

Avaliação da função respiratória; fisiopatologia das doenças respiratórias

Propriedades Estáticas do Sistema

A ventilação pulmonar consiste no fluxo de ar para dentro e para fora dos pulmões a cada ciclo respiratório, que é composto de inspiração e expiração; é um processo que ocorre em consequência da força gerada pelos músculos respiratórios, que operam como uma bomba aerodinâmica.

De fato, para realizar captação de oxigênio e eliminação de gás carbônico, uma provisão fresca de gás deve ser trazida, repetidamente, às unidades de troca gasosa (alvéolos) pela bomba respiratória.

Pressão Pleural Negativa

Pulmões e parede torácica estão, de modo contínuo, lutando passivamente, um contra o outro, visando conseguir, cada um deles, ocupar um volume que corresponde ao seu próprio volume de descontração. Pulmões e parede torácica são mantidos, portanto, em volumes que não correspondem aos volumes que ocupariam caso estivessem separados um do outro.

O volume ocupado pelo tórax, do qual foram retirados os pulmões, é maior que quando contém os pulmões em seu interior, por outro lado, os pulmões isolados ocupam um volume menor do que aquele observado quando os mesmos se encontram encerrados dentro do tórax.

Utilidade do Surfactante

São três as vantagens fisiológicas do surfactante ao sistema respiratório:

1. **Reduz a tensão superficial**, o que aumenta a complacência pulmonar e diminui o trabalho respiratório;
2. **Promove a estabilidade dos alvéolos** e pequenas vias aéreas, ao retardar/impedir seu colapamento.
3. **Mantém os alvéolos "secos"** → como a tensão superficial tende a fazer colapsar o alvéolo, tende também a sugar líquido para os espaços alveolares, a partir dos capilares. Ao reduzir a tensão superficial, o surfactante previne a transudação de líquido.

As pequenas vias aéreas contém quantidades mínimas de surfactante, de modo que, se ocorrer uma interrupção na produção de surfactante, um enorme esforço será dispendido na inspiração seguinte para separar as paredes coladas pela água, ou seja, para vencer a tensão superficial oferecida pelo filme líquido que forra as pequenas vias aéreas.

Os Volumes Pulmonares Dependem da Complacência

A complacência pulmonar determina os volumes pulmonares. São reconhecidos 4 volumes pulmonares:

- VRI: Volume de Reserva Inspiratória → corresponde ao máximo de ar que é possível inspirar ao fim de uma inspiração normal.
- VC: Volume Corrente → volume de ar mobilizado normalmente a cada ciclo respiratório.
- VRE: Volume de Reserva Expiratória → máximo de ar que pode ser exalado a partir da posição de repouso respiratório (fim de uma inspiração normal).
- VR: Volume Residual → volume de ar que permanece no pulmão ao fim de uma expiração máxima.

A partir desses quatro volumes fundamentais, podem-se medir 4 capacidades respiratórias:

1. Capacidade Vital (CV)
2. Capacidade Inspiratória (CI)
3. Capacidade Residual Funcional (CRF)
4. Capacidade Pulmonar Total (CPT)

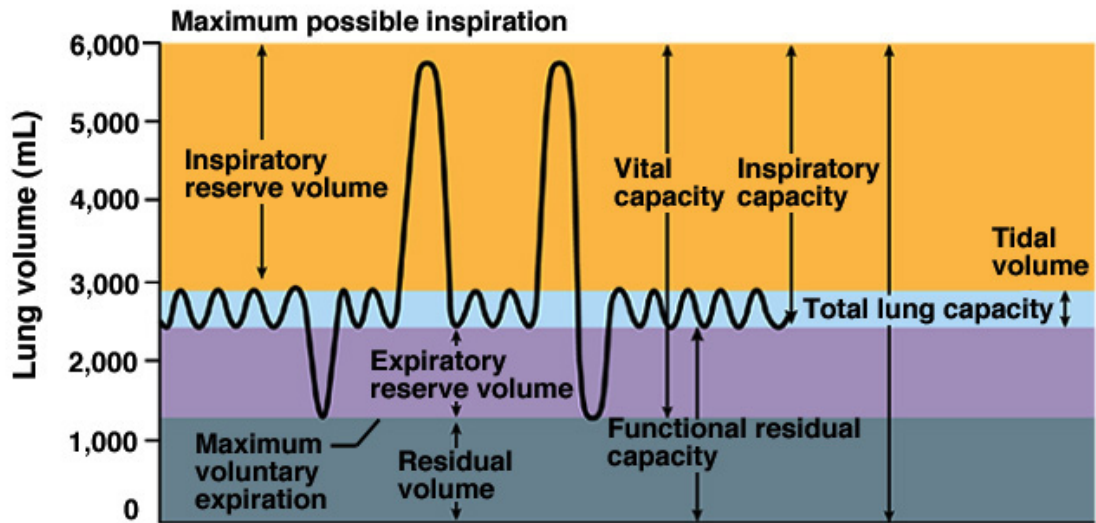
CV: É capacidade vital do pulmão completamente cheio de gás; portanto, é a somatória de 3 volumes: $VRI + VC + VRE$

CI: Capacidade Inspiratória, que é a soma de: $VRI + VC$

CRF: Capacidade Residual Funcional, somatório de: $VRE + VR$

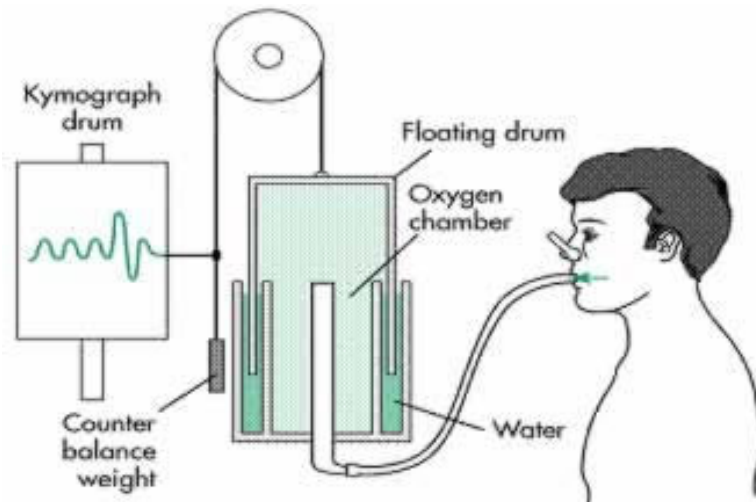
CPT: Capacidade Pulmonar total, somatório de: $VRI + VC + VRE + VR$ ou $CV + VR$

Esses volumes e capacidades pulmonares variam de indivíduo para indivíduo em função da raça, sexo e altura; e variam em um mesmo indivíduo em função da idade e existência de doenças.



Avaliação Espirométrica da Complacência

As diversas doenças que comprometem os pulmões podem modificar sua complacência, de modo que os volumes e capacidades previstos para uma pessoa se alteram, e isso é detectado por provas de função pulmonar como a espirometria.



Doenças restritivas e obstrutivas

- Características das doenças restritivas e obstrutivas;
- Problemas associados à baixa complacência ventilatória (razão entre a variação de volume pela variação de pressão);

- Doenças respiratórias que afetam a complacência pulmonar;
- Outras doenças, não associadas ao parênquima pulmonar, que afetam a complacência pulmonar.

Características das doenças restritivas e obstrutivas

Uma **doença restritiva** tem como característica mecânica a **baixa complacência pulmonar**, como, por exemplo, quando se tem uma menor produção de surfactante alveolar. Nestas condições, há uma maior tensão superficial na parede dos alvéolos, fazendo com eles apresentem uma tendência muito mais forte ao colapamento, ou seja, o ar tende a ser expulso dos alvéolos, quando não se produz uma quantidade adequada de surfactante. Nesta situação, irá penetrar uma quantidade menor de ar nos alvéolos, ou seja, haverá uma diminuição na ventilação. Sendo assim, para que haja a mesma entrada de ar que numa situação normal, é necessário o emprego de uma força maior, junto à musculatura associada à inspiração.

Problemas associados à baixa complacência ventilatória (razão entre a variação de volume pela variação de pressão)

- Diminuição da produção de surfactante alveolar;
- Qualquer situação que aumente o trabalho elástico do sistema respiratório;
- Obesidade, impedindo o trabalho do diafragma.

Doenças respiratórias que afetam a complacência pulmonar

- Diminuição da produção de surfactante alveolar;
- Fibrose intersticial, em consequência da inalação de produtos tóxicos;

Outras doenças, não associadas ao parênquima pulmonar, que afetam a complacência pulmonar

- Qualquer situação que impeça o aumento do volume da caixa torácica, tendo, como exemplo, a obesidade;
- Qualquer paralisia da musculatura torácica ou qualquer problema de natureza óssea, associada aos ossos do tórax;
- Doenças auto-imunes que provoquem a destruição de receptores colinérgicos.

Um indivíduo, quando submetido a uma espirometria, realiza dois procedimentos básicos: uma máxima inspiração e uma máxima expiração. O volume de ar que entra e sai do sistema respiratório a cada ciclo é chamado de volume corrente.

O volume de ar que é possível se inspirar, além do volume corrente, é chamado de volume de reserva inspiratório. O volume de ar que é possível se expirar, além do volume corrente, é chamado de volume de reserva expiratório. Quando é realizada uma máxima expiração, nem todo o ar contido nos pulmões é expulso. Sendo assim, mesmo sob o efeito de uma máxima expiração, ainda existe um determinado volume de ar nos pulmões. A este volume é dado o nome de volume residual.

Com a espirometria convencional, é impossível se medir o volume residual. Para se realizar esta medida, é necessária a utilização de técnicas especiais.

A capacidade pulmonar total é a soma dos volumes básicos relacionados à ventilação, incluindo o volume residual. A quantidade de ar que é possível se mobilizar vai da máxima inspiração à máxima expiração. A capacidade vital é o somatório dos volumes, sem levar em conta o volume residual.

O ponto de repouso elástico do sistema respiratório

Há uma tendência natural de expansão da caixa torácica, ao mesmo tempo em que os pulmões tendem a sofrer colapamento. Ao ponto de equilíbrio entre estas forças contrárias é dado o nome de **ponto de repouso elástico** do sistema respiratório.

O ponto de repouso elástico define duas capacidades distintas. A primeira encontra-se abaixo do ponto de repouso elástico, denominado de capacidade residual funcional e o ponto acima é a capacidade inspiratória, ou seja, uma vez acionada a musculatura inspiratória, é possível se promover uma alteração de volume da caixa torácica.

Um indivíduo que apresente fibrose pulmonar, ou que seja muito obeso, apresenta como característica uma baixa complacência, ou seja, um padrão restritivo mecânico. Neste indivíduo, a capacidade residual funcional é baixa, pois o pulmão apresenta uma maior força de colapamento, ou o tórax encontra-se comprimido pelo peso corpóreo. Quando este indivíduo fizer uma inspiração, ele irá chegar a um menor volume inspiratório. Uma espirometria realizada nestas condições demonstra uma relativa diminuição, quando comparada à espirometria de uma ventilação normal,

evidenciando uma diminuição da capacidade pulmonar, pois existe uma baixa complacência impedindo o aumento do volume.

A capacidade vital guarda uma relação direta com a superfície corpórea dos indivíduos. Indivíduos com baixa complacência apresentam uma capacidade vital menor que o padrão considerado normal.

A máxima inspiração até a máxima expiração dá uma medida de volume que traduz a capacidade vital do indivíduo. Neste caso, a capacidade vital é medida durante uma expiração forçada. Não se mede a capacidade vital a partir da inspiração, ou seja, após o indivíduo expirar o máximo e inspirar o máximo, pois assim, não é possível se avaliar o padrão obstrutivo do sistema respiratório.

Uma doença restritiva é uma doença respiratória associada ao parênquima respiratório ou não, que faz com que o sistema tenha a complacência diminuída. Portanto, o achado da espirometria destes indivíduos é de volumes e capacidades diminuídas, como por exemplo, quando a capacidade vital é 85% daquela esperada para um indivíduo saudável e com a mesma massa corpórea, indicando um padrão restritivo à espirometria.

O padrão respiratório de indivíduos com doenças restritivas é de uma maior frequência respiratória e menor volume corrente.

Outro padrão encontrado na espirometria é o padrão obstrutivo. Nele, o problema não está relacionado com a baixa complacência, ou seja, ele não apresenta nenhuma dificuldade relacionada ao aumento de volume da caixa torácica. O problema básico dos indivíduos portadores de **doenças obstrutivas** é o **aumento da resistência das vias aéreas**, ou seja, elas apresentam um raio menor. Quanto mais rápido o fluxo, maior o atrito das moléculas com as vias aéreas, aumentando mais ainda a resistência. Desta forma, indivíduos com doenças obstrutivas têm uma resistência maior nas vias aéreas, particularmente quando há um aumento no fluxo respiratório.

Avaliando a estruturas das pequenas vias aéreas, os bronquíolos ficam submetidos a forças que os tracionam radialmente, ou seja, enquanto as grandes vias aéreas apresentam cartilagens nas suas paredes, que ajudam a manter a sua estrutura, nas pequenas vias isso não ocorre, fazendo com que elas fiquem mais sujeitas a variações de pressão.

Quando ocorre a inspiração, a pressão negativa pleural tem seu módulo aumentado, tracionando radialmente para fora e facilitando a abertura das vias aéreas. Na expiração, a pressão negativa tem seu módulo diminuído, fazendo com que não seja

promovida devidamente a abertura das vias aéreas. Sendo assim, é mais provável que ocorra o fechamento das vias aéreas, sobretudo nas situações onde há obstruções das vias aéreas, tais como ocorre nas doenças obstrutivas. Nas expirações onde o fluxo é aumentado, a resistência será ainda maior. Desta forma, caso se deseje investigar um padrão obstrutivo em um indivíduo, faz-se a medida do fluxo expiratório e não do volume respiratório.

Na espirometria de um indivíduo com doença obstrutiva, vai ser observada a diminuição dos fluxos expiratórios. Neste indivíduo serão observadas as seguintes características:

- Capacidade vital, ou seja, a quantidade de ar medida da máxima inspiração até a máxima expiração, vai estar normal.
- O problema deste indivíduo não é mobilizar volumes, mas gerar fluxos muito rápidos.

Sendo assim, o problema, nestes quadros, é a velocidade na qual a capacidade vital é mobilizada. Para se realizar a medida deste padrão, é necessário avaliar o fator tempo, pois o foco está no fluxo, e não no volume, logo, o que interessa é a medida da velocidade do fluxo. Para se efetuar esta medida, no momento inicial da expiração, faz-se a medida do volume expirado forçado no primeiro segundo, ou seja, o VEF1. Um VEF1 diminuído vai evidenciar uma dificuldade de gerar fluxo expiratório, demonstrando um padrão obstrutivo.

Como o problema está na geração de fluxo, o importante é medir o volume no tempo, ou seja, deve ser medido o volume expirado em uma manobra forçada no primeiro segundo.

O índice de Tiffeneau é a medida do VEF1 relativa à capacidade vital do indivíduo. Sendo assim o VEF1 é uma medida interessante, quando relacionada ao volume total a ser respirado. O volume expirado forçado no primeiro segundo (VEF1) dividido pela capacidade vital, e multiplicado por 100, dará um percentual que reflete o índice de Tiffeneau. O índice de Tiffeneau evidencia um padrão obstrutivo quando menor que 75%. Como o índice de Tiffeneau é dado por: $(VEF1 / CV) \times 100$, tem-se a medida do percentual de ar expirado no primeiro segundo. Num indivíduo normal, este percentual é cerca de 90%; quando houver uma obstrução o percentual deverá estar em torno de 75%.

O grupo das doenças obstrutivas (DPOC – doença pulmonar obstrutiva crônica)

- Introdução
- O enfisema pulmonar
- A asma
- A bronquite crônica

Introdução

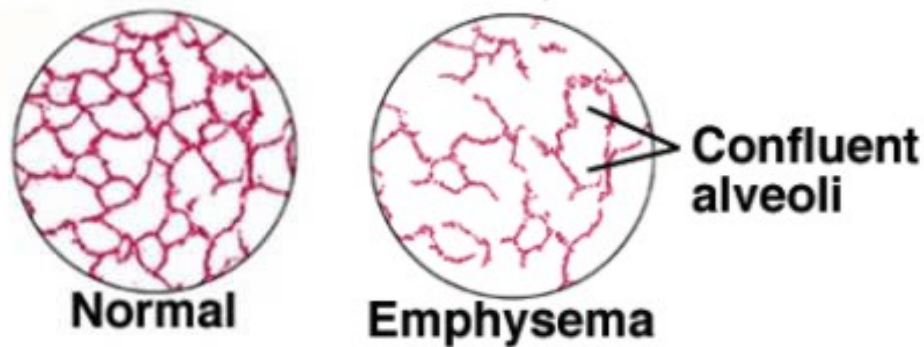
A doença pulmonar obstrutiva crônica é uma doença crônica dos pulmões que diminui a capacidade para a respiração. A maioria das pessoas com esta doença apresenta tanto as características da bronquite crônica, quanto as do enfisema pulmonar. Nestes casos, chama-se a doença de DPOC. Quando é utilizado o termo DPOC de forma genérica, está se fazendo referência a todas as doenças pulmonares obstrutivas crônicas mais comuns: bronquite crônica, enfisema pulmonar e asma brônquica. No entanto, na maioria das vezes, este termo refere-se à asma, bronquite crônica e ao enfisema pulmonar.

A bronquite crônica está presente quando uma pessoa tem tosse produtiva (com catarro) na maioria dos dias, por pelo menos três meses ao ano, em dois anos consecutivos. Mas outras causas para tosse crônica, como infecções respiratórias e tumores, tem que ser excluídas para que o diagnóstico de bronquite crônica seja firmado.

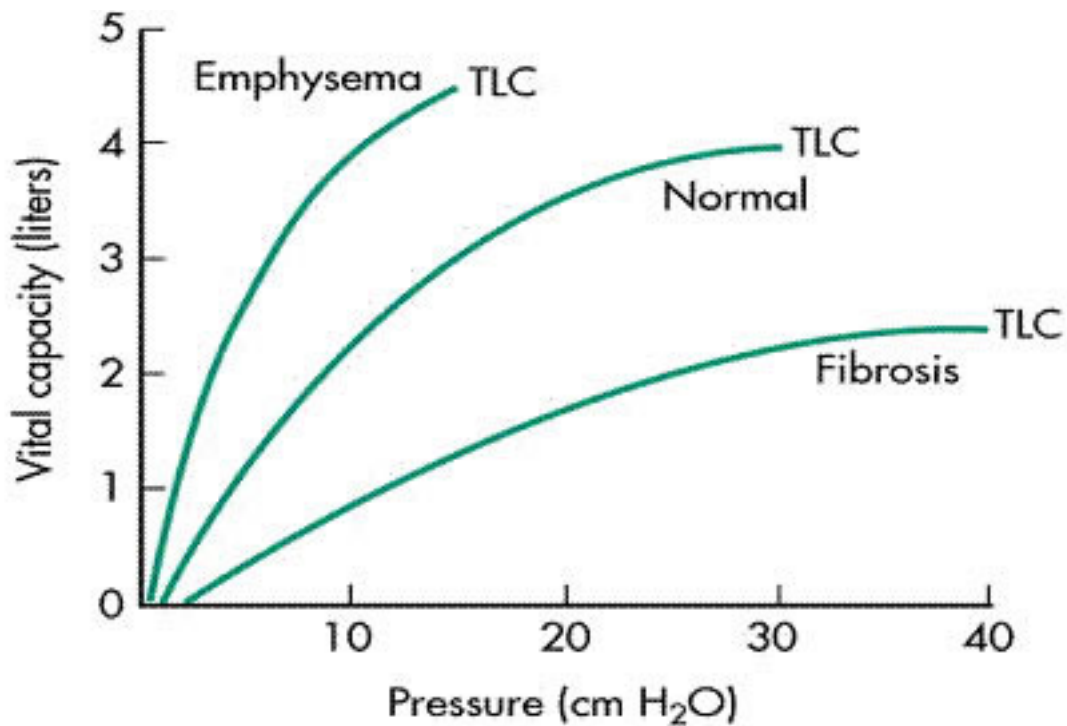
O enfisema pulmonar

O enfisema pulmonar está presente quando muitos septos interalveolares, que separam os alvéolos, são destruídos. **Quase a totalidade dos casos de enfisema pulmonar está relacionada ao fumo.** No enfisema, o indivíduo tem os seus alvéolos com um grande volume, porém com uma pequena superfície ou área disponível para a troca gasosa, caracterizando um grave problema mecânico que faz com que o indivíduo perca sustentação radial das vias aéreas. Sendo assim, nos quadros de enfisema, as vias aéreas têm uma maior facilidade para o colapso, caracterizando um aumento na resistência. No enfisema, há um aumento patológico da complacência, pois há uma destruição das fibras colágenas e elásticas dos septos interalveolares. Isto pode ser evidenciado no paciente com enfisema, pois ele apresenta, normalmente, uma

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.



Sendo assim, **não importa um grande volume pulmonar se não for possível a geração de fluxo**. O indivíduo com enfisema, tem um problema mecânico do tipo obstrutivo. O ponto de repouso elástico neste indivíduo é mais alto, pois quem determina a posição do ponto de repouso elástico é a força contrátil da caixa torácica. Como há uma menor quantidade de fibras atuando no sentido de colapamento do pulmão, a caixa torácica fica naturalmente mais expandida, caracterizando o chamado **tórax em tonel ou em forma de barril**, típico do fumante inveterado, que apresenta um aumento patológico da complacência pulmonar.



TLC = Capacidade pulmonar total

Na DPOC, há uma obstrução ao fluxo de ar, que ocorre, na maioria dos casos, devido ao tabagismo de longa data. Esta limitação no fluxo de ar não é completamente reversível e, geralmente, vai progredindo com o passar dos anos.

Pneumoconiose é uma doença decorrente da inalação de poeiras, deposição no parênquima pulmonar e a conseqüente resposta tissular.

Para efeito prático, podemos considerar como pneumoconiose toda doença pulmonar decorrente de inalação de poeiras inorgânicas (minerais) e orgânicas em suspensão nos ambientes de trabalho, levando a alterações do parênquima pulmonar e suas possíveis manifestações clínicas, radiológicas e da função pulmonar.

Uma doença obstrutiva, necessariamente, tem uma relação com o parênquima destruído, uma hiper-reatividade brônquica, ou um processo de obstrução proporcionado por um tumor, por exemplo. As doenças obstrutivas estão diretamente associadas aos brônquios. Sendo assim a DPOC, diagnosticada como um enfisema, se caracteriza pela destruição dos septos inter-alveolares, aumentando, patologicamente, a complacência pulmonar e gerando um padrão obstrutivo;

A asma

É uma síndrome que se caracteriza pelo **aumento da resistência das vias aéreas**, de caráter permanente e episódico, ou seja, o indivíduo tende a apresentar um padrão obstrutivo contínuo, porém com períodos de agravamento.

O mecanismo da asma ainda não é conhecido por completo. O que se sabe é que ela está associada a um processo inflamatório bronquiolar, muito provavelmente associado a processos imunológicos relacionados às alergias.

Com o processo alérgico, os **brônquios são levados a uma constrição**, que tem como conseqüência o aumento da resistência das vias aéreas.

Uma das formas de tratamento é administrar mediadores que mimetizam a ação simpática, ou seja, um simpaticomimético. A ação do parassimpático sobre as vias aéreas produz brônquio-constrição, ao passo que a estimulação adrenérgica produz brônquio-relaxamento (receptores β_2).

A bronquite crônica

É uma doença relacionada à inflamação dos brônquios, sendo muito associada ao tabagismo. Uma inflamação bacteriana pode provocar uma bronquite aguda, tal qual ocorre na infecção por *Haemofilus*, que provoca uma infecção nas vias aéreas, porém

não está relacionada às DPOCs. Esta doença é definida quando há presença de tosse com muco (catarro) na maioria dos dias do mês, em 3 meses do ano, por dois anos sucessivos, sem outra doença que explique a tosse produtiva. Quase todos os casos da doença ocorrem pelo efeito nocivo do fumo nos pulmões por vários anos, o que determina uma inflamação da mucosa dos brônquios. A bronquite crônica pode preceder ou acompanhar o enfisema.

O desequilíbrio regional entre a ventilação e perfusão

A bronquioconstrição não se processa de maneira uniforme. Nas regiões **muito profundas e pouco ventiladas** formam-se *shunts*; já nas regiões onde há uma **hiperventilação**, tem-se uma área caracterizada como um **espaço morto alveolar**. A relação ventilação–perfusão é fundamental para que se possa avaliar a eficiência da mecânica respiratória, no que se refere às trocas gasosas.

Existem mecanismos regionais no pulmão que tendem a equilibrar a relação ventilação/perfusão. Os vasos sanguíneos pulmonares reagem de maneira inversa aos vasos sistêmicos com relação à hipoxemia. Quando há uma baixa oxigenação tecidual, é desencadeado um mecanismo regional que faz com que haja um aumento do diâmetro dos vasos, fazendo com que mais sangue perfunda o tecido. No pulmão, quando há, por exemplo, um tumor na árvore brônquica, ou uma crise asmática, que gera uma P_{O_2} baixa no alvéolo, no primeiro momento, uma vez formado o *shunt*, a perfusão vai ser maior que a ventilação. Assim, de forma inversa àquela observada nos tecidos, passa a haver vasoconstrição pulmonar, quando é constatada a formação de um *shunt*, sendo o sangue desviado para outras regiões do pulmão.

Numa situação de embolia pulmonar, há um aumento da P_{O_2} na região afetada pelo êmbolo. Nesta situação, os vasos sanguíneos afetados tendem a dilatar, porém, neste exemplo em especial, pouco efeito pode ser sentido com a vasodilatação, mas há uma tendência à dilatação dos vasos regionais, quando a ventilação é proporcionalmente maior que a perfusão.

Na hipoxemia regional, o pulmão se adapta buscando um equilíbrio na relação ventilação-perfusão. Na asma, ou em um quadro de obstrução bronquiolar, ocorre hipoxemia. Na embolia pulmonar, a P_{CO_2} diminui no alvéolo, pois o CO_2 vai sendo retirado do alvéolo, sem ser repostado devido à interrupção no fluxo, causado pela

embolia. Com a baixa P_{CO_2} vai ocorrer bronquioconstrição, para que possa ser equilibrada a relação ventilação/perfusão.

Em situações de bronquioconstrição regional é gerada uma situação tipo *shunt*, pois há pouca ventilação em relação à perfusão, o que leva a uma vasoconstrição regional para equilibrar a relação ventilação-perfusão.

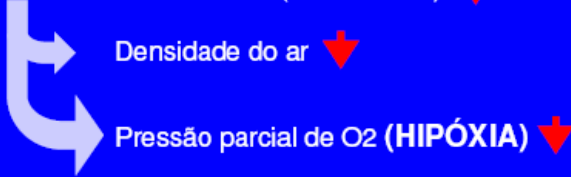
O que importa não é a magnitude da ventilação ou da perfusão no sistema respiratório, mas sim o seu equilíbrio, ou seja, fazendo com que esta relação esteja o mais próximo de 1 possível. Sendo assim, uma situação de **baixa ventilação** proporcional à perfusão, tem-se uma situação do tipo *shunt*, fazendo com que esta região apresente um quadro de hipóxia, pois o sangue perfundido por esta região não estará sendo oxigenado adequadamente. Este quadro leva então a uma **vasoconstrição**, para que se possa alcançar o equilíbrio.

Quando há um prejuízo, não na ventilação, mas sim na perfusão, tal qual aquela observada em uma embolia, a ventilação passa a ser maior proporcionalmente que a perfusão, levando a um quadro de “desperdício” de ventilação. A P_{O_2} no alvéolo é alta e a P_{CO_2} , ao contrário, vai diminuindo, fazendo com que ocorra uma **bronquioconstrição**, diminuindo a ventilação e proporcionando o equilíbrio entre a perfusão e a ventilação.

O efeito da altitude

Em altitudes acima de 2.000 m, a diminuição da pressão barométrica traz conseqüências ao organismo, particularmente sobre o sistema respiratório. Na altitude, não há alteração na pressão parcial do oxigênio, mas, como a pressão barométrica é menor, a quantidade de moléculas disponíveis de oxigênio é menor, ou seja, o ar é rarefeito, diminuindo potencialmente a saturação da hemoglobina. Sendo assim, a saturação da hemoglobina guarda uma relação direta com a pressão parcial do oxigênio na atmosfera, ou seja, quanto maior a P_{O_2} nos alvéolos, maior a saturação da hemoglobina. Porém, a relação entre a saturação da hemoglobina e a P_{O_2} não é linear, ou seja, a relação é uma sigmoideal.

Ambiente Físico em Altitude

- 1 – Pressão atmosférica (HIPOBÁRIA) ↓
- 
 - Densidade do ar ↓
 - Pressão parcial de O₂ (HIPÓXIA) ↓
- 2 – Temperatura ↓
- 3 – Humidade ↓
- 4 – Radiação solar ↑
- 5 – Aceleração da gravidade ↓

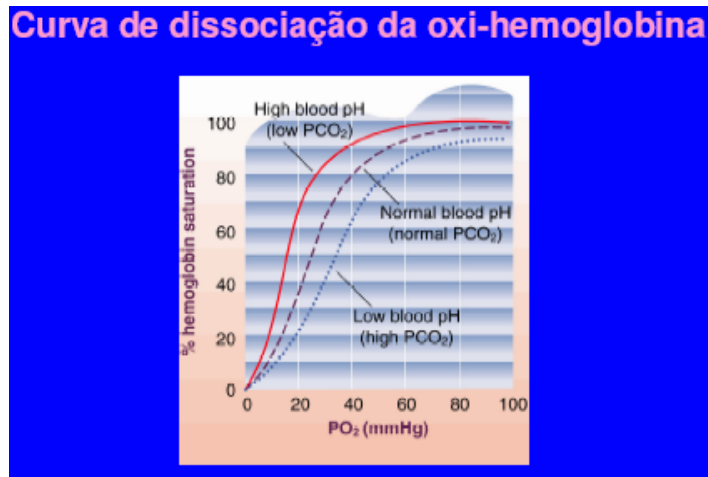
EFEITOS DA HIPÓXIA

- Diminuição da PO₂ no sangue - HIPOXÉMIA
- Diminuição da saturação da hemoglobina
- Diminuição do gradiente de pressão entre o sangue capilar e os tecidos
- Diminuição da captação de O₂ pelos tecidos
- **Hipocápnia ventilatória**
 - menor capacidade de tamponamento
 - maior afinidade da hemoglobina pelo O₂

A diminuição da PO₂ em altitude afecta o gradiente de pressão entre o sangue e os tecidos diminuindo a capacidade para consumir O₂. Isto está na base da diminuição da aptidão para o esforço aeróbio em altitude.

Resposta Aguda à Altitude

- ♦ Aumento da ventilação pulmonar
- ♦ Aumento do débito cardíaco (FC e VS)
- ♦ Aumento da pressão arterial
- ♦ Vasodilatação coronária
- ♦ Vasoconstrição esplâncnica
- ♦ Diminuição do volume plasmático e hemoconcentração



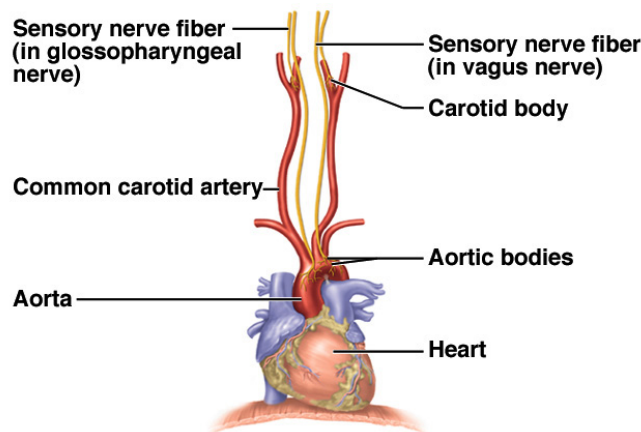
Mesmo que a P_{O_2} caia de 100 para 80 mmHg, ainda há mais de 97% da hemoglobina saturada por oxigênio. Sendo assim, na altitude, não há uma grande diferença na saturação da hemoglobina, porém diminui a quantidade de oxigênio dissolvido no plasma, ou seja, diminui a pressão parcial de oxigênio no plasma, uma vez que o oxigênio associado à hemoglobina não interfere na medida da pressão parcial de O_2 no plasma.

Desta forma, a hemoglobina funciona como um tampão de moléculas de oxigênio, uma vez que o volume plasmático de moléculas de oxigênio é muito pequeno. Cerca de 95% das moléculas de oxigênio, que transitam entre o alvéolo e o sangue, estão associadas à hemoglobina, em condições normais. Apenas após a saturação da hemoglobina é que as moléculas de oxigênio vão se dissolver no plasma, proporcionando uma pressão parcial de O_2 no sangue. Sendo assim, a hemoglobina faz com que o conteúdo total de oxigênio a ser transportado pelo sangue seja cerca de 50 vezes maior do que poderia ser registrado, caso não houvesse a hemoglobina, por isso é que a hemoglobina pode ser considerada um “tampão”, mantendo, dentro de uma constância, a pressão parcial de O_2 no plasma sanguíneo. A hemoglobina atua, então, como um reservatório de moléculas de O_2 , favorecendo a oxigenação dos tecidos periféricos.

Um indivíduo anêmico, que apresenta um baixo conteúdo de hemácias e, conseqüentemente, de hemoglobina, não apresenta uma pressão parcial de O_2 no plasma diminuída, porém, o conteúdo total de moléculas que são capazes de serem transportadas é que irá diminuir consideravelmente.

Altitude, Pressão Atmosférica e Pressão Parcial de O ₂		
Altitude (m)	P _B (mmHg)	PO ₂ (mmHg)
0	760	159.2
1 000	674	141.2
2 000	596	124.9
3 000	526	110.2
4 000	462	96.9
9 000	231	48.4

Um indivíduo que esteja a 4 mil metros de altitude, onde a pressão parcial de oxigênio seja algo em torno de 97 mmHg, terá a pressão parcial de O₂ no plasma abaixo deste valor. Desta forma, esta relativa hipoxemia irá ativar quimioceptores periféricos na croça da aorta e na carótida, que promovem um considerável aumento da ventilação.



Com o aumento na ventilação, a P_{CO₂} arterial irá entrar num progressivo processo de diminuição, fazendo com que seja instalado um quadro de alcalose respiratória. Embora a baixa na pressão parcial de P_{CO₂} atue, inicialmente, na inibição da ventilação, ela ainda se mantém muito acima da ventilação observada ao nível do mar. Desta forma o quadro típico de um indivíduo exposto a elevadas altitudes é de:

- Hipoxemia;
- Hiperventilação;
- Alcalose respiratória.

Outra situação a que os indivíduos expostos a elevadas altitudes, sem a devida aclimatação, é a formação de edema cerebral, confusão e perda de memória, no chamado mal das montanhas.

Em elevadas altitudes, como a P_{O₂} nos pulmões encontra-se diminuída, pode ocorrer também a vasoconstrição pulmonar generalizada, gerando uma hipertensão pulmonar, sendo esta também uma expressão do mal das montanhas.