

2. O ar que respiramos

Introdução

A função básica do sistema respiratório consiste em suprir o organismo com oxigênio (O₂) e dele remover o gás carbônico (CO₂). Como isso acontece? Que órgãos são responsáveis por este processo?

Se por um lado no homem (como também nos demais mamíferos, aves e répteis) os pulmões constituem o único local de captação do oxigênio do ar atmosférico, por outro, a eliminação do gás carbônico é feita pelos pulmões e também pelos rins (na forma de carbonatos). No entanto, os pulmões constituem o local onde a regulação da eliminação de gás carbônico pode ser feita de forma muito rápida e eficiente, sendo, portanto, fundamental para o controle da acidez do meio interno.

Para que as trocas gasosas entre o meio ambiente e o sangue possam acontecer com a necessária eficiência, os seres humanos têm uma superfície pulmonar de 70 a 100 m². Constitui-se na maior área de contato do organismo com o meio ambiente, muito maior do que a da pele. Essa enorme superfície fica contida no interior do tórax e apresenta-se sob a forma de cerca de 300 milhões de alvéolos pulmonares.

A circulação pulmonar é muito rica em vasos, particularmente os capilares; é apenas de 0,5 micrômetro a espessura do tecido a separar o ar alveolar do sangue. Isso permite que as trocas gasosas entre esses dois compartimentos se efetuem de forma muito eficiente.

Se, por um lado, esta organização estrutural do pulmão é positiva do ponto de vista das trocas gasosas, por outro, os pulmões passam a constituir-se em uma porta de entrada importante para agentes nocivos à saúde como microorganismos e vapores, gases e aerossóis contidos no ar ambiente.

Feche a boca e abra os olhos

Quando você inspira, o ar penetra na cavidade nasal, através de dois orifícios denominados narinas. Nesta região, existe uma rede de pêlos – as vibrissas – responsável pela retenção das partículas maiores de poeira. É claro que se você tiver o hábito de aparar estes pêlos, usando aquele famosa

tesourinha, poderá até ficar mais bonito(a), mas a poeira entrará mais livremente em seu nariz.

Vamos examinar a morfologia da cavidade nasal nas Figuras 2.1 e 2.2.

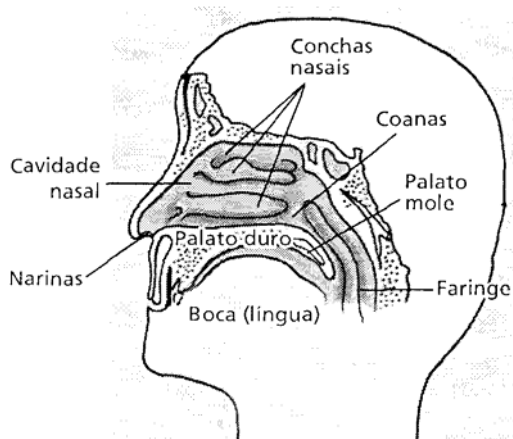


Figura 2.1: Corte sagital da cavidade nasal, mostrando a estrutura interna e a comunicação com a faringe.

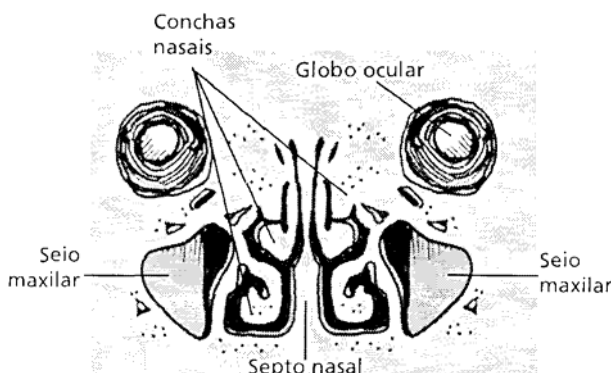


Figura 2.2: Corte frontal da cavidade nasal, mostrando o septo e as conchas nasais. Repare com a cavidade é estreita e como as conchas nasais aumentam a superfície de contato.

Mas todos nós sabemos que é possível inspirar pela boca. Sem dúvidas, respirando assim, entrará um maior volume de ar, pois a cavidade da boca é mais ampla do que a cavidade nasal e você ainda poderia ampliá-la como em um doce bocejo. Então, por que tanto insistem para que a gente inspire pelo nariz? A explicação para isso é muito simples: para que o ar adquira algumas qualidades.

A cavidade nasal, além de muito pequena é dividida por um septo, denominado septo nasal, e cheia de relevos em seu interior, as conchas

nasais. As conchas são projeções de lâminas ósseas delgadas recobertas com uma espessa mucosa: a mucosa nasal. Uma das características da mucosa que recobre as superfícies das conchas nasais é a existência de um tecido esponjoso que enche e esvazia de sangue, variando, portanto, o volume da concha nasal. Além do mais, a cavidade nasal se comunica com outros espaços, presentes nos ossos frontal, maxila, esfenóide e etmóide (ossos da face). Esses espaços aerados situados no interior destes ossos são conhecidos como seios da face. A mucosa nasal, então, penetra e reveste o interior destas cavidades. Na Figuras 2.3.a e 2.3.b, você poderá examinar a localização dos seios da face.

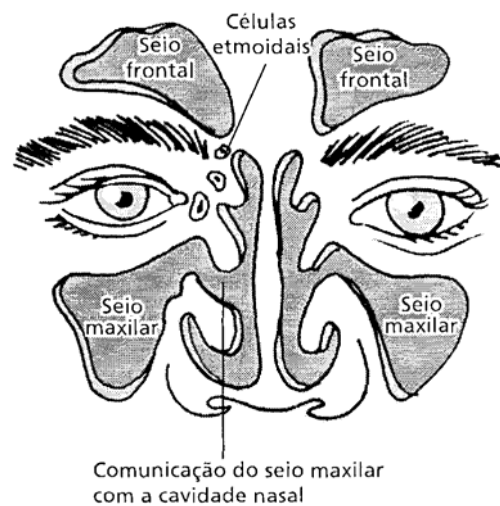


Figura 2.3.a: Esquema da face, com a localização dos seios (da face) maxilar, etmoidal e frontal. Observe, no exemplo do seio maxilar, como as cavidades dos seios são comunicadas com a cavidade nasal. Fonte: www.aaaai.org/patients/topicofthemonth/1004/

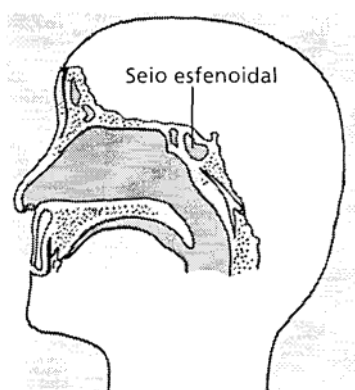


Figura 2.3.b: Corte sagital da cabeça, no qual podemos ver o seio esfenoidal. Fonte: www.blumdesign.com/.../05.htm

Observe, então, o grande e estreito labirinto que o ar percorre quando entra pelas narinas. Por que isto é tão importante? Esta dificuldade inicial do ar em penetrar livremente pelo nariz é essencial para que ele ganhe qualidade, uma vez que aumenta o tempo de contato do ar (cheio de impurezas) com a mucosa nasal. Este contato, relativamente demorado, do ar com a mucosa nasal é que possibilita um processamento adequado, através do qual o ar inspirado será aquecido, umidificado e limpo de poeira e de microorganismos.

O ar que entra pela cavidade nasal, após o processamento, dirige-se para a faringe, através de uma comunicação posterior denominada coana. A faringe é um tubo que conduz o ar em direção à laringe. Posiciona-se por trás das cavidades nasal e oral e, por este motivo é que a inspiração pode ser feita pela boca em caso de necessidade. Examine alguns detalhes da anatomia da faringe e de suas relações de proximidade com as cavidades nasal e oral nas Figuras 2.4.

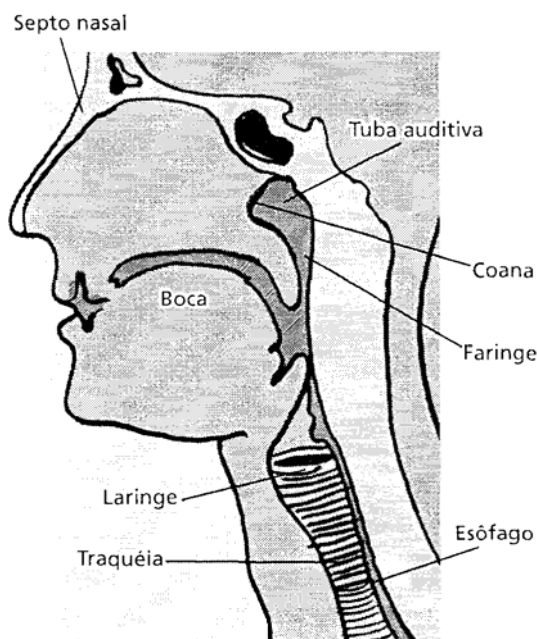


Figura 2.4: Corte sagital da cabeça e do pescoço, no qual podemos identificar a faringe comunicando-se com a cavidade nasal (pelas coanas), com a boca, com a laringe e o esôfago.
Fonte:
www.evidencystore.com/netter/head_neck.htm

Uma árvore frondosa no caminho do ar: a via traqueobrônquica

A partir do nível da laringe, isto é, da cartilagem cricóide, o ar inspirado segue pela traquéia e pelos brônquios, que você poderá acompanhar nas Figura 2.5.

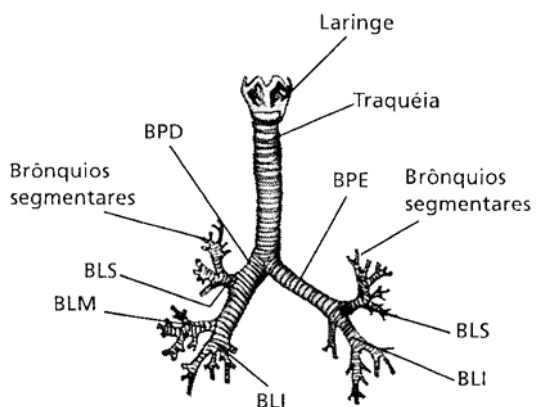


Figura 2.5: Observe neste esquema, as diferenças entre as ramificações da via aérea no pulmão direito e esquerdo. Legenda: B= brônquio, P= principal, L= lobo, S= superior, M= médio, I= inferior, D= direito, E= esquerdo.

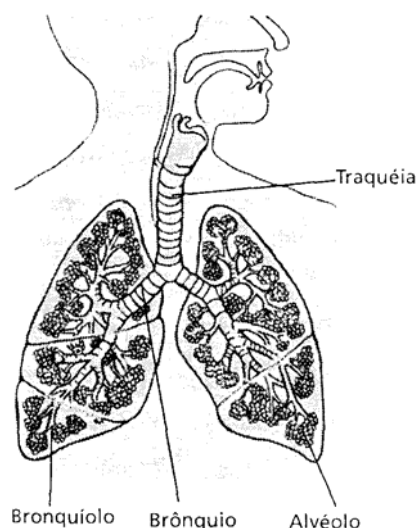


Figura 2.6: Observe neste esquema, as diferenças entre as ramificações da via aérea no pulmão direito e esquerdo. Legenda: B= brônquio, P= principal, L= lobo, S= superior, M= médio, I= inferior, D= direito, E= esquerdo.

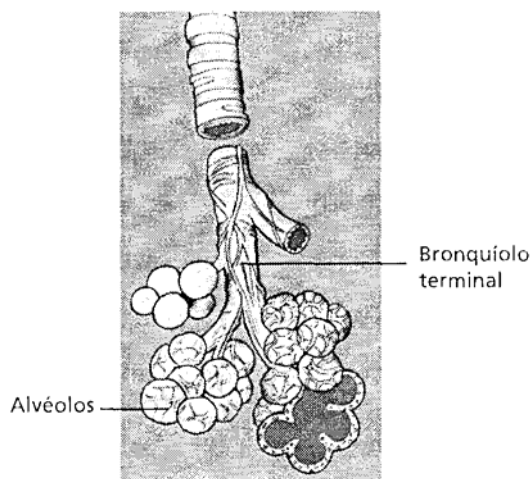


Figura 2.7: Observe neste esquema, as diferenças entre as ramificações da via aérea no pulmão direito e esquerdo. Legenda: B= brônquio, P= principal, L= lobo, S= superior, M= médio, I= inferior, D= direito, E= esquerdo.

A traquéia projeta-se desde a transição com a laringe até o interior do tórax no qual, logo acima do coração, se divide em dois brônquios principais: direito e esquerdo. Cada um dos brônquios dirige-se ao pulmão

correspondente. O ar que foi inspirado, neste ponto, divide-se em duas correntes, distribuindo-se aos dois pulmões. No interior dos pulmões, os brônquios principais se dividem em brônquios lobares que se distribuem aos lobos dos pulmões: sendo três lobos à direita e dois à esquerda. Por sua vez, os brônquios lobares voltam a se dividir em brônquios segmentares em número de 18, sendo 10 à direita e oito à esquerda. E assim as divisões vão se sucedendo, perfazendo 23 gerações de divisões de dutos, criando, desta forma, uma grande arborização do sistema traqueobrônquico. A ramificação das vias aéreas e a formação dos alvéolos podem ser observados nas Figuras 2.6 e 2.7.

Finalmente, o ar chega aos alvéolos que são dilatações saculares que apresentam uma íntima associação de proximidade com os capilares pulmonares. Os pulmões de um homem adulto têm, em média, 300 milhões de alvéolos. Nesta interface alvéolo-capilar é que ocorre a hematose, isto é, a difusão dos gases respiratórios. Um esquema das trocas entre o alvéolo e os capilares é mostrado na Figura 2.8.

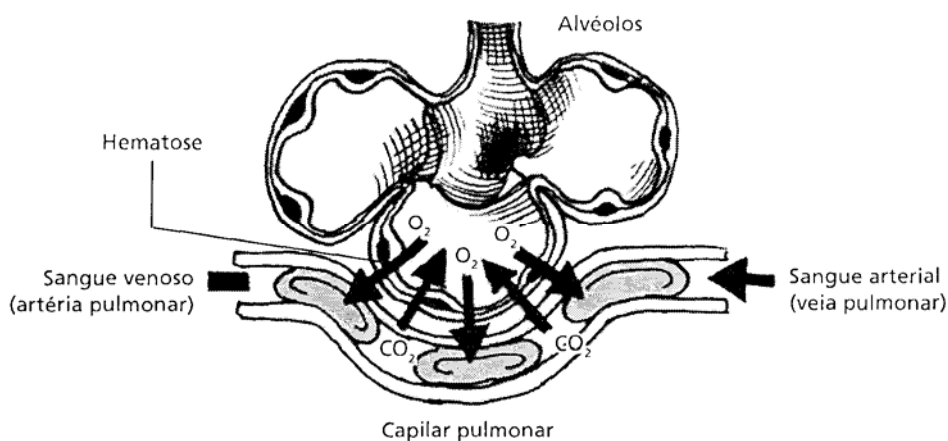


Figura 2.8: Esquema representando a arterialização do sangue venoso pulmonar, graças a hematose. Observe a importância do sistema circulatório na respiração. Fonte: [www. Scientific-art.com/.../haemoglo.htm](http://www.Scientific-art.com/.../haemoglo.htm)

Os pulmões

Vamos integrar o estudo dos pulmões com o conhecimento que já temos das vias aéreas. Acompanhando a entrada do ar na inspiração, podemos perceber que parte das vias aéreas está situada no interior dos pulmões (intra-pulmonar), enquanto uma outra parte é extra-pulmonar. O limite entre as duas partes fica situado nos brônquios principais que é o último trecho localizado fora dos pulmões. Os brônquios lobares (e os segmentos mais distais) estão situados no interior da estrutura pulmonar.

Vamos, então, examinar a anatomia do pulmão humano na Figura 2.9.

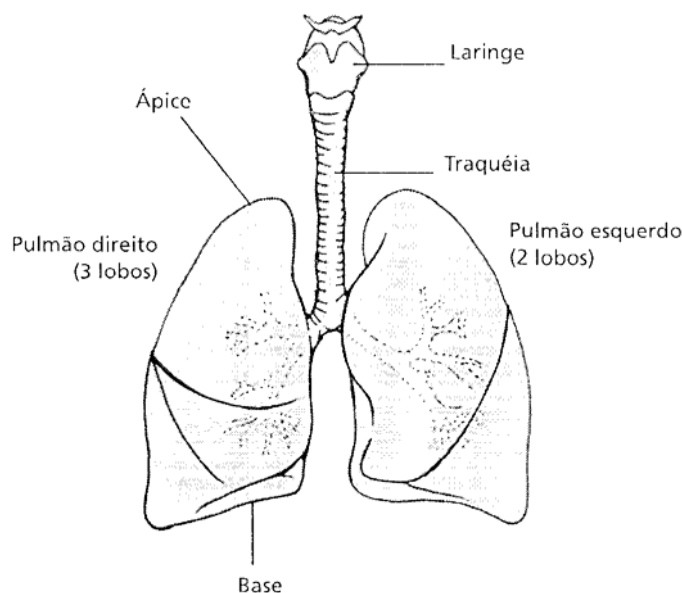


Figura 2.9: Esquema representando a diferença na divisão lobar dos dois pulmões, bem como a relação com a via aérea.

Observe que os pulmões lembram a figura de uma pirâmide, com os ápices projetados superiormente (próximo às clavículas) e a bases inferiormente, em contato com o músculo diafragma, que estudaremos em seguida. É fácil identificar cada um dos pulmões, mesmo separadamente, uma vez que o pulmão direito apresenta três fissuras dividindo-o em três lobos (superior, médio e inferior) e o esquerdo com dois lobos (superior e inferior)

separados por uma única fissura. O pulmão esquerdo é ligeiramente menor do que do lado direito, pois o coração ocupa uma parte do lado esquerdo do tórax. Contudo, ambos recebem o mesmo volume de ar.

Como respiramos?

Na Figura 2.10 podemos ver uma representação da dinâmica respiratória.

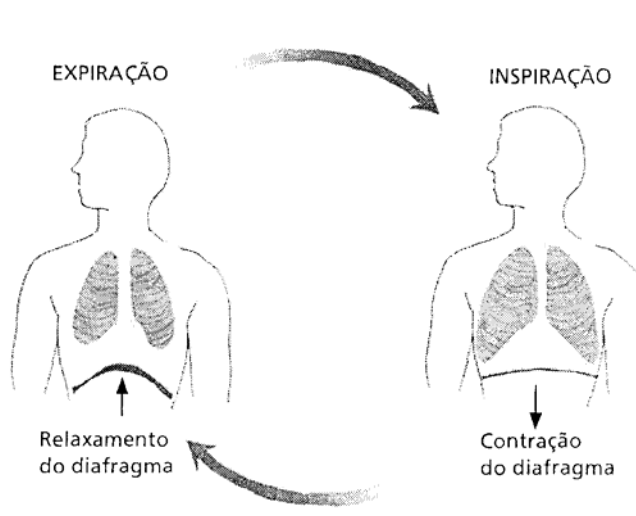


Figura 2.10: Observe neste esquema, como se dá o movimento do diafragma aumentando e diminuindo o volume da cavidade do tórax na inspiração e na expiração, respectivamente.

Você pode observar que, ao inspirar, ocorre um movimento de expansão das paredes do tórax. Veja em você mesmo. Inspire fundo e observe como o seu tórax se expande. Esse aumento do volume da sua caixa torácica é responsável pela entrada do ar pelas narinas. Vamos contar um segredo a você: não é a entrada de ar que faz o seu tórax expandir, mas exatamente o contrário! O aumento de volume da caixa torácica é que faz o ar entrar. Mas como isso acontece?

Vamos examinar as Figuras 2.11 e 2.12 para entender como os principais músculos da respiração atuam no movimento do tórax.

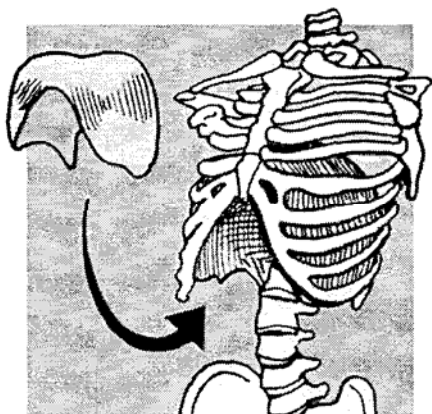


Figura 2.11: Posição e forma do músculo diafragma (pára-quadras ou cúpula). Esta forma favorece as variações de volume da cavidade do tórax na ventilação. Fonte: www.nlm.nih.gov/.../ency/imagepages/19072.htm

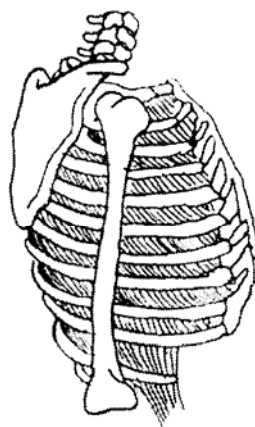


Figura 2.12: Disposição dos músculos intercostais, importantes nos movimentos das costelas, durante a ventilação dos pulmões.

Observe como o diafragma – aquele músculo que separa as cavidades torácica e abdominal – tem uma forma de pára-quadras ou de cúpula. Ao contrair as suas fibras, ele abaixa essa cúpula e por isso, ocorre um aumento da dimensão vertical da cavidade torácica. Em contrapartida, os músculos intercostais atuando nas costelas, promovem a sua elevação (acompanhada pela elevação do osso esterno). A ação dos intercostais provoca o aumento das dimensões lateral e anteroposterior da cavidade do tórax. Assim, o aumento nas dimensões do tórax, traz como consequência um aumento do volume da cavidade.

Como aprendemos da Física, quando aumentamos o volume de uma cavidade fechada, o que ocorre com a pressão interna? Perfeito, ela será reduzida! Cria-se, assim, uma diferença entre as pressões: intratorácica e atmosférica. Como os alvéolos estão comunicados ao exterior por intermédio das vias aéreas, o ar atmosférico entrará. Eis a inspiração que precisávamos, como diria o nobre poeta!

E como faremos para o ar sair, na expiração? Muito simples! Basta relaxar os músculos referidos. A parede do tórax e os pulmões, que foram

esticados na inspiração, agora, sem o efeito da musculatura, volta ao estado anterior, como se fosse um elástico. Neste processo, dá-se o inverso, ou seja, reduz-se o volume do tórax, com um conseqüente aumento da pressão interna que, assim, se torna maior do que a pressão atmosférica. O ar, então, sai pelas vias aéreas seguindo esta diferença de pressões.

Mas, ficamos devendo a você uma explicação. Como as pleuras e o líquido pleural agem nesta mecânica respiratória? Observe que o movimento descrito pelas ações musculares refere-se à parede torácica (os músculos agem diretamente na parede do tórax). Como é que estes movimentos são acompanhados por movimentos dos pulmões, que também se expandem na inspiração e se retraem na expiração?

A parede do tórax expande e traciona a pleura parietal que, aderida pela alta tensão superficial do líquido pleural, atrairá a pleura visceral. Assim, os alvéolos são tracionados e têm o seu volume interno aumentado. Portanto, a ventilação dos nossos pulmões depende, em grande parte, desta “aderência” do líquido pleural a quem prestamos, agora, a nossa mais sincera homenagem.

O que ocorre quando precisamos aumentar a nossa capacidade de ventilar os pulmões, quando estamos fazendo algum exercício? Claro, se em repouso, inspiramos e expiramos cerca de 0,5 L de ar como faremos para aumentar esse volume para 1 L?

Há dois mecanismos simultâneos: o primeiro, através de um recrutamento de um número maior de fibras dos músculos que já estavam atuando, como o diafragma e os intercostais. Em segundo lugar, por meio da ação de músculos auxiliares ou acessórios, que, normalmente, não são usados na respiração, mas que são acionados em uma emergência, como os músculos peitoral maior e esternocleidomastóideo.

Como você já deve ter percebido, na expiração em repouso, não há ação de músculos expiratórios, uma vez que a saída do ar depende de um relaxamento dos músculos inspiratórios e um retorno do tórax ao estado inicial, devido a uma retração elástica da parede e dos pulmões. Contudo, há momentos em que a expiração deve ser forçada, como ocorre nos exercícios físicos, na tosse e em casos de dispnéia, como ocorre na asma. Nestas situações, somos obrigados a recrutar a ação da musculatura expiratória, como

por exemplo, os músculos da parede abdominal, para que um maior volume de ar possa ser retirado do tórax.

Mas lembre-se de que os músculos são comandados pelo sistema nervoso. Existem centros respiratórios (no encéfalo) que mandam estímulos para a medula espinhal e, pelos nervos, estes estímulos chegam aos músculos respiratórios.

Podemos, então, concluir que a respiração é um processo que ocorre no interior de todas as células do organismo e que o sistema respiratório é responsável direto por duas etapas essenciais na respiração: a ventilação dos alvéolos e a hematose. Estas etapas permitem, em última análise, que o oxigênio atmosférico seja conduzido aos capilares pulmonares e, distribuídos a todas as células.

Transporte de gases no sangue

OXIGÊNIO

Como é feito o transporte de oxigênio no sangue?

O oxigênio é transportado no sangue sob duas formas: dissolvido, e combinado à hemoglobina. Vamos estudar estas duas formas de transporte, separadamente, e entender a relação existente entre ambas.

Oxigênio dissolvido

Quando o oxigênio se difunde dos alvéolos para o sangue, quase todo ele penetra nas hemácias e se combina com a hemoglobina, de modo que sua concentração em solução no citoplasma da hemácia é mantida sempre muito baixa. Logo, somente uma pequena porção permanece no plasma e é transportada para os tecidos em solução física.

A solução de um gás em um líquido obedece à lei de Henry. O que isto significa exatamente? A quantidade de oxigênio dissolvida no plasma é diretamente proporcional à sua pressão parcial no sangue. Para cada mmHg

de PO_2 , há 0,003 mL de O_2 dissolvido em 100 mL de sangue (este parâmetro é, freqüentemente, expresso como 0,003 vol%). Assim, no sangue arterial normal (considerando-se a PO_2 igual a 100 mmHg), há somente 0,3 vol% de oxigênio dissolvido, ou seja, 0,3 mL de oxigênio dissolvido em cada 100 mL de sangue.

Como a hemoglobina transporta oxigênio?

Cerca de um terço da massa da hemácia corresponde à hemoglobina, o que condiz com a importância desta proteína no transporte de oxigênio pelo sangue. No repouso, cerca de 95% do oxigênio fornecido aos tecidos é transportado com a hemoglobina e, durante a atividade física intensa, este valor é ainda maior, ultrapassando 99%.

Relembrando, resumidamente, o que você aprendeu em Bioquímica, a porção polipeptídica da molécula da hemoglobina normal do adulto (HbA) é composta por quatro cadeias de aminoácidos: duas alfa (cada uma composta por 141 resíduos de aminoácidos) e duas beta (cada uma formada por 146 resíduos de aminoácidos). Ligada a cada uma destas cadeias, há um grupamento heme, um complexo formado por uma protoporfirina e um íon ferro no estado ferroso. A este íon ferroso se associa o O_2 , formando a oxiemoglobina (HbO_2).

Assim, cada molécula de hemoglobina é capaz de transportar até quatro moléculas de O_2 , já que tem quatro grupamentos heme. A quantidade de O_2 efetivamente associada à hemoglobina depende da PO_2 do plasma, ou seja, da pressão parcial do O_2 dissolvido no plasma que, por sua vez, é igual ao dissolvido no citoplasma da hemácia. Isto ocorre porque a combinação do oxigênio com a hemoglobina representa um processo reversível e em equilíbrio, dependente da PO_2 a que está exposta a hemoglobina.

DIÓXIDO DE CARBONO

Uma vez que o organismo humano produz em média 200 mL de CO_2 por minuto, este gás precisa ser eliminado das células produtoras para o exterior do organismo. A captação de CO_2 produzido pelas células e seu transporte até o pulmão, onde é liberado para o gás alveolar e daí para o meio ambiente, é feito pelo sangue. Por isto, a PCO_2 é maior nas células ativas do

que no sangue a fluir pelos capilares. Por conseguinte, ele se difunde das células para o plasma, através do interstício.

O dióxido de carbono é transportado no sangue sob várias formas: (1) CO_2 dissolvido, (2) íons bicarbonato (HCO_3^-), (3) carbaminohemoglobina e outros compostos carbamínicos e (4) quantidades diminutas de ácido carbônico (H_2CO_3^*) e íons carbonato (CO_3^{2-}). Quando se analisa o sangue para determinar seu teor total de CO_2 , estão incluídas todas essas formas moleculares.

Lembre!

A principal função do sistema respiratório é promover a troca gasosa. A troca de gases tanto nos pulmões como nos tecidos periféricos é feita através da difusão. O oxigênio é majoritariamente transportado ligado à hemoglobina, a maior parte do CO_2 é transportada na forma de bicarbonato dissolvido no plasma, mas produzido dentro das hemácias através da reação de hidratação do gás carbônico catalizada pela anidrase carbônica aí presente. A hemácia é portanto fundamental para o transporte de ambos os gases.

Texto de:

Adilson Dias Salles

Patrícia Rieken Macedo Rocco

Masako Oya Masuda

Adaptado por:

Roberta F. Ribeiro Rolando