



# MERGULHO

curso • **Fisiologia respiratória**

## • INTRODUÇÃO

Vamos falar da condição especial que encontramos no mergulho, entendendo como é a resposta do nosso corpo quando submetido a essa situação. É importante lembrar que quando os seres humanos descem às profundezas do mar, a pressão em torno deles aumenta significativamente. Uma coluna de água de 10 metros exerce a mesma pressão, em seu fundo, do que a pressão da atmosfera acima do mar. Dessa forma, a pessoa que mergulha a uma profundidade de 10 metros, está exposta a 2 atmosferas de pressão, sendo que 1 atmosfera é causada pelo ar acima da água (pressão atmosférica propriamente dita) e a outra 1 atmosfera pela própria coluna de água. **Cada 10 metros de profundidade correspondem à 1 atmosfera (atm).**

Existe um outro efeito importante da profundidade, que é a compressão dos gases. A pressão por si só, é inócua ao indivíduo, enquanto estiver sendo contrabalaneada. **O volume para o qual uma dada quantidade de gás é comprimida, é inversamente proporcional à pressão.** Esse princípio da física chama-se **lei de Boyle** e é extremamente importante na fisiologia do mergulho, porque a pressão aumentada pode colapsar as câmaras de ar do corpo do mergulhador, em especial os pulmões, podendo causar séria lesão. Na prática, se eu dobro a pressão, eu reduzo o volume pulmonar, por exemplo, pela metade. Na subida pode ocorrer a hiperinsuflação, pois o mergulhador está sob efeito de uma menor coluna de água, ou seja, menor pressão agindo sobre ele e o pulmão suscetível a uma expansão rápida, podendo levar ao colapso do órgão. Por isso que é aconselhável que durante a subida, principalmente, ele faça a expulsão através da expiração da maior quantidade possível de CO<sub>2</sub> que está dentro dos nossos pulmões para evitar essa hiperinsuflação e os seus efeitos.

## • NARCOSE POR NITROGÊNIO

É importante lembrar que cerca de 80% do ar é composto de Nitrogênio. À nível do mar ele não causa grandes efeitos ao organismo, porém quando em altas pressões pode acarretar graus variáveis de narcose. Os primeiros sintomas desse quadro acontecem quando a pessoa se encontra em uma profundidade de 36 metros. Quando ela chega entre 45 e 60 metros surge a sonolência e,



aprofundando mais ainda, por volta de 70 a 75 metros ela pode ter sua força reduzida de forma significativa, dificultando o trabalho necessário. Caso mergulhe ainda mais fundo – ultrapassando os 75 metros por um longo período de tempo –, há um risco muito alto de não conseguir mais realizar a atividade.

Esse tipo de narcose possui características semelhantes às da intoxicação por bebida alcoólica, recebendo o nome de “**êxtase das profundidades**”. O nitrogênio, assim como os gases anestésicos, se dissolve em substâncias gordurosas, como as membranas neuronais, reduzindo a condutância dos canais iônicos e, conseqüentemente, diminuindo a excitabilidade neuronal. Esse processo explica as alterações mencionadas acima, quando os indivíduos estão submetidos a grandes profundidades.

### • TOXICIDADE DO OXIGÊNIO EM PRESSÕES ELEVADAS

Em relação ao oxigênio, a sua pressão parcial tecidual extremamente alta pode levar a muitos danos para o organismo. Um mergulhador, por exemplo, que esteja sujeito a uma pressão de oxigênio de 4 atmosferas (lembrando que ele estaria então sofrendo a ação de 30 metros de coluna de água e, portanto, 3 atmosferas somado a pressão atmosférica acima da superfície de 1 atmosfera), em pouco tempo, cerca de 30 a 60 minutos, pode ter episódios de convulsões, náuseas, abalos musculares, irritabilidade, desorientação e, até mesmo, entrar em coma.

O oxigênio molecular deve estar em suas formas ativas, que de uma forma geral, são chamadas de radicais livres. Existem dois tipos mais importantes: radical livre superóxido e radical peróxido (na forma de peróxido de hidrogênio). Por mais que a pressão parcial de oxigênio tecidual esteja no seu nível normal, os radicais livres são formados continuamente. O que consegue promover o equilíbrio no organismo é que por mais que eles sejam constantemente formados, enzimas teciduais, como as peroxidases e as catalases, conseguem removê-los de forma ágil, resultando em poucos ou nenhum efeito para os tecidos. Quando o indivíduo está sujeito a grandes pressões, esses radicais oxidantes sobrecarregam o trabalho enzimático, se acumulam e oxidam, por exemplo, os



ácidos graxos que compõem as membranas e enzimas celulares, podendo então, gerar consequências devastadoras, principalmente no sistema nervoso.

## • TOXICIDADE PELO DIÓXIDO DE CARBONO

O mergulhador com o equipamento adequado não tem grandes problemas de toxicidade quando atinge profundidades significativas, porque ela, de forma isolada, não aumenta a pressão parcial de  $\text{CO}_2$  alveolar. Se ele continuar respirando volume corrente normal e ir eliminando com a expiração o  $\text{CO}_2$  na medida que ele for sendo formado, a pressão alveolar é mantida. Contudo, existem aparelhos de mergulho, como o Escafandro e aqueles que utilizam mecanismo de reinalação, em que o  $\text{CO}_2$  pode acumular no aparelho e ser reinalado. Até uma  $\text{pCO}_2$  de, em média, 80 mmHg, que é o dobro do valor normal, o mergulhador aumenta as incursões respiratórias por minuto de 8 a 11 vezes para tentar compensar o nível elevado de dióxido de carbono. No entanto, chega um momento em que ocorre a depressão do centro respiratório, levando a uma acidose respiratória grave e queda do sensório.

## • DOENÇA DA DESCOMPRESSÃO

A quantidade de nitrogênio dissolvida no corpo aumenta à medida que a pessoa respira sob pressões elevadas. Isso acontece porque o sangue que flui pelos capilares dos Pulmões fica saturado de nitrogênio, e, ao longo de várias horas, quantidades suficientes são transportadas para todos os tecidos do corpo, para elevar a pressão parcial de nitrogênio tecidual até um nível igual à pressão de nitrogênio no ar respirado. É importante lembrar que o nitrogênio não é metabolizado pelo corpo, portanto, ele fica dissolvido nos tecidos até que a pressão de nitrogênio pulmonar seja diminuída e ele seja removido pelo processo respiratório inverso. Contudo, isso pode demorar horas e dar origem ao que chamamos de Doença da descompressão, também conhecida como Bends, doença do ar comprimido, doença do Caisson, paralisia do mergulhador e disbarismo.

E o que seria essa doença? Quando o mergulhador fica por um longo período de tempo submerso em grandes profundidades, o nitrogênio fica dissolvido nos



tecidos, e se ele voltar à superfície do mar de forma abrupta, quantidades importantes de bolhas de nitrogênio podem se desenvolver nos líquidos corporais e podem causar lesões de vários graus em todo o corpo. Enquanto o mergulhador permanecer na profundidade, a pressão contra o lado de fora do seu corpo comprime todos os tecidos do corpo suficientemente para manter dissolvido o gás nitrogênio em excesso. No entanto, quando o mergulhador sobe, de forma súbita para o nível do mar, a pressão que age sobre o seu corpo diminui, passa a ser de apenas 1 atmosfera (760 mmHg), sendo que a soma das pressões exercidas pelos gases no interior do seu corpo é maior do que essa pressão externa e, em virtude disso, os gases podem deixar de ficar dissolvidos e formar bolhas.

As bolhas podem bloquear os vasos sanguíneos (principalmente aqueles que possuem pequeno calibre), levando à isquemia e, posteriormente, à morte tecidual. O indivíduo que desenvolve essa doença da descompressão pode ter artalgia e mialgia de membros superiores, até sinais e sintomas mais graves como síncope, edema agudo de pulmão, dispneia e paralisia.

## • TANQUE DE DESCOMPRESSÃO

Existe um procedimento que é largamente utilizado para a descompressão dos profissionais que trabalham com mergulho em grandes profundidades. Como isso é feito? O mergulhador é colocado em um tanque pressurizado, em que ocorre a redução gradual da pressão até chegar no valor da pressão atmosférica normal. Esse mesmo processo pode ser usado também para tratar pessoas, cujos sintomas de doença da descompressão se desenvolvam minutos ou mesmo horas depois de retornarem à superfície. Nesse caso, ocorre a recompressão da pessoa nas profundezas e, em seguida, vai ocorrendo a descompressão de forma lenta.

É interessante saber que aqueles mergulhadores que trabalham em grandes profundidades – entre 75 e 300 metros –, de forma frequente residem durante dias ou semanas em tanques de descompressão, sendo submetidos à compressão próxima ao nível que estão acostumados a trabalhar no dia a dia. Isso,



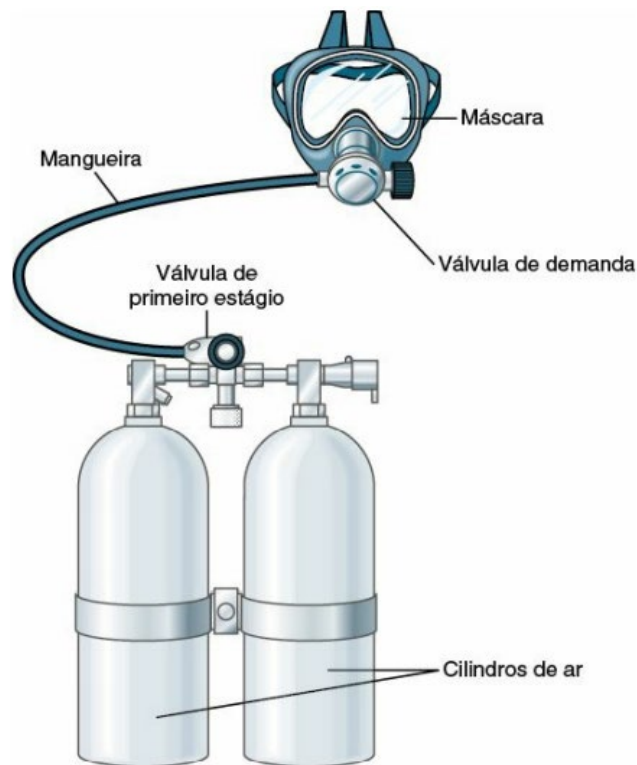
por sua vez, permite que os gases fiquem saturados e dissolvidos nos tecidos e líquidos, e, ao retornar depois do expediente, não ocorrem mudanças significativas de pressão e nem a formação das bolhas.

### • **MERGULHO COM SCUBA (SELF CONTAINED UNDERWATER BREATHING APPARATUS)**

Até a década de 40, o aparelho mais utilizado para mergulho era o Escafandro, que era conectado à mangueira e, então, o ar vinha da superfície para o mergulhador. A partir de 1943, um dispositivo autônomo de respiração subaquática (SCUBA) começou a ser largamente utilizado para todos os mergulhos. Trata-se de um sistema de demanda de circuito aberto, podendo ter um ou mais tanques com ar comprimido, válvula para controle pressórico, máscara e sistema de tubulação com um pequeno “espaço morto”.

A válvula reduz a pressão dos tanques, de forma que aquele ar fornecido à máscara tenha pressão um pouco maior que a pressão da água ao redor. Assim, a cada inspiração, uma leve pressão negativa é feita na válvula da máscara e isso faz com que o ar seja liberado do tanque para a máscara. Na expiração, o ar não retorna ao tanque, ele vai para a água. Contudo, existe um limite de tempo para permanecer em profundidade, pois é necessário um fluxo de ar muito grande dos tanques para remover todo o  $\text{CO}_2$  para fora dos Pulmões. A seguir, temos a ilustração do aparelho SCUBA do tipo demanda de circuito aberto para ficar mais fácil a compreensão:





Fonte: Tratado de Fisiologia Médica – Guyton 13ª edição

## • OXIGENOTERAPIA HIPERBÁRICA

Por fim, em um contexto de elevadas pressões, não podemos esquecer da câmara hiperbárica, aparelho fundamental para fins terapêuticos em algumas condições clínicas. Nela, o  $O_2$  é administrado a valores pressóricos de 2 a 3 atmosferas, através de máscara ou tubo endotraqueal, enquanto o ar circundante ao corpo é normal e comprimido ao mesmo nível de alta pressão. Pode ser utilizada no tratamento da gangrena gasosa – causada por bactérias anaeróbias que cessam o crescimento em ambientes de alta pressão de  $O_2$  –, na doença da descompressão citada anteriormente, na embolia gasosa arterial, no envenenamento por monóxido de carbono, na Osteomielite e no Infarto do miocárdio.





## • AFOGAMENTO

É definido como a submersão em um meio líquido, resultando com dificuldade respiratória ou asfixia. Como acontece com outras causas de morte acidental, a lesão por afogamento tipicamente envolve pessoas saudáveis, jovens, mas pode acontecer com indivíduos de qualquer idade.

A grande maioria das vítimas sobrevive a eventos de submersão, com efeitos que vão desde lesões mínimas ou transitórias até insultos neurológicos profundos. A maior parte dos afogamentos ocorre pela incapacidade da vítima manter a via aérea acima da superfície da água, mas existem outras causas como: incapacidade de nadar, comportamento de risco, hiperventilação, falta de supervisão adulta, hipotermia, intoxicação alcoólica, infarto agudo do miocárdio, arritmia, hemorragia subaracnóidea, acidente vascular cerebral, epilepsia, trauma, suicídio e homicídio.

Quando um indivíduo está afogando, ele não consegue manter as vias aéreas livres de líquido, sendo que a água que entra na boca ou é cuspidada ou engolida. Como reflexo ocorre a tentativa de cessar a respiração, mas após um curto espaço de tempo a água é aspirada para as vias aéreas e a tosse ocorre como resposta reflexa à situação. Em algumas situações pode ocorrer laringoespasmo, mas o principal dano ocorre por asfixia com hipóxia do sistema nervoso central.

A água nos alvéolos provoca a inativação do surfactante, produzido pelos pneumócitos tipo 2 e responsável por evitar o colapso e garantir a expansão adequada dos pulmões, sendo que a aspiração de água doce e salgada causa graus similares de lesão. Em ambos, o efeito osmótico na membrana alvéolo-capilar rompe parcialmente a sua integridade, aumentando a permeabilidade e, por consequência, alterando a sua função. Essas alterações cursam com edema pulmonar, diminuindo, principalmente, a troca de oxigênio. Para que ocorra distúrbios hidroeletrólíticos geralmente é necessária a aspiração de mais de 22 mL/kg e com frequência são transitórios.





Os valores hematimétricos na grande maioria são normais, exceto quando há hemólise maciça, sendo mais comum nos afogamentos em água doce.

Os pacientes com lesão pulmonar podem apresentar taquipneia, desconforto respiratório, hipoxemia, cianose ou até mesmo parada cardiorrespiratória. Além disso, achados como roncosp, estertores ou sibilos podem estar presentes. Já as vítimas com lesão do sistema nervoso central podem apresentar sintomas que variam desde uma leve letargia a coma com pupilas fixas e dilatadas e, na maioria das vezes, é resultado de uma lesão hipóxica ou isquêmica inicial. Outras sequelas clínicas como insuficiência renal aguda e rabiomiólise também podem estar presentes.

## • REFERÊNCIAS

**Curso de Fisiologia respiratória – Jaleko Acadêmicos.** Disponível em:

<http://www.jaleko.com.br>. Acesso em: 24 jul.2020.

GUYTON, A; HALL, J. **Tratado de Fisiologia Médica.** 13.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. 1176 p.

VELASCO, Irineu et al. **Medicina de emergência: abordagem prática.** 14. ed. Barueri: Manole, 2020. 1636 p.

