

Série Risco de Inalação de Substâncias Químicas:

Aspectos gerais do mecanismo de respiração do ser humano

por Eng. Marcos Portela



Este é o artigo inicial de uma série de artigos rápidos com esclarecimentos sobre riscos decorrentes da inalação de substâncias químicas. Não há pretensão em esgotar a discussão sobre o tema. O objetivo principal é alertar sobre alguns riscos ocultos.

Neste primeiro artigo, um pouco mais longo, esclareço o princípio básico do mecanismo da respiração humana para que seja possível entendermos posteriormente a interação dos químicos com nosso sistema respiratório.

Para este artigo foram usadas informações do livro Manual de Proteção Respiratória, de nosso eterno tutor Maurício Torloni em parceria com Antonio Vladimir Vieira, e informações básicas de fisiologia do sistema respiratório encontradas em diversas literaturas da área e até mesmo em apostilas do ensino médio.

Todos nós aprendemos no ensino médio que o oxigênio, presente em cerca de 20,9% no ar atmosférico, é um elemento químico necessário para realizarmos a respiração aeróbica no nosso organismo, a qual resulta em energia, água e dióxido de carbono.

Para que isto ocorra o oxigênio tem que chegar até nossas células e como mecanismo de entrada em nosso corpo é usado o pulmão.

Ao contrário do que muitos pensam não precisamos somente de uma porcentagem específica de oxigênio no ar inalado, necessitamos sim que o oxigênio inalado esteja em pressão suficiente para que ocorra a troca gasosa em nossos alvéolos pulmonares.

Em poucas palavras um morador da cidade de São Paulo (ou qualquer outra cidade com a mesma altitude) que viaja à La Paz (Bolívia) sentirá dificuldade respiratória em uma atmosfera onde o oxigênio também está em cerca de 20,9% do ar atmosférico.

Isto decorre do fato que por estar em uma altitude superior em La Paz (cerca de 3.640 m em relação ao nível do mar) a pressão atmosférica é menor, e conseqüentemente a pressão do oxigênio inalado sobre nossos alvéolos pulmonares é menor.

Portanto o que importa é a pressão do oxigênio inalado sobre os alvéolos pulmonares e não somente a concentração do oxigênio no ar atmosférico.

Desta forma temos envolvido em nosso mecanismo respiratório o conceito de pressão parcial, que pode ser entendido de forma simples como sendo a pressão que um gás exerce individualmente em uma mistura com outros gases (pressão total é a somatória das pressões parciais).

Ou seja, se um morador de uma cidade litorânea (pressão atmosférica de 760 mmHg) necessita de 20,9% de oxigênio significa que este indivíduo necessita de uma pressão parcial de oxigênio na entrada de seu sistema respiratório de cerca de 159 mmHg (20,9% de 760 mmHg).

Com uma pressão parcial de 159 mmHg (e os 601 mmHg restantes dos outros gases presentes no ar atmosférico) o oxigênio ao entrar em nosso sistema respiratório sofre um condicionamento com aquecimento a cerca de 37°C e é saturado em umidade com uma pressão parcial de água de 47 mmHg (proveniente da água que reveste nosso trato respiratório), resultando na redução da pressão parcial do oxigênio para 149 mmHg (devido ao condicionamento).

Antes de chegar nos alvéolos o ar que inspiramos ainda se mistura com aproximadamente 30% de residual de ar exalado, contendo cerca de 14,5% de oxigênio, 6,2% de vapor d'água, 5,3% de dióxido de carbono e 74% de nitrogênio (durante a respiração um adulto enche os pulmões com cerca de 500 ml de ar, sendo 350 ml da inspiração e 150 ml proveniente de um residual da exalação que permanece nos pulmões). Isto acarreta na redução da pressão parcial do oxigênio para 137,6 mmHg (18,1% de oxigênio).

Nos alvéolos pulmonares, que são membranas permeáveis aos gases, de um lado temos o ar atmosférico inalado, contendo o oxigênio que precisamos, e do outro temos o sangue circulando, sendo este o fluido responsável por levar o oxigênio para todas as células de nosso organismo e trazer de volta o dióxido de carbono decorrente da respiração celular. No sangue o oxigênio se liga reversivelmente à hemoglobina (que são as proteínas presentes no interior das hemácias) formando a oxihemoglobina. Já o dióxido de carbono se liga em pequena parte à hemoglobina (formando a carboemoglobina), em pequena parte ao plasma sanguíneo e em grande parte à água presente no plasma sanguíneo acidificando o sangue por formação de ácido carbônico ($\text{HCO}_3^- + \text{H}^+$). A afinidade da hemoglobina com o oxigênio ou com o dióxido de carbono decorre do pH sanguíneo, sendo que quanto mais ácido maior a afinidade terá pelo oxigênio.

No entanto, a acidificação do sangue neste processo é um dos fatores essenciais para manter o nosso corpo funcionando, pois de uma maneira simplificada e generalista a acidificação do sangue faz com que o bulbo raquidiano (presente na parte inferior do

tronco encefálico) movimenta os músculos intercostais e o diafragma, resultando na admissão de ar nos pulmões por expansão.

Voltando novamente ao mecanismo de respiração.... o sangue que retorna dos tecidos está com cerca de 40 mmHg de oxigênio e 46 mmHg de gás carbônico. Ao entrar em contato com a membrana permeável dos alvéolos este gás carbônico passa do meio de maior pressão para o meio de menor pressão, buscando equilibrar o sistema (afinal a brincadeira é como uma bexiga que você enche e solta o bocal desta, como o ar interno da bexiga está pressurizado ele tende a sair para equalizar a pressão com o meio externo).

Neste equilíbrio, o oxigênio presente do lado externo dos alvéolos, em maior pressão que o presente internamente (40 mmHg), atravessa a membrana permeável e eleva a pressão do oxigênio presente no sangue para 110 mmHg, enquanto que o dióxido de carbono tem sua pressão parcial no sangue reduzida de 46 mmHg para 40 mmHg.

O oxigênio inalado é levado para as células para realizar respiração celular (nas mitocôndrias). Este oxigênio se liga ao carbono gerados na divisão da glicose, e resulta no dióxido de carbono o qual retorna aos alvéolos iniciando um novo ciclo de troca gasosa.

Mas certamente depois de lerem tudo isto alguns de vocês devem estar se perguntando: mas é os demais gases presentes no ar atmosférico, o que acontece com eles? Bom, se o atmosférico não está contaminado basicamente é composto por nitrogênio e argônio. A afinidade destas substâncias com a hemoglobina é muito baixa, e com isto a preferência da troca gasosa é com o oxigênio que tem mais afinidade. Sendo assim, estas substâncias saem na exalação juntamente com o dióxido de carbono proveniente dos tecidos e parte do oxigênio (o qual não foi utilizado na troca gasosa).

Tendo conhecimento destas informações básicas, estamos preparados agora para entendermos melhor as interações de outros gases com nosso sistema respiratório, a exemplo do monóxido de carbono (CO) que se liga mais fortemente à hemoglobina e com isto dificulta a ligação do oxigênio ao sangue, reduzindo a quantidade de oxigênio que chega as células para realizar a remoção do carbono das mitocôndrias (retornando sob a forma de dióxido de carbono), e conseqüentemente desregulando nosso mecanismo respiratório por redução de ácido carbônico no plasma sanguíneo.

Mas isto será objeto de novo artigo.