

## FISIOLOGIA DA MEDICINA HIPERBÁRICA

### INTRODUÇÃO:

A vida na Terra existe como ela é hoje porque ao longo de milênios e mudanças ambientais, houve uma adaptação dos seres vivos aos meios físicos que compõe nosso planeta. Das reações químicas mais elementares às complexas vias que compõe o metabolismo dos seres vivos, as leis da física que regem cada bioma e não apenas as leis da química e biologia, estão presentes e interferindo no efeito final.

O planeta apresenta uma composição química semelhante ao resto do universo, mas as concentrações de determinados elementos associados à estrutura física do planeta, em especial composição de gases, temperatura e pressão, levaram ao aparecimento da vida há milhões de anos. As mudanças do meio físico também levaram à modificação dessa vida rudimentar para a forma complexa que observamos ao longo de milhões de anos de adaptação. As alterações na concentração de gases da atmosfera, na temperatura do planeta e na pressão atmosférica, foram os agentes principais dessas mudanças extraordinárias.

Quando a vida na terra se restringia aos mares e era composta de seres microscópicos e o gás predominante na atmosfera era o composto de enxofre, o surgimento de determinadas bactérias que metabolizavam esses gases e produziam como sub-produto o oxigênio, levou a primeira “poluição” atmosférica, com a primeira extinção em massa conhecida em nosso planeta. Só sobreviveram os seres que desenvolveram mecanismos antioxidantes para sobreviverem em concentrações mais elevadas de oxigênio, mecanismos esses que perduram até hoje na maioria dos seres vivos.

A temperatura e a pressão também são essenciais nesse processo. Os gases que compõem nossa atmosfera determinam uma pressão sobre a superfície do planeta. Essa pressão variará de acordo com a altitude: quando mais próxima da crosta maior a pressão, maior a concentração de gases e mais elevada a temperatura. Esses elementos físicos interferem diretamente sobre as reações químicas e os mecanismos fisiológicos das espécies em seu nicho ecológico específico. Assim, por exemplo, temos que espécies, mesmo os seres humanos, que vivem em altitudes mais elevadas aumentam o número de células vermelhas no sangue para transporte mais adequado de oxigênio aos tecidos. Nessas altitudes as concentrações de oxigênio são menores e a pressão parcial desse gás também.

O oposto ocorre quando nos aprofundamos abaixo do nível do mar. Ao mergulharmos na água, essa determina uma pressão sobre os corpos, que será maior quando mais fundo se desce. Conforme a pressão aumenta, a relação dos gases que respiramos também muda. Quanto maior a pressão parcial de um gás

mais ele se difundem no organismo, alterando sua função e interagindo metabolicamente diferente do que em pressões menores. Os seres que vivem em grandes profundidades são adaptados metabolicamente a viverem sem luz e sobre altas pressões físicas. O ser humano não está adaptado a viver nesse ambiente. Ao invadir um espaço que não é seu, sofre as consequências dos agentes físicos que o compõe com ação direta sobre o seu metabolismo.

A **Medicina Hiperbárica** é o segmento da medicina que estuda e trata as alterações metabólicas e as doenças que decorrem da exposição do ser humano a ambientes de pressões elevadas. O espírito aventureiro, a pesquisa científica e as necessidades econômicas com exploração em profundidades cada vez maiores, tanto em água salgada quanto na água doce, estendendo as fronteiras humanas em nosso planeta, aumentaram nosso conhecimento sobre o meio ambiente, o metabolismo humano e as modificações que esse sofre nesses ambientes extremos, não sem antes provocar inúmeras mortes.

## **BASES FÍSICAS E FISIOLÓGICAS:**

Os elementos químicos sofrem a ação direta das forças físicas que agem no planeta. Em especial os gases têm suas reações regida pela Lei geral dos gases, o que significa a resposta desses às alterações de volume, temperatura e pressão. Outras leis regem as interações dos gases entre si e com o meio ambiente. O conhecimento dessas leis é essencial para entendermos as bases da medicina hiperbárica.

### **Base física.**

A **Medicina Hiperbárica** se baseia nas leis da física dos gases, suas relações com volume, temperatura e pressão e em como o organismo humano responde a essas alterações.

**1)- Lei de Pascal:** qualquer gás dissolvido em tecidos ou retido em cavidades localizadas mesmo profundamente em um organismo, sofre o efeito das alterações de pressões exercidas externamente sobre o mesmo.

**Efeito no corpo humano: todas as cavidades aéreas no corpo (seios para nasais, ouvido médio, estômago, intestinos, cavidade em dente cariado com gás, abscesso em qualquer localização com gás) são reduzidas em volume durante a compressão e se expandem durante a descompressão.**

**2)- Lei de Boyle e Mariote:** estando um gás a temperatura constante, seu volume variará inversamente proporcional a pressão aplicada sobre ele.

$$P1 \times V1 = P2 \times V2$$

**Efeito no corpo humano:** toda bolha de ar que se forma ou cavidade aérea no corpo esta sob o efeito direto dessa lei. Nela se baseia o tratamento em câmara hiperbárica da doença descompressiva e na embolia gasosa.

**3)-Lei de Charles:** mantendo uma pressão constante, o volume de um gás varia proporcionalmente com a temperatura absoluta.

$$\frac{V1}{T1} = \frac{V2}{T2}$$

**4)- Lei de Dalton:** a pressão total de uma mistura de gases é igual a soma das pressões parciais de cada gás da mistura.

$$Pt = Ppa + Ppb + Ppc \dots$$

**Efeito no ser humano:** esse conceito é importante para determinar as misturas corretas de gases nos cilindros dos mergulhadores a cada nível de profundidade de mergulho.

**5)- Lei de Henry:** a quantidade de um gás dissolvido em um meio líquido é diretamente proporcional à pressão parcial que esse gás exerce sobre o líquido.

$$\frac{P1}{A1} = \frac{P2}{A2}$$

**Efeito no ser humano:** essa é a base do uso da Oxigenoterapia Hiperbárica e da Medicina Hiperbárica como todo, que permite que diferentes gases se dissolvem diretamente no plasma e nos tecidos de acordo com a concentração, pressão e o tempo em que são respirados.

**6)- Lei de Graham:** em um mistura de gases, cada gás tem uma velocidade de difusão própria de uma área de maior pressão para outra de menor pressão.

**Efeito no ser humano:** esse conceito explica a ação de diferentes gases em uma mistura de gases respirados durante uma atividade de trabalho em ambiente pressurizado e sua ação individual sobre a fisiologia humana.

7)- **Lei de Gay Lussac:** a um volume constante, a pressão de um gás varia proporcionalmente com a variação da temperatura absoluta.

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Efeito na atividade humana: em trabalhos em ambientes pressurizados, onde a variação da temperatura é possível, a pressão do ambiente poderá se alterar, modificando toda relação de pressão e difusão dos gases do ambiente e no corpo humano, influenciando e alterando sua fisiologia.

#### **Glossário:**

P1: pressão inicial; P2: pressão final; Pt: pressão total; Pp: pressão parcial; a, b, c: exemplos de gases diferentes.

T1 temperatura inicial, T2 temperatura final.

Temperatura absoluta: - na escala Kelvin é  $T = ^\circ\text{C} + 273$

- na escala Rankine  $T = ^\circ\text{F} + 460$

V1: volume inicial, V2: volume final.

A1: quantidade de moléculas dissolvidas inicial, A2 quantidade de moléculas dissolvidas final.

#### **Resposta fisiológica às alterações físicas dos gases**

As respostas fisiológicas e metabólicas estudadas na **Medicina Hiperbárica** decorrem das forças impostas ao organismo humano quando esse se submete a extremos de pressão, com as conseqüentes mudanças das relações de volume, temperatura, solubilidade dos gases, interação com pressões parciais dos gases inalados e adaptação das câmaras gasosas presentes no corpo.

O ser humano está adaptado a viver na superfície da Terra, submetido à pressão da coluna de ar (Atmosfera,) sobre nossas cabeças, respirando uma concentração de gases, que ao nível do mar, podem ser simplificadas, em condições normais, como de 21% de oxigênio (O<sub>2</sub>) e 79% de nitrogênio. Os demais gases juntos perfazem apenas cerca de 1% em sua soma total, não tendo qualquer influência na respiração normal.

Quando as pressões ambientes mudam, a fisiologia orgânica também muda, respondendo às mudanças no meio físico, da pressão parcial dos gases, do grau de difusão dos gases em meio líquido, da concentração de determinados gases nos tecidos, entre outros fatores. Isso tanto ocorre em ambientes hiperbáricos (pressão elevada) como hipobáricos (baixa pressão). As leis físicas dos gases, exposta acima, regem essas respostas.

A necessidade do ser humano explorar o fundo dos mares, rios, lagos e lagoas e trabalhar em ambientes pressurizados na engenharia civil e náutica, fez surgir a Medicina Hiperbárica, permitindo não só estarmos nesses ambientes anteriormente inadequados ao ser humano mais também usar esses conhecimentos para o tratamento de inúmeros patologias na exposição a esse ambiente como no tratamento de diferentes doenças de causas diversas com o uso da Oxigenoterapia Hiperbárica, terapia derivada da Medicina Hiperbárica.

A necessidade do ser humano explorar ambientes inóspitos em altitudes cada vez maiores, viajar em aeronaves cada vez mais rápidas e em alturas cada vez mais elevadas e chegando a exploração da nossa última fronteira que é o espaço, fez surgir a Medicina Hipobárica, que é o estudo no Metabolismo Humano quando exposto a pressões abaixo da pressão atmosférica e como superarmos essas limitações e nos permitir nos aventurar no espaço profundo em viagem interestrelares em futuro próximo.

### Compreendendo a relação de volume e pressões

A coluna de ar que envolve a Terra exerce sobre a superfície do planeta uma determinada pressão que é conhecida como pressão atmosférica (1 atm), que ao nível do mar equivale a 760 mm Hg, ou 1 Kg força ( kgf/cm<sup>2</sup>) ou 14,7 libras por polegada quadrada ( psi). Outras unidades de medidas importantes se referem à profundidade e são expressas em metro (1m = 3,28 pés) e pés (1 pé = 30,48 cm) .

Durante um mergulho em água salgada ou doce, às pressões encontradas a uma determinada profundidade deve-se somar a pressão atmosférica equivalente a altitude em que se encontra, determinando assim a pressão absoluta expressa em ATA (atmosfera absoluta). Quando se mergulha em água salgada, cada 10 m de profundidade equivale a pressão de 1 atm.

A relação inversa ocorre quando a altitude aumenta, havendo uma redução progressiva da pressão atmosférica e menor concentração de oxigênio

Assim temos:

50.000 m	87 mmHg
25.000m	380 mmHg ou 1/2 ATA
10.000m	523 mmHg



\_\_\_0m\_\_\_ superfície da Terra\_\_\_ 760 mmHg\_\_\_1 ATA\_\_\_

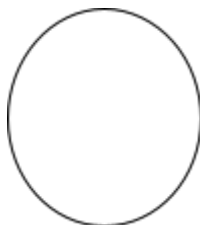


10 m	1,520 mmHg ou 2 ATA
20m	2.280 mmHg ou 3 ATA
30m	3040 mmHg ou 4 ATA



Para avaliar o efeito da lei de Boyle Mariote basta observarmos as alterações de volume que um balão de ar sofrerá ao ser pressurizado.

A nível do mar (1 ATA)



A 10 metros de profundidade (2 ATAs) redução à 1/2 do volume



A 20 metros de profundidade (3 ATAs) redução de 1/3 do volume



## **Base fisiológica da Medicina Hiperbárica: Efeito das leis dos gases sobre o organismo:**

O organismo humano sofre a ação direta do meio ambiente em que vive e ao qual se adaptou ao longo do tempo. Responde as forças dos elementos físicos de forma fisiológica e respeitando a ação da concentração de gases e da pressão ao qual está sendo submetido de acordo com a lei geral da física dos gases, que também atuará em todas as suas cavidades aéreas naturais, como orelha externa e média, seios paranasais, vias aéreas, pulmão, cavidade gástrica e intestinal e também na solubilidade dos diferentes gases que estará respirando, nos líquidos e tecidos orgânicos, podendo interferir direta e indiretamente na fisiologia dos diferentes processos biológicos, podendo otimizar ou desacelerá-los.

### **Ação de lei de Boyle e Mariote:**

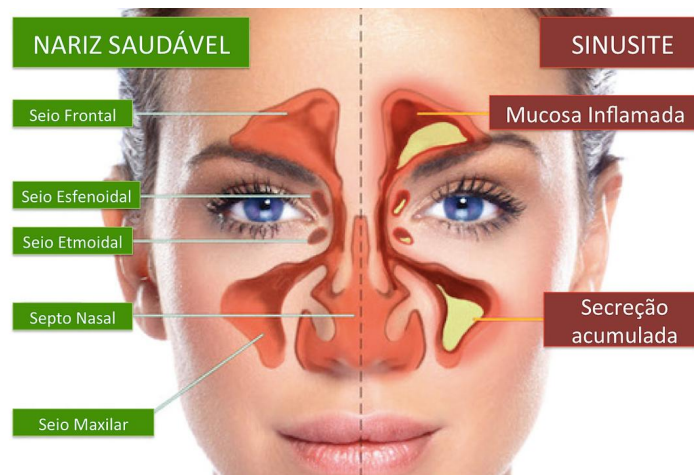
Equivale a variação de volume das bolhas de gases determinadas pela pressurização: **estando um gás a temperatura constante, seu volume variará inversamente proporcional a pressão a que é submetido.**

Durante um mergulho, pressurização em câmara hiperbárica ou trabalho em ambiente pressurizado, há uma redução do volume de ar dentro de todas as cavidades aéreas, efeito direto do aumento da pressão. O oposto ocorrerá durante a descompressão, quando haverá sua expansão do gás. Para que não ocorra um aumento desproporcional do volume/pressão nas cavidades fisiológicas, essa pressão (nas cavidades) deverá ser liberada gradualmente durante a despressurização do ambiente, para se evitar o barotrauma (trauma produzido por pressão). Isso deverá ocorrer normalmente através dos canais de comunicação naturais dessas estruturas para o meio ambiente.

Em condições clínicas específicas, em especial as cavidades ósseas (seios para nasais e orelha média) que contém ar e se encontrarem “fechadas” por processo inflamatório e edema, impedindo a troca livre de ar para o ambiente, se o paciente for pressurizado, durante o aumento de pressão, os tecidos orgânicos (mucosas e membranas) nelas contidos sofrerão o efeito direto da mudança da pressão decorrente da redução do volume do gás contido nessas cavidades. Nos seios paranasais e no canal auditivo (comunicação entre a orelha média e a nasofaringe) a mucosa se expande na compressão, aumentando e edema, quando o volume de gás diminui.

Na descompressão, quando a pressão diminui e o gás agora expande, tentando ocupar o volume original da cavidade, a mucosa que está edemaciada

e foi expandida durante a compressão, agora será esmagada contra a parede óssea, podendo evoluir para necrose causando muita dor e sangramento.



Outra estrutura que sofre frequentemente a ação das variações da pressão é a orelha média. A membrana timpânica, que apresenta certa mobilidade, sofre projeção para dentro durante a compressão, quando a pressão do meio externo é maior do que a pressão dentro da orelha média. Isso ocorre durante a pressurização ou no início do mergulho. Para compensar a pressão o mergulhador tem que equalizar (igualar) as pressões entre os dois ambientes, “jogando” ar da nasofaringe, através da canal auditivo. Ele faz isso “soprando suavemente sem deixar sair o ar” (fecha boca e nariz e assopra). Sente-se um leve estalo no ouvido.

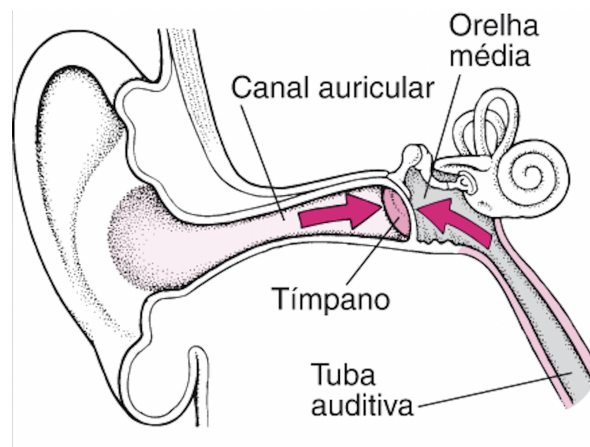
Na súbita do mergulho ou na despressurização o tímpano será projetado para fora, quando a pressão dentro da orelha externa for maior que a do meio externo. Deverá ser feita a equalização “jogando-se” o ar excedente para a nasofaringe com manobras específicas. Normalmente se abre e fecha a boca projetando-se a mandíbula para frente, engolir saliva ou água,

Quando a equalização das pressões entre as cavidades aéreas não é possível poderá haver aumento anormal da pressão nos seios para nasais, na orelha média e até em outros órgãos ocos ou coleções de ar não naturais (dente cariado) podendo levar a lesão em graus variados. Esse quadro é definido como barotrauma (trauma pela pressão).

O acidente mais comum em mergulhadores, trabalhadores de ambientes pressurizados e em pacientes em tratamento em câmara hiperbárica é o barotrauma de orelha média, que pode levar até a ruptura do tímpano em casos mais graves. Esse é facilmente evitável respeitando-se e realizando-se as manobras indicadas. Não deve mergulhar ou entrar em ambientes pressurizados com sinusite ou com infecção de vias aéreas superiores por ser a



compensação dessas cavidades aéreas dificultadas ou impossível, aumentando em muito o risco de barotrauma.



O mergulhador que faz mergulho livre em apnéia sofre a compressão do pulmão durante a descida, podendo ter o pulmão colapsado em graus variados dependendo da profundidade e do tempo de mergulho. Na subida à superfície, o volume pulmonar naturalmente aumenta, obedecendo a Lei de Boyle e Mariote. Se ele não expelir progressivamente o ar de seu pulmão pela boca, deixando “espaço” livre nos alvéolos, sofrerá uma hiperinsulflação pulmonar, podendo levar a ruptura dos alvéolos causando pneumotórax e a embolia área (embolia aérea traumática), quadro clínico grave que pode levar a morte rapidamente. Esse é outro barotrauma grave.

