

SISTEMA RESPIRATÓRIO

Leonardo Rigoldi Bonjardim
Flavia Teixeira-Silva

META

Discutir as funções do sistema respiratório integrando-as com cada estrutura que o compõe.

OBJETIVOS

Ao final desta aula, o aluno deverá:

ser capaz de descrever todas as estruturas do sistema respiratório;

conhecer as funções do sistema respiratório;

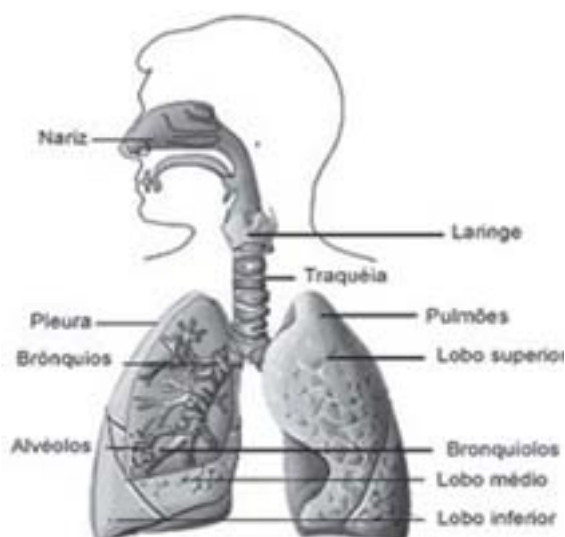
compreender a mecânica ventilatória;

compreender os mecanismos de trocas e transporte dos gases;

conhecer como se dá o processo regulação da inspiração e expiração.

PRÉ-REQUISITO

Conhecimentos de Anatomia, Bioquímica e Neurofisiologia.



(Fonte: <http://www.mundoeducacao.com.br>).

INTRODUÇÃO

Caro (a) aluno (a), na aula passada nós discutimos a importância do sistema digestório em nos prover nutrientes, necessários à sobrevivência de nossas células. No entanto, nossas células além de nutrientes precisam de oxigênio para que possam gerar a energia necessária para seu perfeito funcionamento e trabalho. Dessa utilização de oxigênio e nutrientes pela célula surge o gás carbônico. Tanto o oxigênio, que passaremos a chamar de O_2 , quanto o gás carbônico que se chamará agora CO_2 , devem ser mantidos em quantidades adequadas no sangue. Pensando nisso, é que surge a importância de entendermos a aula de hoje que será sobre o “Sistema Respiratório”. Discutiremos agora como o sistema respiratório age para captar e preparar o O_2 , abundante na atmosfera, como esse atravessa a membrana respiratória, como é feito seu transporte através da corrente sanguínea até sua chegada e utilização pelos tecidos. Também entenderemos como o excesso de CO_2 , liberado pelas células, é transportado pela corrente sanguínea, trocado pelo oxigênio através da membrana respiratória e eliminado na atmosfera. Por fim, veremos como ocorre toda a regulação da respiração, tanto por estímulos nervosos quanto químicos.

VISÃO GERAL DO SISTEMA RESPIRATÓRIO

Funções do Sistema Respiratório:

O sistema respiratório possui como função principal realizar as trocas gasosas entre O_2 e CO_2 mantendo uma quantidade adequada e constante desses gases no sangue, mesmo em situações extremas como durante uma atividade física. Além disso, junto com o rim e as substâncias químicas consideradas tampões sanguíneos (neutralizam a acidez), o sistema respiratório é importante na manutenção do equilíbrio ácido-básico através do aumento ou diminuição da ventilação pulmonar. Também participa da regulação da temperatura corporal, da defesa contra agentes agressores e invasores do sistema respiratório, além de ter um papel importante na fonação.

ESTRUTURA DO SISTEMA RESPIRATÓRIO

Do ponto de vista fisiológico, o sistema respiratório é subdividido em duas zonas: (1) zona de condicionamento e condução do ar e (2) zona respiratória. A zona 1 é constituída de cavidade nasal, faringe, laringe, traquéia, brônquios, bronquíolos e a zona 2 inclui os bronquíolos respiratórios, os ductos e sacos alveolares. Para entendermos melhor como essas duas zonas funcionam, pensemos no ar sendo inspirado. A porta de entrada do ar no nosso corpo se dá preferencialmente pelas cavidades nasais, que são em número de duas e paralelas, começando no nariz externo e terminando na faringe. Nesse local três funções importantes acontecem: o ar é aquecido pela superfície dos cornetos e septo porque geralmente a temperatura ambiente é menor que a corporal, o ar é umedecido quase por completo, além de ser filtrado. Essas funções, em conjunto, denominam-se condicionamento do ar das vias respiratórias superiores. Nessa local existem células produtoras de muco e células ciliadas responsáveis por reter partículas grandes impedindo que as mesmas atinjam as vias aéreas inferiores. Aqui vale lembrar, que em casos de resfriado, existe um aumento da produção e secreção de muco o que leva a uma congestão nasal e, posterior dificuldade de respirar. Depois da saída do ar da cavidade nasal ele passa pela faringe através de aberturas chamadas coanas e da faringe para a laringe. Vocês sabiam que durante a deglutição de um alimento a respiração pára por alguns poucos segundos? Isso é importante para evitar que o alimento penetre na faringe e saia pela cavidade nasal ou penetre na laringe e atinja as vias aéreas inferiores. A partir daí, o ar dirige-se para outras vias aéreas condutoras na seguinte seqüência: traquéia, brônquios e bronquíolos. Essas três estruturas são formadas por anéis cartilagosos, que evitam o fechamento das vias condutoras, e

músculo liso que recebe inervação autonômica simpática (causa dilatação das vias aéreas) e parassimpática (causa obstrução das vias aéreas). Nessa área, ainda encontramos células que secretam muco e células ciliadas que fazem uma remoção adicional de partículas que não conseguiram ser retidas em seu trânsito pela cavidade nasal. Doenças como a asma, a bronquite podem causar uma obstrução dessas vias condutoras, também dificultando a chegada do ar nos alvéolos e, por consequência dificultando as trocas gasosas.

A traquéia (principal via aérea condutora) é um tubo que se ramifica em dois brônquios os quais penetram no pulmão. Dentro pulmão, os brônquios dão origem a tubos cada vez menores, chamados de bronquíolos que darão origem por fim aos bronquíolos respiratórios que são uma área de transição entre as zonas condutora e respiratória. Os bronquíolos respiratórios terminam em pequenas evaginações saculares formadas por células epiteliais e recobertas por capilares sanguíneos denominadas de alvéolos pulmonares que fazem parte da zona respiratória. Cada pulmão contém aproximadamente 300 milhões de alvéolos e é nessa área onde, exatamente, ocorrem as trocas gasosas entre capilares sanguíneos e pulmão. Para que as trocas sejam rápidas e eficientes a membrana que reveste os alvéolos, também chamada de membrana alveolar ou respiratória devem possuir paredes muito delgadas. Na parede alveolar encontram-se ainda fibras elásticas, pneumócitos (produzem e secretam líquido surfactante) e células fagocíticas (macrófagos alveolares responsáveis por manter os alvéolos livres de poeira e de detritos).

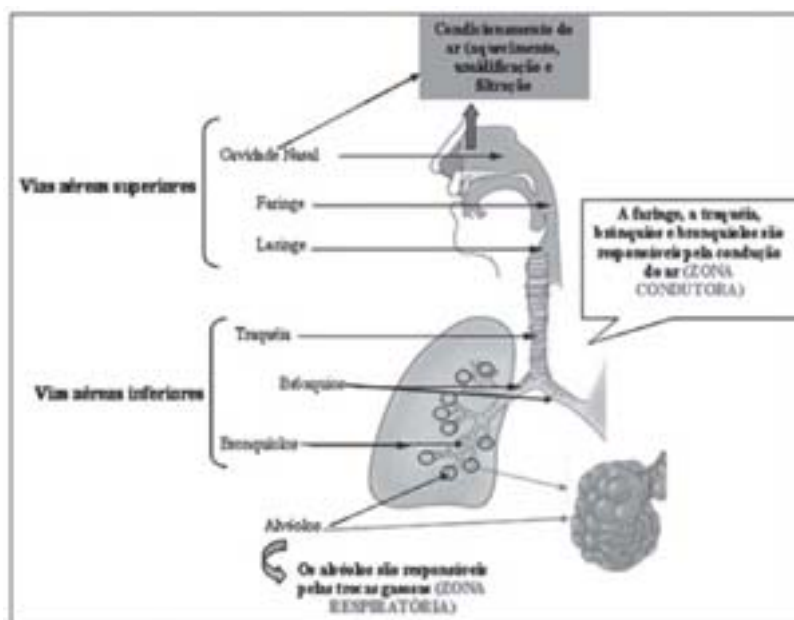


Figura 1. Estrutura do Sistema Respiratório
Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema_respirat%C3%B3rio, modificada por Prof. Dr. Leonardo Rigoldi Dequadt

CURIOSIDADES!

Vocês sabiam que a inspiração deve ser preferencialmente nasal e a expiração preferencialmente bucal!

Isso se deve à necessidade, na inspiração, do aquecimento do ar que é feita durante sua passagem pela cavidade nasal. Já na expiração, o fluxo de ar é facilitado através da cavidade oral que possui alta condutância.

Aqui ainda vale lembrar da importância da amamentação para o desenvolvimento da respiração nasal

Depois de viajarmos por todo o trânsito do ar dentro do sistema respiratório vamos discutir como se dá toda a parte mecânica da ventilação pulmonar que consiste numa renovação contínua do ar presente no interior dos alvéolos. Para que isso ocorra é necessário que, durante o tempo todo, ocorram movimentos que proporcionem insuflação e desinsuflação de todos ou quase todos os alvéolos.

Movimentos respiratórios

Os pulmões podem ser enchidos e esvaziados por movimentos do músculo diafragma que fazem com que a caixa torácica se encurte ou se alongue e por movimentos dos músculos intercostais que promovem a elevação e abaixamento das costelas, o que também aumenta ou diminui o diâmetro antero-posterior da caixa torácica.

Os movimentos respiratórios envolvem inspiração e expiração o que é chamado de ciclo respiratório. Por minuto, num adulto sem problemas respiratórios, ocorrem cerca de 12 a 16 ciclos respiratórios. Essa frequência respiratória pode ser aumentada como durante a atividade física ou diminuída como em alguns distúrbios neuromusculares.

A inspiração (Figura 2) é um processo ativo da respiração que resulta da contração dos músculos diafragma e músculos intercostais externos. O diafragma é o principal músculo da respiração, sendo sua contração responsável por 75% do aumento do volume da caixa torácica e, por consequência da expansão pulmonar, numa inspiração em repouso. Isso reduz a pressão intra-torácica provocando o influxo de ar para os pulmões. Numa inspiração forçada, podem ser recrutados músculos acessórios (esternocleidomastoídeos, denteados anteriores, escalenos).



Figura 2 – Mecânica Inspiratória.

Fonte: http://www.demam.epflural.com/sistema-respiratorio-anatomia_clip_in_ag002.jpg

A expiração (Figura 3) de repouso é um processo predominantemente passivo. Nesse momento, os músculos inspiratórios relaxam promovendo uma retração da caixa torácica e do pulmão. Esse processo é auxiliado por forças de retração elástica pulmonar. Assim, ocorre uma diminuição do volume da caixa torácica com conseqüente aumento da pressão intra-torácica o que promove a saída do ar para a atmosfera. A expiração se torna ativa quando há a necessidade de se expelir um volume de ar além do normalmente expelido, como acontece durante a prática de exercício físico. Na expiração ativa, são recrutados os músculos expiratórios (intercostais internos e abdominais) que atuam tracionando para baixo as costelas levando à diminuição do diâmetro vertical e anteroposterior da caixa torácica.



Figura 3 – Mecânica Expiratória,

Fonte: http://http://www.dermanepleural.com/sistema-respiratorio-anatomia_cóp_imagem004.jpg

Para fazermos uma analogia vamos pensar no enchimento e esvaziamento de uma bexiga. Durante o enchimento, precisamos assoprá-la, isso demanda energia e, portanto, é um processo ativo, como a inspiração. Agora para o esvaziamento da bexiga, nenhum esforço é necessário, ou seja, a própria retração elástica da bexiga permite que o ar saia, num processo passivo, como acontece na expiração de repouso.

A inspiração ocupa uma menor porção do ciclo respiratório, cerca de 2 segundos, e a expiração cerca de 3 segundos.

Os movimentos respiratórios, que acontecem durante os ciclos respiratórios, produzem variações de pressão nas vias respiratórias. Duas pressões são importantes nessa movimentação do ar, a pressão pleural e a pressão alveolar (Figura 4).

Vale lembrar que os pulmões, direito e esquerdo, estão inseridos dentro da caixa torácica e são revestidos por um saco seroso completamente fechado denominado pleura. Existe a pleura visceral, que reveste o pulmão e a pleura parietal que reveste a caixa torácica. Entre essas pleuras existe um espaço estreito preenchido pelo líquido pleural que gera a pressão pleural. Essa pressão é permanentemente negativa, tanto na inspiração quanto na expiração, o que impede o colapamento dos pulmões. Esta pressão negativa oscila em torno de -4 mmHg (milímetros de mercúrio),

podendo diminuir ainda mais na inspiração profunda o que determina uma maior expansão pulmonar. Podemos entender, portanto, que a maior ou menor negatividade dessa pressão determina expansão ou retração pulmonar. Em alguns casos, lesões penetrantes de tórax, por uma faca ou um projétil de arma de fogo, podem causar a entrada de ar no espaço pleural causando o que chamamos de pneumotórax, o que pode levar ao colapso do pulmão e dificuldade para respirar.

Além da pressão pleural, existe a pressão alveolar que é a pressão existente no interior dos alvéolos. Quando não estamos respirando, a pressão alveolar é igual a pressão atmosférica. Durante a inspiração, a pressão alveolar diminui ligeiramente em relação à pressão atmosférica, o que provoca o influxo de ar. Na expiração esta pressão se torna ligeiramente positiva em relação à pressão atmosférica o que provoca o efluxo de ar. Percebam então, que a função da pressão alveolar é de direcionar o ar para fora ou para dentro das vias respiratórias. Na expiração forçada a pressão alveolar pode alcançar valores altamente positivos e, altamente negativos durante a inspiração forçada. Normalmente a pressão alveolar é 5 mmHg mais positiva que a pressão pleural.

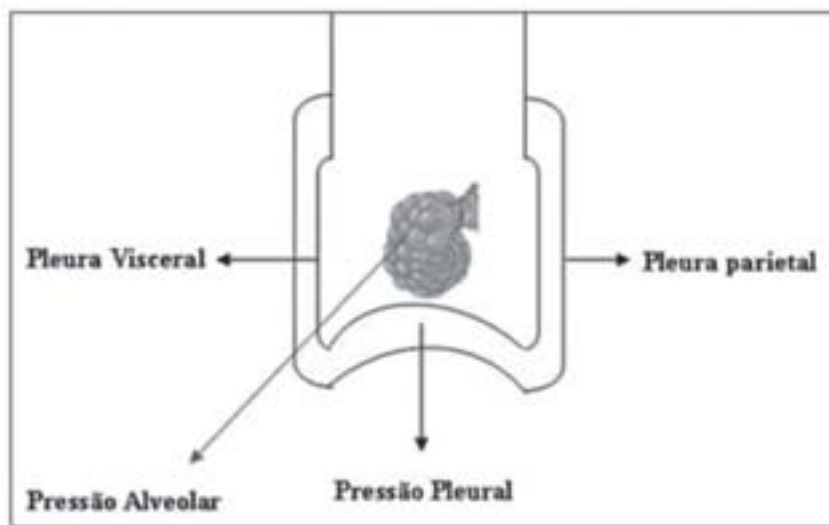


Figura 4 – Pressões Pleural e Alveolar

A tendência natural dos pulmões é de colapsar e se afastar da caixa torácica. Esta tendência se deve a dois fatores. Um terço dessa tendência é devido às fibras elásticas abundantes no tecido pulmonar, que se estimam com a expansão pulmonar e retornam ao seu comprimento original, logo em seguida. Os outros dois terços são devido à tensão superficial do líquido que reveste internamente os alvéolos, que faz com que os mesmos mantenham uma tendência ao colapso. A tensão no interior dos alvéolos é diminuída pela secreção por células da parede alveolar, os pneumócitos, de uma substância chamada surfactante constituída basicamente de fosfolípídeos. Na ausência de surfactante a expansão pulmonar torna-se muito difícil e exige pressões pleurais altamente negativas para superar a tendência ao colapso dos alvéolos.

Alguns recém-nascidos, principalmente os prematuros, secretam tão pouco o líquido surfactante, o que torna muito difícil a expansão pulmonar. Sem tratamento imediato e correto, a maioria destes bebês morre logo após o nascimento, devido à ventilação alveolar inadequada. Essa condição denomina-se síndrome da angústia respiratória do recém-nascido.

COMPLACÊNCIA PULMONAR

A maior ou menor capacidade de distensibilidade pulmonar a uma dada variação de pressão é conhecida como complacência. Ela depende em parte das fibras elásticas pulmonares (1/3) e da tensão superficial no interior dos alvéolos (2/3), que conforme já dissemos é reduzida pela secreção do líquido surfactante. Quando a capacidade de expandir está diminuída, diz-se que o pulmão tem a complacência reduzida, como acontece normalmente em pessoas asmáticas, com fibrose ou edema pulmonar. Em casos de doenças pulmonares como o enfisema pulmonar, a complacência está aumentada.

MEDIDAS DAS FUNÇÕES PULMONARES

A quantidade de ar que passa pelos pulmões a cada ciclo respiratório (ventilação pulmonar) pode ser medida através da espirometria. A avaliação da função pulmonar através do espirômetro é fundamental para o diagnóstico, tratamento e prognóstico de doenças pulmonares.

Para avaliarmos a ventilação pulmonar consideramos os seguintes volumes pulmonares: volume corrente, volume de reserva inspiratório, volume de reserva expiratório e o volume residual.

- Volume corrente (VC): é o volume de ar inspirado e expirado em cada ciclo ventilatório normal. No repouso seu valor aproximado é 500 ml.

- Volume de reserva inspiratória (VRI): é o volume de ar que ainda pode ser inspirado ao final da inspiração do volume corrente normal. Seu valor aproximado é de 3.000 ml.
- Volume de reserva expiratória (VRE): é o volume de ar que ainda pode ser expirado, por meio de uma expiração forçada, ao final da expiração normal. Seu valor aproximado é de 1.100ml.
- Volume residual (VR): é o volume de ar que permanece nos pulmões mesmo ao final da mais vigorosa das expirações (~1.200ml). Não pode ser medido por espirometria. Sua função principal é permitir a oxigenação do sangue nos intervalos respiratórios.

A partir da soma dos valores de dois ou mais volumes pulmonares obtemos as capacidades pulmonares que também são em número de quatro: capacidade inspiratória, capacidade funcional residual, capacidade vital e capacidade pulmonar total.

- Capacidade inspiratória (CI): é a soma dos VC e VR (~3.500ml).
- Capacidade Residual Funcional (CRF): é a soma dos VRE e VR (~2.300ml). É a quantidade de ar que permanece nos pulmões ao final da expiração normal. Não pode ser calculada por espirometria.
- Capacidade Vital (CV): é a soma dos VRI + VC + VRE (~4.600ml). É a maior quantidade de ar que uma pessoa pode expirar após uma inspiração máxima.
- Capacidade Pulmonar Total (CPT): é a soma dos VC + VRI + VRE + VR. É a maior quantidade de gás contida nos pulmões ao final de uma inspiração máxima (~5.800ml).

Aqui vale ressaltar que esses valores podem variar de acordo com o sexo (é por volta de 20-25% menor nas mulheres), área de superfície corpórea, idade, nível de atividade física entre outros fatores.

Se multiplicarmos o volume de ar inspirado e expirado em repouso pela frequência respiratória a cada minuto, obteremos Volume Mínuto Respiratório. Dessa forma, Volume Mínuto Respiratório = VC x Frequência Respiratória (FR), ou seja, $500 \times 12 = 6.000$ ml por minuto. No entanto, nem todo ar que entra pelas vias aéreas participa das trocas gasosas. Isto porque uma parte desse ar preenche estruturas que formam a zona condutora e nunca atinge os alvéolos (zona respiratória). Esse ar é chamado de ar do espaço morto (AEM) e durante a expiração ele é expelido antes do ar alveolar. Seu valor aproximado é de 150 ml. Dessa forma, surge um novo conceito que é a **Ventilação Alveolar (VA)** que corresponde ao volume de ar que efetivamente entra na zona respiratória a cada minuto e participa das trocas gasosas. A VA pode ser calculada pela seguinte fórmula: $VA = (VC - AEM) \times FR$. Logo temos que $VA = (500 - 150) \times 12 = 4.200$ ml.

Trocas gasosas (Figura 5)

As trocas gasosas ocorrem, conforme já dito, ao nível dos alvéolos pulmonares. Tal fato acontece da seguinte forma: O sangue com grandes quantidades de CO_2 retorna ao coração direito através das veias cava inferior e superior. O coração direito bombeia esse sangue para as artérias pulmonares que vão se ramificando e formando pequenos capilares pulmonares. Nesse local o gás carbônico sai dos capilares, atravessa a membrana alveolar, passa pelas vias condutoras e é lançado na atmosfera. Da mesma maneira que o CO_2 sai do corpo, o O_2 se difunde no sentido inverso, ou seja, dos alvéolos para os capilares pulmonares. Nesse momento nós temos então, a oxigenação do sangue, que será levado pelas veias pulmonares para o coração esquerdo que irá bombear sangue rico em O_2 , através das artérias sistêmicas, para todos os tecidos do corpo, onde posteriormente o O_2 será utilizado pela célula junto com os nutrientes para manutenção do seu funcionamento. Do consumo celular de O_2 para a obtenção de energia e respiração celular, será liberado, CO_2 , cujo excesso será lançado para a atmosfera conforme explicado anteriormente. A difusão dos gases (DG) O_2 no sentido alvéolo-sangue e do CO_2 no sentido sangue-alvéolo é dependente de alguns fatores que de maneira diretamente proporcional (gradiente de concentração (GC), área de superfície (AS) e solubilidade (S)) ou inversamente proporcional (espessura da membrana respiratória (EMR) e peso molecular (PM)) controlam a velocidade e intensidade dessas trocas gasosas. Com isso temos a fórmula:

$$\text{DG} = \frac{\text{GC} \cdot \text{AS} \cdot \text{S}}{\text{EMR} \cdot \text{PM}}$$

Agora surge uma pergunta: Porque o sentido das trocas gasosas é esse? A resposta para isso são as diferenças de pressão, pois sempre um gás se difunde do local de maior pressão para o local de menor pressão. Dessa forma, ocorre influxo de O_2 , pois a pressão do mesmo no ar atmosférico (159,0 mmHg) é superior à do ar alveolar (104 mmHg) que é superior à pressão de O_2 na artéria aorta (95 mmHg). Já o efluxo de CO_2 ocorre no sentido inverso, da mesma maneira, por diferença de pressão ($> ?$ $<$), ou seja, dos capilares sistêmicos (45 mmHg) para o ar alveolar (40 mmHg) e deste para o ar atmosférico (0,3 mmHg). É óbvio, portanto, que qualquer alteração na pressão desses gases no sangue, nos tecidos, no ar atmosférico, no ar alveolar pode acarretar dificuldades nas trocas gasosas.

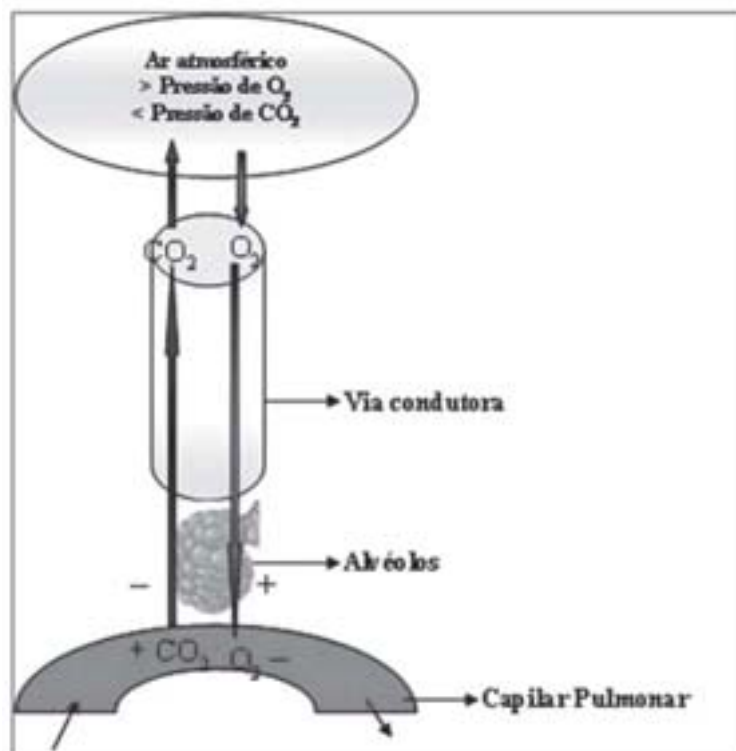


Figura 5 – Sentido das Trocas Gasosas

Então, aqui surge um lembrete importante: tanto a ventilação alveolar quanto a perfusão pulmonar devem ser adequadas para que as trocas gasosas sejam eficientes. Pensando nisso, fica claro, que não adianta termos uma boa ventilação alveolar, mas uma baixa perfusão pulmonar (fluxo sanguíneo pulmonar) como acontece, por exemplo, em casos de embolia pulmonar. Da mesma forma, não adianta termos um fluxo sanguíneo pulmonar adequado, mas uma baixa ventilação alveolar, como acontece em pessoas com obstrução das vias aéreas condutoras por asma e bronquite, por exemplo (Figura 6).

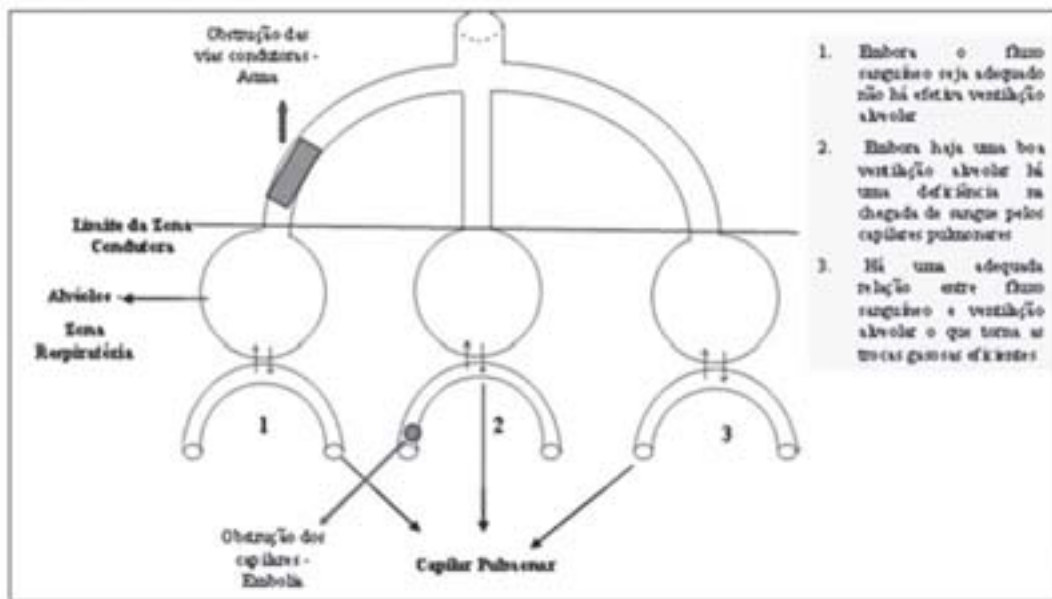


Figura 6 – Relação Ventilação alveolar x fluxo sanguíneo

Transporte de O_2 e CO_2 no sangue (Figura 7)

A partir de agora vamos entender como esses gases são transportados através da corrente sanguínea.

Aproximadamente 98% do oxigênio é transportado no sangue acoplado à hemoglobina das hemácias que tem a capacidade de se combinar a 4 moléculas de O_2 formando a oxiemoglobina. Apenas uma pequena porção de O_2 é transportada dissolvido no plasma e, isso se deve à sua baixa solubilidade (20 vezes menor que o CO_2). Essa combinação se dá ao nível dos capilares pulmonares-alvéolos, onde a pressão parcial de O_2 é maior e se desfaz ao nível dos capilares sistêmicos-tecidos onde a pressão desse gás é menor. Isso também explica o trajeto do gás oxigênio sempre se direcionando de onde ele se encontra com maior pressão para o local de menor pressão, no caso, os tecidos. O esquema a seguir mostra o trânsito desse gás: ar atmosférico → ar alveolar → sangue → tecidos. Mas porque a pressão parcial de O_2 é menor nos tecidos? A resposta é que o O_2 é consumido, nos tecidos, para fornecimento de energia para as células sobreviverem. Por volta de 5 ml de O_2 são transportados para os tecidos para cada 100 ml de sangue.

Uma curiosidade é importante nesse ponto. Casos de envenenamento do ser humano por monóxido de carbono, um gás liberado da queima incompleta de combustíveis fósseis e da fumaça do cigarro, podem ser letais. Isso porque esse gás se liga de uma maneira 250 vezes mais firme com a hemoglobina no mesmo ponto onde esta se combina com o

oxigênio deslocando-o. O monóxido de carbono então é o responsável pela maior parte das mortes que acontecem após uma explosão, após uma queimada. O tratamento para isto é a partir da inalação de oxigênio puro em alta pressão.

Da mesma forma, mas no sentido inverso e também por diferença de pressão, ocorre o transporte de CO_2 . O esquema a seguir mostra o trânsito desse gás: tecidos → sangue → ar alveolar → ar atmosférico. O CO_2 , liberado pelas células, resultante do metabolismo tecidual, difunde-se para as hemácias onde reage, com a água, formando o ácido carbônico (H_2CO_3) que logo se dissocia em íons hidrogênio (H^+) e bicarbonato (HCO_3^-) que se difundem para o plasma sendo fundamentais para a manutenção do equilíbrio ácido-básico. A maior parte do CO_2 é transportado no sangue na forma desse íon bicarbonato (70%). Outros 23% são transportados combinados à hemoglobina e outros 7% dissolvido no plasma. Em condições de repouso são transportados dos tecidos para os pulmões aproximadamente 4 ml de CO_2 /100 ml de sangue.

No trajeto do O_2 as diferenças de pressões são bem maiores do que para o CO_2 . No entanto, isso é compensado pela alta solubilidade do CO_2 que é 20 vezes maior que o O_2 .

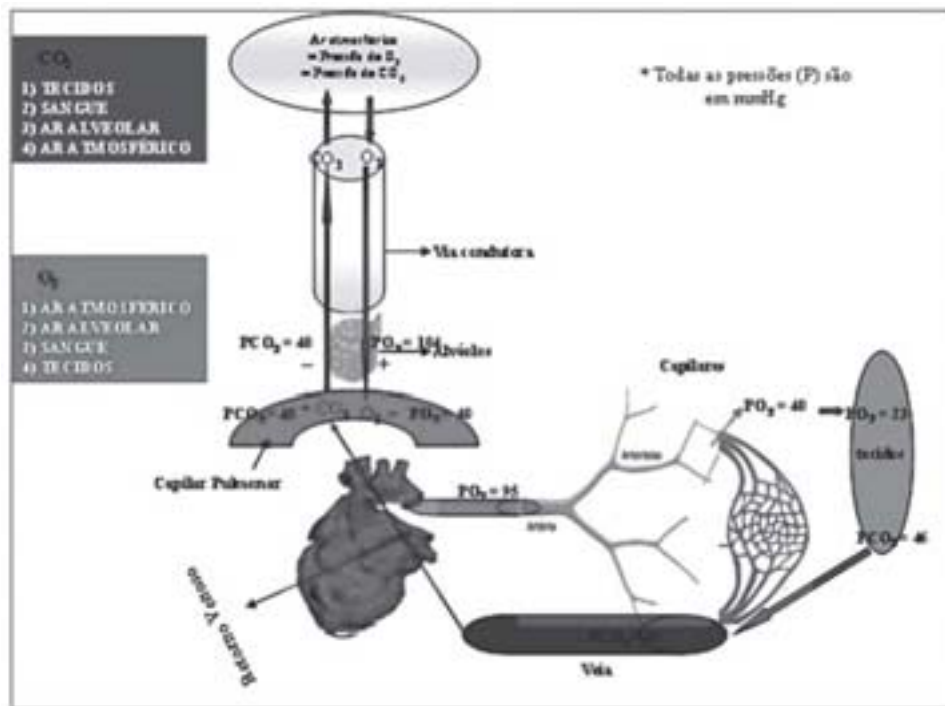


Figura 7 – Transporte de O_2 e CO_2 no sangue

REGULAÇÃO DA RESPIRAÇÃO

Depois de estudarmos toda a mecânica da ventilação pulmonar, das trocas gasosas e do transporte dos gases vamos agora entender como tudo isso é controlado.

A regulação da respiração visa ajustar a ventilação às necessidades do corpo, de modo que as pressões parciais de O_2 e CO_2 no sangue pouco se alteram, mesmo durante exercícios extenuantes. Esse ajuste é fundamental, pois, caso isso não ocorra, teremos no nosso sangue uma situação de hipercapnia (aumento de CO_2) e hipóxia (diminuição de O_2). Tanto a hipercapnia quanto a hipóxia podem, se não tratada, nos levar a um estado de coma e, posteriormente, à morte. Tudo isso normalmente é evitado graças a um mecanismo automático que regula, a cada momento, nossa respiração, de acordo com a nossa necessidade a cada instante.

A regulação da respiração é dependente preferencialmente de estímulos nervosos que são auxiliados pela diminuição ou aumento de substâncias químicas no sangue (O_2 , CO_2 , H^+).

O controle nervoso da respiração na grande parte do tempo é involuntário, automático, tendo como centro integrador, o tronco encefálico, especialmente as regiões de bulbo e ponte. A respiração também pode ser controlada voluntariamente via feixes nervosos descendentes corticoespinais, dessa forma os músculos respiratórios estão também sujeitos a nossa vontade, por isso podemos prender a respiração, por exemplo.

Esse centro integrador, chamado de centro respiratório, é encarregado de controlar a cada instante a nossa respiração e é dividido em 4 zonas ou áreas respiratórias a saber:

- Grupo Respiratório dorsal (GRD) ou área inspiratória: compreende um agrupamento de neurônios auto-excitáveis que a cada 5 segundos aproximadamente se excitam gradativamente e faz com que inspiremos por aproximadamente 2 segundos. Esses neurônios estão localizados na região dorsal do bulbo. Controla o nosso ritmo ventilatório básico, de repouso. Recebe aferências dos nervos vago e glossofaríngeo que transmite informações sensoriais dos quimioceptores periféricos e receptores pulmonares além de receber impulsos nervosos dos quimioceptores encefálicos (área quimiossensível).

Desse grupo respiratório, durante a inspiração, partem sinais nervosos que excitam, na medula espinhal, neurônios motores que inervam os músculos da inspiração (diafragma e intercostais externos). A inervação do músculo diafragma, principal músculo inspiratório, é feita pelo nervo frênico. Isso causa a contração desses músculos promovendo a expansão da caixa torácica e pulmão, com conseqüente diminuição das pressões alveolar e pleural o que promove o influxo de ar. Lembremos que a

expiração de repouso, que dura por volta de 3 segundos, é dependente somente do relaxamento dos músculos inspiratório e da força de retração elástica pulmonar o que promove a retração da caixa torácica e pulmão com conseqüente aumento das pressões alveolar e pleural o que promove o efluxo de ar. Para que isso aconteça, os neurônios da área inspiratória deixam de enviar impulsos nervosos aos músculos respiratórios promovendo o seu relaxamento.

- Grupo Respiratório Ventral (GRV) ou área expiratória: compreende um grupamento de neurônios, localizados na região ventrolateral do bulbo, lateral e anteriormente ao GRD. São praticamente inativos durante a respiração normal, no entanto, durante o esforço respiratório o GRV atua como acessório na inspiração auxiliando o GRD e como ator principal durante expiração. Os neurônios do GRV, quando ativados, estimulam neurônios motores localizados na porção inferior da medula espinhal os quais inervam os músculos expiratórios, abdominais e intercostais internos. Funciona como um mecanismo de reforço.

- Centro Pneumotáxico: compreende um grupamento de neurônios, localizados dorsalmente na região superior da ponte, cujos axônios se projetam em direção ao GRD. Tem a função de limitar a inspiração, por enviar sinais nervosos inibitórios ao GRD. Portanto, quando em atividade aumentada, a inspiração torna-se mais curta e a frequência respiratória, conseqüentemente, tende a aumentar.

- Centro Apnêustico: compreende um grupamento de neurônios, localizados inferiormente na região da ponte, cujos axônios se projetam em direção ao GRD. Tem a função de aumentar a profundidade da inspiração.

Até o momento nós discutimos os mecanismos nervosos básicos envolvidos no controle da respiração. No entanto, como a finalidade desse controle é a manutenção de concentrações adequadas de O_2 , CO_2 , H^+ nos tecidos, é de se esperar que o centro respiratório seja altamente sensível à variações de concentração dessas substâncias no sangue. Isso é o controle químico da respiração.

CONTROLE QUÍMICO DA RESPIRAÇÃO

Situada entre as áreas inspiratória e expiratória existe a área quimiossensível que controla a atividade de ambas. Essa área é constituída de neurônios, chamados de quimioceptores encefálicos, especialmente sensíveis ao aumento da concentração de íons H^+ livres nessa região. Mas acontece que, na prática, verificamos que um aumento de CO_2 no sangue provoca indiretamente muito mais o aumento na atividade da área quimiossensível do que um aumento na concentração de H^+ em igual proporção no sangue. Isso ocorre porque o gás carbônico apresenta uma solubilidade muitas vezes maior do que a do H^+ e, com isso, atravessa a

barreira hematoencefálica com muito mais facilidade. Quando o CO_2 atinge a área quimiossensível ele reage com a água e pela ação da enzima anidrase carbônica, formam o ácido carbônico que se dissocia formando íons H^+ e HCO_3^- . É o H^+ (redução de pH - acidose) que diretamente excita os neurônios que constituem a área quimiossensível. Essa área, quando ativada diretamente pelo aumento de íons H^+ e indiretamente pelo aumento de CO_2 aumenta a intensidade de sinais nervosos tanto inspiratórios quanto expiratórios para os músculos da respiração aumentando a ventilação alveolar, o que estabilizará a pressão parcial de CO_2 no sangue. Vale ressaltar, que de maneira inversa, uma queda de CO_2 , causada por uma hiperventilação, reduz também a concentração de íons H^+ (aumento de pH - alcalose) deprime a atividade da área quimiossensível reduzindo a ventilação pulmonar, o que acontece, por exemplo, em estados ansiosos.

Em menor intensidade essa área quimiossensível é estimulada pela queda da pressão parcial de O_2 no sangue. Isso acontece da seguinte maneira:

Quando a pressão parcial de O_2 cai a valores abaixo de 60 mmHg no sangue, o que normalmente acontece quando vamos a lugares com grande altitude, onde a pressão de O_2 na atmosfera é baixa, quimioceptores periféricos, localizados nos corpúsculos aórticos e carotídeos, são estimulados e via nervo vago e glossofaríngeo enviam sinais sensoriais á área quimiossensível que por sua vez excitam os neurônios dos centros respiratórios também causando aumentando da ventilação pulmonar. Portanto, a queda da pressão de O_2 (abaixo de 60 mmHg) não tem efeito direto sobre os centros respiratórios, ou seja, para causar aumento da ventilação alveolar, antes, devem estimular a área quimiossensível.

Percebemos, portanto, que os quimioceptores encefálicos são mais sensíveis ao aumento de CO_2 e H^+ , enquanto que os quimioceptores periféricos são mais sensíveis à queda de O_2 .

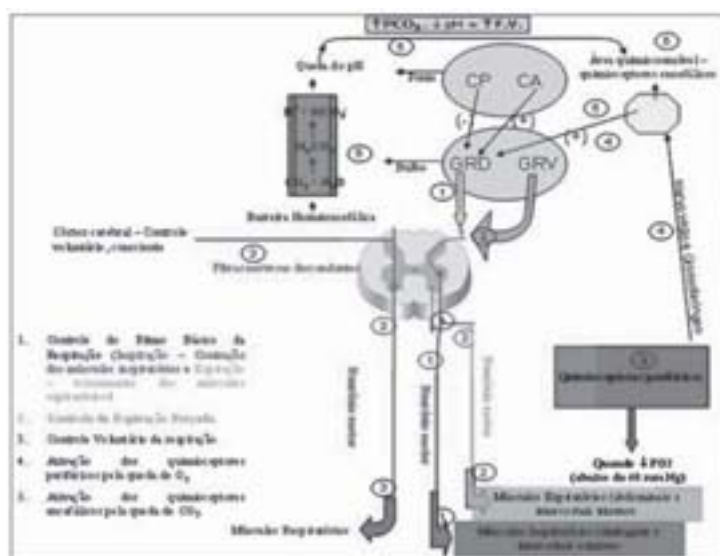


Figura 5 - Controle Nervoso e Química da Respiração.
 Siglas CP=Centro Paraventricular, CA=Centro Apneustico, GRD=Gênesis Respiratória Dorsal, GRV=Gênesis Respiratória Ventral

CONCLUSÃO

A partir desta aula podemos concluir que o sistema respiratório, através de suas estruturas e funções, é fundamental por permitir as trocas e transporte dos gases O_2 e CO_2 , além de serem auxiliares importantes na manutenção do equilíbrio ácido-básico.

RESUMO



O objetivo da presente aula foi descrever as estruturas que compõem o sistema respiratório (Zona de Condicionamento e Condução do Ar - cavidade nasal, faringe, laringe, traquéia, brônquios, bronquíolos; Zona Respiratória que inclui os bronquíolos respiratórios, os ductos e sacos alveolares) e discutir suas principais funções. Começamos mostrando que as estruturas que compõem a cavidade nasal umidificam, aquecem e filtram o ar condicionando-o; em seguida vimos que esse ar é conduzido pelas estruturas que constituem a zona condutora em direção aos alvéolos. Nesse local ocorrem as trocas gasosas onde, por diferença de pressão (+ e -), (1) o oxigênio atravessa a membrana respiratória, se combina com a hemoglobina do sangue e é transportado em direção aos tecidos e (2) o gás carbônico liberado pelos tecidos é transportado de volta ao coração direito e deste para os pulmões (através da artéria pulmonar e capilares pulmonares) atravessa a membrana respiratória sendo eliminado seu excesso para o ar atmosférico. Dessa forma, fica claro que o O_2 segue o sentido ar atmosférico e ar alveolar e tecidos e o CO_2 o sentido inverso. Ainda discutimos todo o processo mecânico da respiração, mostrando que a inspiração é sempre dependente da contração dos músculos inspiratórios (diafragma e intercostais externos); já a expiração normalmente é passiva no repouso (relaxamento dos músculos inspiratórios e retração elástica do pulmão), mas pode se tornar ativa durante uma expiração forçada (contração dos músculos abdominais e intercostais internos). Foi visto que o movimento do ar durante os ciclos respiratórios é dependente de alteração das pressões pleural (determina maior ou menor expansão pulmonar), normalmente negativa e alveolar que pode ser positiva (expiração) ou negativa (inspiração) em relação ao ar atmosférico, determinando a direção do fluxo de ar. Por fim, vimos como a respiração é regulada através do sistema nervoso, na maioria do tempo, de maneira involuntária auxiliado pelo acúmulo ou diminuição de substâncias químicas (O_2 , CO_2 e H^+) nos líquidos corporais.

AUTO-AVALIAÇÃO

1. Descreva as estruturas que compõe o sistema respiratório.
2. Explique as funções das zonas condutoras e respiratória?
3. Quais os efeitos de uma ativação simpática, ou parassimpática, sobre a resistência à passagem do ar?
4. Quais os efeitos de uma ativação simpática, ou parassimpática, sobre a resistência à passagem do ar?
5. Como se dá a inspiração e expiração? Cite os músculos envolvidos.
6. Qual a importância das pressões alveolar e pleural? Como elas se alteram durante os ciclos respiratórios?
7. Como se dá as trocas e o transporte dos gases oxigênio e gás carbônico?
8. Como se dá a regulação nervosa e química da respiração?



PRÓXIMA AULA

Após você ter tido noções básicas da fisiologia do sistema respiratório; a próxima aula falará sobre o sistema do cardiovascular.



REFERÊNCIAS

- BERNER RM, LEVY MN, KOEPPEN BM, STANTON BA. **Fisiologia**. 5 ed. Editora Elsevier, Rio de Janeiro: 2004.
- COSTANZO, L.S. **Fisiologia**. 3 ed. Editora Elsevier, Rio de Janeiro: 2007.
- GUYTON AC, HALL JE. **Tratado de Fisiologia Médica**. 11 ed. Editora Elsevier, Rio de Janeiro: 2006.
- SILVERTHORN DU. **Fisiologia Humana** - Uma Abordagem Integrada. 2 ed., Editora Manole, São Paulo: 2003.