CMIB – Clínicas de Medicina Intensiva Brasileira

EDITOR
Marcos Antonio Cavalcanti Gallindo

Ano 31 – volume 36 – 2025

Práticas da Medicina Hiperbárica

EDITORA DO VOLUME
Mariza D'Agostino Dias

AMIB
ASSOCIAÇÃO DE MEDICINA INTENSIVA BRASILEIRA

Atheneu

Práticas da Medicina Hiperbárica

Série CMIB - Clínicas de Medicina Intensiva Brasileira

- Volume Cardiointensivismo, 2ª Edição
- Volume Choque Circulatório
- Volume Cuidados Paliativos, Comunicação e Humanização em UTI
- Volume Cuidados Perioperatórios no Paciente Cirúrgico de Alto Risco
- Volume Delirium no Paciente Grave
- Volume Doenças Cerebrovasculares
- Volume Ecografia em Terapia Intensiva e na Medicina de Emergência, 2ª Edição
- Volume Fisiologia e Farmacologia Aplicada à Medicina Intensiva: Estudo Baseado em Casos Clínicos
- Volume Gestão, Qualidade e Segurança em UTI, 2ª Edição
- Volume Paciente Queimado Manejo Básico e Intensivo, Terapias Adjuvantes e Reabilitação
- Volume Práticas da Medicina Hiperbárica
- Volume Sepse, 3ª Edição
- Volume Síndrome do Desconforto Respiratório Agudo
- Volume Terapia Nutricional no Paciente Grave
- Volume Trauma



CMIB – Clínicas de Medicina Intensiva Brasileira

EDITOR
Marcos Antonio Cavalcanti Gallindo

Ano 31 – volume 36 – 2025

Práticas da Medicina Hiperbárica

EDITORA DO VOLUME
Mariza D'Agostino Dias

AMIB
ASSOCIAÇÃO DE MEDICINA INTENSIVA BRASILEIRA

Atheneu
Rio de Janeiro • São Paulo
2026

EDITORA ATHENEU

São Paulo — *Rua Maria Paula, 123 – 13° andar*
Conjuntos 133 e 134
Tel.: (11) 2858-8750
E-mail: atheneu@atheneu.com.br

Rio de Janeiro — *Rua Bambina, 74 – lojas A e B*
Tel.: (21) 3094-1295
E-mail: atheneu@atheneu.com.br

PRÉ-PRODUÇÃO E PRODUÇÃO GRÁFICA: Equipe Atheneu
CAPA: Paulo Verardo
PRODUÇÃO EDITORIAL: RDL Produção Editorial

CIP-BRASIL. CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO
SINDICATO NACIONAL DOS EDITORES DE LIVROS, RJ

P925

Práticas da medicina hiperbárica / editora do volume Mariza D'Agostino Dias, editor da série Marcos Antonio Cavalcanti Gallindo. - 1. ed. - Rio de Janeiro : Atheneu, 2026.
il. ; 24 cm. (CMIB - Clínicas de Medicina Intensiva Brasileira ; ano 31 ; v. 36)

Inclui bibliografia e índice
ISBN 978-85-388-1213-5

1. Mergulho - Cuidados médicos. 2. Oxigenação hiperbárica. 3. Oxigênio - Uso terapêutico. I. Dias, Mariza D'Agostino. II. Gallindo, Marcos Antonio Cavalcanti. III. Título. IV. Série.

CDD: 615.836
25-100257.1 CDU: 614.895

Carla Rosa Martins Gonçalves - Bibliotecária - CRB-7/4782

01/09/2025 01/09/2025

Dias, MA.
Série Clínicas de Medicina Intensiva Brasileira – Práticas da Medicina Hiperbárica
©Direitos reservados à Editora ATHENEU – Rio de Janeiro, São Paulo, 2026.

Seção

1

Ciência do Mergulho e da Pressão

1

Pressão – Conceito, Efeitos e Leis Naturais

Mariza D'Agostino Dias

Introdução

O único ambiente pressurizado natural e estável é a água. A entrada, permanência e saída de ambientes pressurizados exigem uma série de adaptações orgânicas para prevenir doenças, acidentes e óbitos.[1] A Ciência do Mergulho e da Pressão estuda como mergulhar com segurança, define os limites de tempo e profundidade durante o mergulho e orienta sobre como realizar a emersão de forma segura.

No mundo moderno, ambientes pressurizados são comumente utilizados em diversos equipamentos e dispositivos – como panelas de pressão, pneus de veículos, cilindros para armazenamento de diferentes gases de uso médico e industrial, máquinas de ar-condicionado, entre outros. A manipulação correta e segura desses dispositivos e equipamentos deve necessariamente obedecer às leis naturais que regem os ambientes pressurizados.

As leis naturais expressam o comportamento da natureza e são imutáveis, ou seja, uma determinada ação provoca sempre a mesma reação, repetidamente. A Medicina Hiperbárica baseia-se na Ciência do Mergulho e da Pressão; portanto, o conhecimento dessas leis é indispensável para a compreensão dos conteúdos que serão apresentados a seguir.

Leis naturais dos gases em ambientes confinados

Essas leis relacionam a Pressão, o Volume e a Temperatura, obedecendo à seguinte equação:

$$P_1 \times V_1 / T_1 = P_2 \times V_2 / T_2$$

As relações entre essas variáveis, consideradas duas a duas, constituem as três leis a seguir:

1. Quando se aumenta a pressão de um gás, seu volume diminui e vice-versa (Figura 1.1).
2. Quando se aumenta a pressão de um gás, a temperatura também aumenta e vice-versa (Figura 1.2).
3. Quando se diminui a temperatura, o volume também diminui e vice-versa (Figura 1.3).

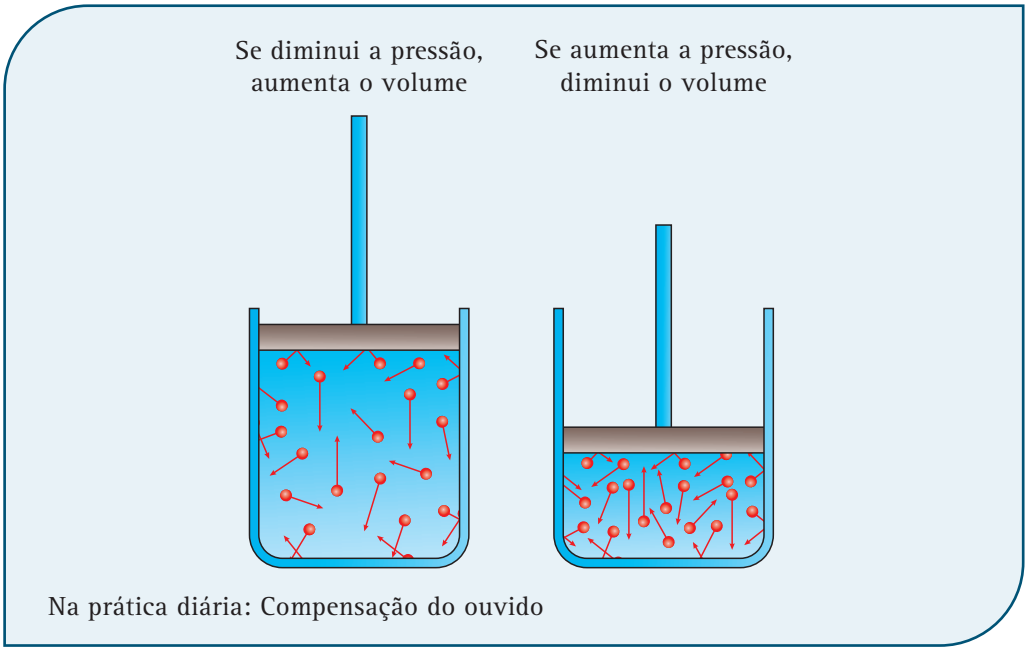


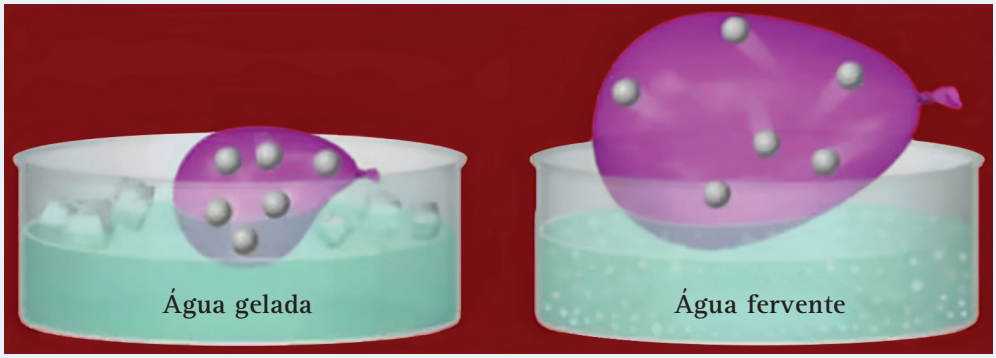
Figura 1.1. 1ª lei natural dos gases confinados.



Figura 1.2. 2ª lei natural dos gases confinados.

Se a temperatura diminui,
o volume diminui

Se a temperatura aumenta,
o volume aumenta



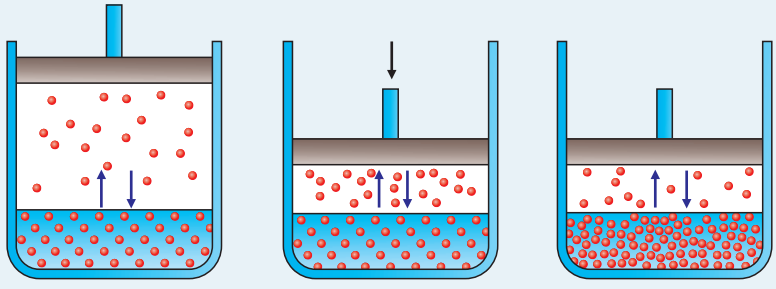
Na prática diária: Vazamento de tanque de oxigênio no calor

Figura 1.3. 3ª lei natural dos gases confinados.

A **lei de dissolução dos gases nos líquidos** estabelece que quando um gás está em contato com um líquido com o qual não reage, ele se dissolve nesse líquido. Quanto maior a pressão exercida sobre o gás, maior será sua dissolução no líquido (Figura 1.4).

Se a pressão do gás sobre um líquido diminui,
o volume de gás dissolvido no liquido diminui

Se a pressão de um gás sobre um líquido aumenta,
o volume de gás dissolvido no líquido aumenta



Na prática diária: Bebidas gasosas sob pressão
Doença descompressiva
Oxigenoterapia hiperbárica

Figura 1.4. Lei de dissolução dos gases nos líquidos.

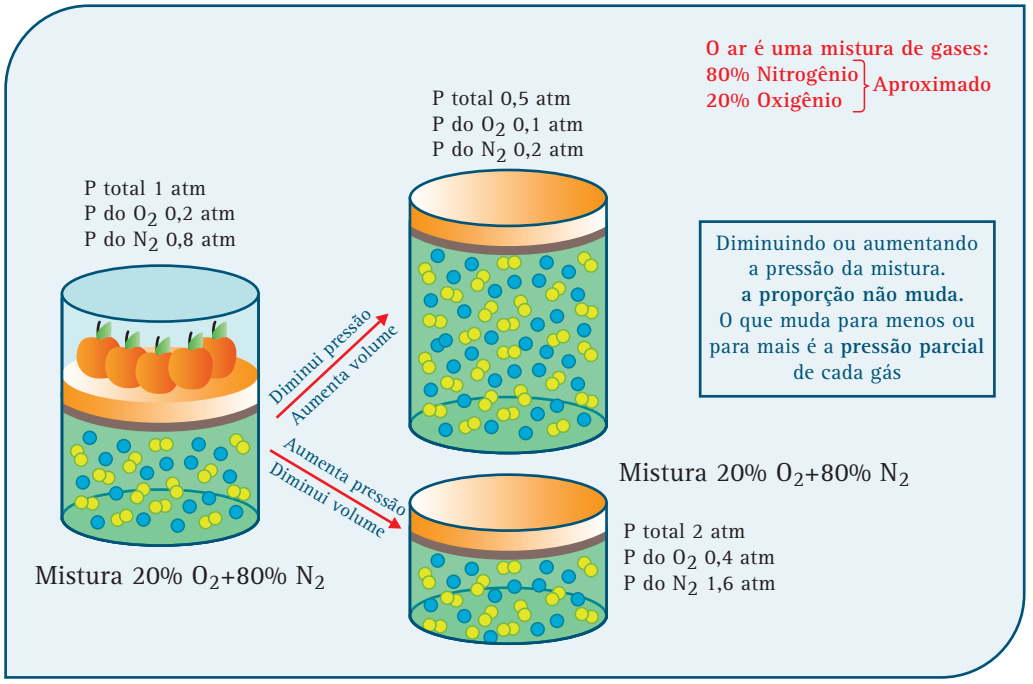


Figura 1.5. Lei das misturas de gases.

Além dessas leis, existe a **lei das misturas gasosas**, que diz: em uma mistura de gases que não reagem entre si, a pressão total da mistura é igual à soma das pressões parciais de cada gás (Figura 1.5).

Por exemplo, o ar é uma mistura composta por aproximadamente 21% de oxigênio e 79% de nitrogênio. Considerando a pressão atmosférica ao nível do mar (760 mmHg ou 1 atm), a pressão parcial do oxigênio é de 159,6 mmHg (ou 0,21 atm) e a do nitrogênio é de 600,4 mmHg (ou 0,79 atm).

Se a pressão total da mistura for o dobro, 1.520 mmHg ou 2 atm, a pressão parcial do oxigênio será de 319,2 mmHg (0,42 atm) e a do nitrogênio será 1.200,8 mmHg (ou 1,58 atm).

É importante destacar que as *intoxicações por gases estão relacionadas à pressão parcial do gás e não à sua proporção na mistura*. Por exemplo, a 40 m de profundidade (4 atm de pressão), ao se respirar ar comprimido, tanto o oxigênio – com proporção de 21% e pressão parcial de 0,84 atm ou 638,4 mmHg – quanto o nitrogênio – com proporção de 79% e pressão parcial de 3,16 atm ou 2.401,6 mmHg – apresentam efeitos tóxicos.

Medidas de pressão – manômetros

Pressão é a relação entre força e área– ou entre peso e superfície. ou seja, quanto maior a força ou peso, maior será a pressão; e quanto maior a área ou superfície, menor a pressão.

Os dispositivos que medem a pressão são chamados *manômetros*. Todos os equipamentos que operam sob pressão devem, obrigatoriamente, ter um manômetro acoplado, que meça continuamente a pressão do líquido ou do gás em seu interior (Figura 1.6).

Existem várias unidades nas quais se medem as pressões. A pressão arterial medida habitualmente em pessoas saudáveis ou doentes, usa a unidade *mmHg*, que corresponde à altura de equilíbrio de uma coluna



Figura 1.6. Barômetros (pressão atmosférica). Manômetros (pressão de fluidos em geral).

de mercúrio ao nível do mar. Esse valor é de 76 cm, ou 760 mm.

Já a pressão das vias aéreas é medida em *cm de água*, por ser uma pressão bem mais baixa. Essa unidade corresponde ao peso de uma coluna de água.

Cada 10 metros de profundidade na água corresponde a 1 atm ou 1 bar. Por exemplo, a 30 metros de profundidade, a pressão ambiente é de 3 atm ou 3 bar.

As medidas de pressão expressas em centímetros ou metros de água são facilmente intercambiáveis, pois seguem uma escala decimal. Um metro corresponde a 100 cm, um km corresponde a mil metros, um centímetro corresponde a 10 milímetros, e assim por diante.

Entretanto, há maior dificuldade de conversão quando se usam *escalas não decimais*, como ocorre no *sistema de medidas inglês*, adotado em vários países. Essas unidades derivaram de valores aleatórios, estabelecidos a partir de medidas do rei da Inglaterra à época. Alguns exemplos: polegada (1 polegada = 2,54 cm), pé (1 pé = 30,48 cm), milha (1 milha = 1,61 km), braça (1 braça = 1,83 m), libra (1 libra = 0,453 kg).

A unidade de pressão usada nesses países é o PSI (pound per square inch), que equivale a *uma libra por polegada ao quadrado*. Convertendo, temos que 1 atm equivale a 14,7 PSI.

No Brasil, a pressão dos pneus de veículos costuma ser medida em PSI, assim como em alguns equipamentos, como compressores, por exemplo.

É muito comum que os manômetros apresentem *várias escalas concêntricas*, que expressam a pressão em duas ou mais unidades diferentes. Os *manômetros digitais* também podem oferecer diferentes unidades de pressão, passando-se de uma para outra acionando-se o computador.

No mergulho, são muito utilizadas as unidades de profundidade: metros ou pés.

As medidas de pressão mais utilizadas são: mmHg, atm e ATA ("atmosfera absoluta"). Esta última é uma *unidade teórica*, na qual se considera que a pressão da atmosfera (camada de ar ambiente que tem 10.000 m ou 10 km de altura) é igual a 1 atm. A essa pressão soma-se a pressão adicional existente dentro de ambientes pressurizados, resultando na atmosfera absoluta.

QUADRO 1.1 **TABELA DE CONVERSÃO DE UNIDADES DE PRESSÃO (VALORES APROXIMADOS PARA FACILITAR MEMORIZAÇÃO). PARA CONVERTER DE UMA UNIDADE PARA OUTRA UNIDADE, MULTIPLICAR PELOS NÚMEROS**

Unidade	atm (bar)	kPa	kgf/cm²	mmHg	PSI
atm (bar)	1,0	100	1,0	760	15
kPa	0,01	1,0	0,1	7,5	0,15
kgf/cm²	1,0	100	1,0	736	15
mmHg	0,001	0,15	0,001	1,0	0,02
PSI	0,07	7	0,07	52	1,0

Portanto, um mergulhador a 10 m de profundidade está submetido a 1 atm ou 2 ATA de pressão; a 30 m, está a 3 atm ou 4 ATA de pressão; a 100 m, está submetido a 100 atm ou 101 ATA.

O Quadro 1.1 apresenta as principais unidades de medidas de pressão e suas correspondentes relações.

Doenças e acidentes do mergulho

Durante a pressurização, seja na água ou a seco, a pessoa respira ar, outras misturas gasosas ou oxigênio. Com o passar do tempo, os gases, que também estão necessariamente pressurizados, vão se dissolvendo no plasma e, levados pela corrente sanguínea, impregnando todos os tecidos do corpo.

Como já mencionado, a 40 m de profundidade tanto o *oxigênio quanto o nitrogênio podem causar intoxicações*. O oxigênio, em altas pressões parciais, pode levar à *convulsão* e, consequentemente ao *afogamento*. Já o nitrogênio pode provocar *distúrbios neurológicos, como euforia, perda de crítica (narcose), até coma e afogamento*. Esse é um dos motivos pelos quais os mergulhos, tanto recreativos quanto profissionais, nunca devem ser realizados por uma pessoa sozinha, e sim sempre acompanhados de outra pessoa, chamada "dupla".[2]

Outro momento que exige atenção fundamental no mergulho é a descompressão, ou seja, *a subida à superfície*. No passado, inúmeros mergulhadores apresentavam *doença descompressiva* ao final do mergulho. Essa condição ocorre devido à liberação de *bolhas do nitrogênio* dos tecidos durante a descompressão, num efeito semelhante ao que ocorre quando se abre uma garrafa contendo líquido gaseificado sob pressão. Quando a pressão é reduzida subitamente, o gás se desprende em forma bolhas, inicialmente menores, que aumentam de tamanho progressivamente até que a pressão se estabilize na superfície.

O nitrogênio é inerte metabolicamente, ou seja, não é absorvido nem utilizado pelo organismo. Como resultado, as bolhas se espalham pela circulação, atingem diversos órgãos e se desprendem dos tecidos, causando lesões inflamatórias e isquêmicas, com distribuição preferencial em articulações, tecido subcutâneo e sistema nervoso medular e periférico.[3]

A doença descompressiva pode se manifestar por dores articulares intensas, principalmente nas grandes articulações, e lesões urticariformes na pele, denominada Doença

Descompressiva Tipo I (DDI). Quando apresenta qualquer manifestação neurológica, a condição é denominada Doença Descompressiva Tipo II (DDII), muito mais grave, podendo apresentar-se com plegias, distúrbios esfincterianos e nistagmo. A doença descompressiva também pode cursar com sintomas cardíacos, como infartos,[4] e neurológicos centrais , como acidentes vasculares cerebrais (AVCs). As DDI, se não tratadas, podem evoluir para DDII, com manifestações bem mais graves (Figuras 1.7 a 1.9).

O único tratamento eficiente para a doença descompressiva é a recompressão terapêutica com oxigênio puro, também chamada de oxigenoterapia hiperbárica (OHB). O tratamento recompressivo deve ser instituído assim que disponível, sempre, pois a doença é evolutiva e pode se agravar nas horas seguintes, inclusive passando a apresentar sintomas neurológicos que não existiam inicialmente.[4] A doença descompressiva também pode ocorrer em mergulho seco, que é a pressurização utilizada em atividades como a construção civil.

Outro tipo de acidentes que podem ocorrer devido ao mergulho são os chamados *acidentes mecânicos*, causados por alterações súbitas da pressão ambiente sobre o mergulhador. O mais grave é a embolia traumática por ar, que ocorre quando o mergulhador emerge rapidamente mantendo a glote fechada, ou seja, com os pulmões cheios de ar. Nesse caso, à medida que a pressão ambiente diminui, o ar nos pulmões se expande progressivamente, podendo provocar ruptura pulmonar e passagem de ar sob pressão para os tecidos adjacentes.

Esse tipo de acidente é gravíssimo e quase sempre fatal, devido à insuficiência respiratória aguda causada por pneumotórax hipertensivo e/ou por obstrução de artérias coronárias ou de

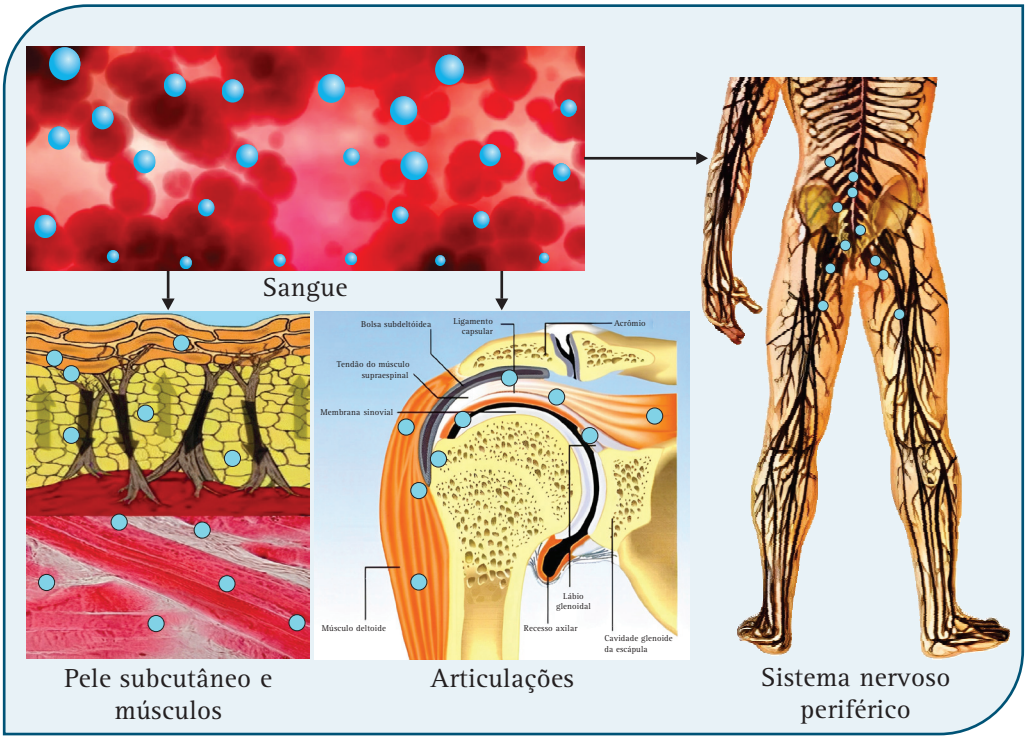


Figura 1.7. Doença descompressiva. Distribuição das lesões.



Figura 1.8. Trabalhadores com doença descompressiva tipo I.



Figura 1.9. Paciente do sexo masculino, 36 anos, apresenta forma cutânea de doença descompressiva. Relata realização de mergulho há 48 horas.

vasos do sistema nervoso central pelas bolhas de ar. Esses pacientes geralmente evoluem para óbito no local e raramente chegam a ser atendidos em um serviço de emergência.

Outros acidentes mecânicos, de menor gravidade, são os barotraumas, que ocorrem quando há ruptura de alguma estrutura corporal causada pela diferença de pressão entre dois ambientes. O mais comum é o barotrauma de tímpano, que ocorre quando essa membrana se rompe devido à impossibilidade de equalização as pressões entre a

orelha média e a orelha externa, causando dor e desconforto auditivo. Em alguns casos, o mergulhador pode sofrer vertigens e desorientação, o que pode levar ao afogamento se não for retirado da água. Também pode ocorrer o barotrauma de face, quando a bolha de ar presente dentro da máscara de mergulho está sob pressão diferente da pressão da água ao redor.

Tratamento das doenças e acidentes do mergulho – tabelas

A maioria dos barotraumas causa pequenas lesões locais de menor gravidade, que exigem apenas observação clínica e, eventualmente, compressão local para coibir sangramentos. Os barotraumas de ouvido podem causar desorientação e vertigens, que, por sua vez, podem levar ao afogamento se o mergulhador não for retirado da água a tempo.

As doenças descompressivas não tratadas, tendem a evoluir espontaneamente para a cura; no entanto, em alguns casos, podem se tornar crônicas, com sequelas neurológicas leves ou graves. O tratamento indicado é a recompressão terapêutica em câmara hiperbárica, que deve ser iniciada assim que estiver disponível, sempre. Essa recompressão é realizada com oxigênio puro, seguindo tabelas específicas para esse tipo de tratamento.[6]

Além dessas, utilizam-se também as tabelas de descompressão, que relacionam a profundidade do mergulho e o tempo de permanência nessa profundidade com a forma adequada de realizar a subida à superfície. Essas tabelas indicam o tempo total da descompressão, as paradas necessárias – pausas em determinadas profundidades para dar tempo de o nitrogênio ser eliminado pela expiração.

As tabelas de descompressão se aplicam a qualquer mergulho abaixo de 10 metros de profundidade, incluindo os chamados mergulhos de repetição, que são aqueles realizados com intervalo inferior a 12 horas em relação ao mergulho anterior.

Portanto, todos os mergulhos com profundidade superior a 10 metros precisam ser planejados cuidadosamente, considerando-se o tempo, a profundidade e outras variáveis envolvidas, para que seja possível estabelecer uma descompressão segura, prevenindo a ocorrência de doença descompressiva.

No caso da embolia traumática por ar, caso o mergulhador sobreviva à lesão inicial, é necessário realizar drenagem torácica bilateral imediatamente e iniciar o mais rápido possível a recompressão com a tabela específica para o tratamento da doença descompressiva.[7]

Referências

1. Pendergast DR, Moon RE, Krasney JJ, et al. Human physiology in an aquatic environment. Compr Physiol. 2015 Sep 20;5(4):1705-50.
2. Lucrezi S, Egi SM, Pieri M, Occhipinti G, Forti D, Spagnolli A, et al. Safety Priorities and Underestimations in Recreational Scuba Diving Operations: A European Study Supporting the Implementation of New Risk Management. Front Psychol. 2018 Mar 23;9:383.
3. Junes B, Smart C, Parsh B. Decompression sickness in SCUBA divers. Nurse Pract. 2022 Jul 1;47(7):38-40.
4. Juttner B, Wölfel C, Camponovo C, et al. S2k guideline for diving accidents. Ger Med Sci. 2023 Mar 3;21:Doc01.
5. Tso JV, Powers JM, Kim JH. Cardiovascular considerations for scuba divers. Heart. 2022 Jun 24;108(14):1084-9.
6. Cianci P, Slade Jr J B. Delayed treatment of decompression sickness with short, no-air-break tables: review of 140 cases. Aviat Space Environ Med. 2006 Oct;77(10):1003-8.
7. Walker JR, Hexdall EJ, Murphy-Lavoie HM. Diving gas embolism. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jan.