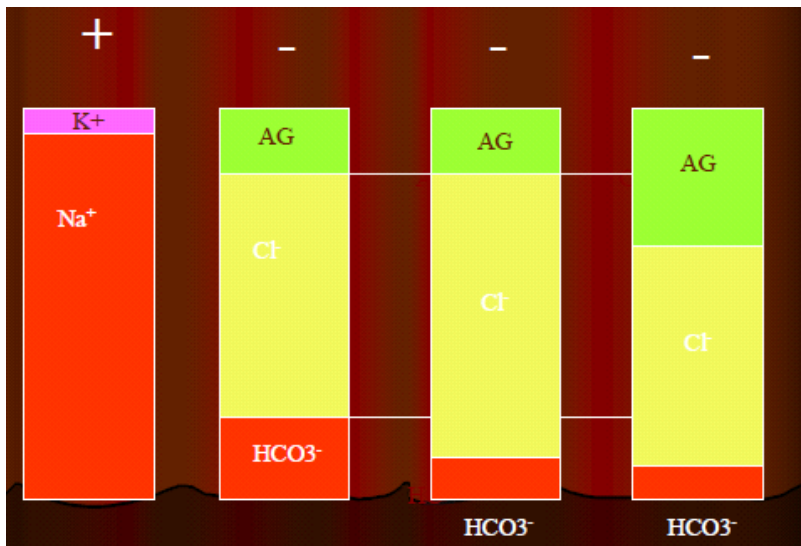
Pode haver acidose metabólica pela elevação de ácidos como o lático e cetoácidos, e assim por diante.

Ânion Gap aumentado

- o Cetoacidose diabética
- o Sepses
- o Intoxicação por AAS

Ânion Gap normal

- o Insuficiência renal - Alteração no Bicarbonato
- o Acidose tubular renal



ALCALOSE METABÓLICA - Causas

- **Desidratação**
- Uso de diuréticos
- Perda de suco gástrico - Vômitos e SNG em drenagem
- Iatrogenias - Erro de um profissional de saúde: aumento de bicarbonato pela ingestão ou infusão de bicarbonato

CASOS CLÍNICOS SLIDES

CASO 1

- Acidose respiratória - Devido a Respiração Superficial

CASO 2

- Alcalose respiratória - Causa: Iatrogenia

CASO 3

- Halito cetônico: Diabetes
- BR=Bicarbonato baixo (normal de 22 a 28)
- Acidose Metabólica, parcialmente compensada por uma acidose metabólica.

CASO 4

- pH baixo - Acidose
- $p\text{aCO}_2$ - Alto - Acidose
- BR baixo - Acidose
- Exame alterado pois demorou - Fazer outra gasometria

CASO 10

- Secreção clara: Enfisema
- Aumento antero posterior: Bronquite
- Baqueteamento digital: Alteração nas extremidades das falanges devido a alteração da perfusão
- Sibilos Esparsos
- Ph: Normal
- PCO_2 : Alto - Acidose
- Bicarbonato: Alto - Alcalose
- ACIDOSE RESPIRATÓRIA COMPENSADA PELA ALCALOSE METABÓLICA - Quadro clínico indica distúrbio respiratório.

CASO 8

- pH baixo - Acidose
- PaCO_2 - Baixo - Alcalose
- Bicarbonato - Baixo
- ACIDOSE METABÓLICA PARCIALEMNTE COMPENSADA PELA ALCALOSE RESPIRATÓRIA

CASO 6

- pH: Baixo ACIDOSE
- PaCO_2 : alto ACIDOSE
- Bicarbonato - baixo ACIDOSE

ACIDOSE MISTA - Diminuição do bicarbonato provavelmente por choque