

DOENÇA DESCOMPRESSIVA E A ATIVIDADE DE MERGULHO: UMA BREVE REVISÃO



Capitão de Corveta (Md) Beatriz Delvaux Turano Pessôa Soares

Resumo: A atividade de mergulho seja para fins militares, econômicos ou recreativos tem estado em ascensão. Embora seja uma atividade segura, hoje praticada por 3 a 6 milhões de pessoas em todo o mundo, seus riscos são indiscutíveis quando realizada inadvertidamente. Um desses riscos é a doença Descompressiva (DD). Este artigo procura explicar de forma clara e atualizada os mecanismos que envolvem esta doença, sua apresentação, tratamento e prevenção; assim como apresentar uma visão global da mesma.

1 INTRODUÇÃO

A Doença Descompressiva (DD) descreve uma condição onde gases dissolvidos geram bolhas no organismo. Esse aspecto gera uma suscetibilidade de migração dessas bolhas para qualquer parte do corpo, o que nos leva a crer inclusive que existe uma interligação agregada ao indivíduo, e certos fatores de risco, podendo levar ao aumento da probabilidade do aparecimento dessas bolhas. Os riscos de haver uma Doença Descompressiva podem ser minimizados ao se utilizar dos mecanismos de descompressão e suas tabelas quando em mergulhos mais profundos e por maior tempo. No caso de suspeita o tratamento com terapia em câmara hiperbárica de recompressão

com oxigênio é o mais indicado, levando-se em conta que quanto mais precoce maior as chances de recuperação completa.

2 MÉTODO

O presente trabalho de revisão realizou um levantamento bibliográfico de publicações sobre a fisiopatologia e tratamento da Doença Descompressiva (DD), dando ênfase aos estudos nos quais o microembolismo é secundário ao mergulho. Foram examinados livros textos especializados e protocolos terapêuticos oficiais divulgados por instituições governamentais e centros de referência. A pesquisa também contemplou trabalhos de livre acesso publicados por autores corporativos em sites especializados.

3 CLASSIFICAÇÃO E SUSCETIBILIDADE

A Doença Descompressiva é classificada por seus sintomas. Em 1960, Golding *et al*, introduziram uma classificação usando termos Tipo I ou simples para sintomas envolvendo apenas a pele, e Tipo II ou grave para sintomas que envolvessem os demais sistemas como o sistema nervoso central (SNC). O Tipo II é considerado mais severo e com desfechos piores. Quanto aos fatores predisponentes eles

podem ser considerados como do ambiente ou individuais. A DD pode estar associada ainda à questões demográficas, e estilo de mergulho. Face aos fatores ambientais, pode-se relacionar exposições repetitivas em curto espaço de tempo, a rapidez da subida ou retorno a superfície, a duração em tempo total do mergulho e de fundo, assim como mergulhos antes de voos. Quanto aos aspectos individuais destaca-se a resistência ao processo de desidratação, que é uma alteração metabólica marcada durante a atividade de mergulho, a existência de alterações estruturais do organismo como forâmen oval patente (FOP), idade mais avançada, lesões prévias, principalmente em articulações, assim como a capacidade de resistência em baixas temperaturas e a ingestão prévia ou costumeira de bebida alcoólica.

4 FISIOPATOLOGIA

4.1 Física da pressão

As variações de pressão que se verificam no mergulho afetam apenas as substâncias compressíveis do corpo. A água é não-compressível, mas os gases são compressíveis, o que significa que estarão sujeitos a estas variações de pressão. O comportamento dos gases pode ser descrito pelas 3 seguintes leis, que se aplicam diretamente no mergulho:

1 - Lei de Boyle-Mariotte, segundo a qual, para gases perfeitos, a uma temperatura constante, a pressão é inversamente proporcional ao seu volume.

2 - Lei de Dalton, que dita que numa mistura gasosa, a pressão de cada componente é independente da pressão dos demais, sendo a pressão total igual à soma das pressões parciais dos componentes.

Isto significa que à medida que a pressão aumenta com o aumento da profundidade, aumentam também as pressões parciais dos gases que compõem o ar atmosférico.

3 - Finalmente a lei de Henry, de acordo com a qual a quantidade de gás que irá se dissolver num líquido é diretamente proporcional à pressão parcial desse gás, a uma temperatura constante.

No mergulho com ar comprimido, a aplicação destas leis vai levar em conta somente o nitrogênio, uma vez que é este o gás que causa a Doença Descompressiva, por ser um gás inerte, ou seja, que se acumula nos tecidos sem ser metabolizado. Quando um mergulhador desce a pressão aumenta 1 atmosfera por cada 10 metros e o volume de ar diminui para metade (lei de Boyle). Isto leva a que a pressão parcial de nitrogênio também aumente com o aumento da profundidade (lei de Dalton). Este, ao ser inspirado, passa pelos alvéolos para a corrente sanguínea e difunde-se nos tecidos. Com o aumento da sua pressão parcial, aumenta o gradiente de pressão entre o nitrogênio no ar alveolar e na corrente sanguínea (lei de Henry), aumentando assim a sua velocidade de difusão para o sangue.

Conclui-se assim que quanto maior for a profundidade, maior será a difusão de nitrogênio para o sangue e para os tecidos.

4.2 Formação de bolhas

O problema da Doença Descompressiva surge quando o mergulhador, com os tecidos saturados de nitrogênio devido a uma longa permanência no ambiente hiperbárico do fundo do mar, ascende à superfície. A ascensão deve ser gradual para permitir que o excesso de nitrogênio possa percorrer o caminho inverso e ser expulso através dos pulmões. Se



a subida for demasiado rápida, sem pausas de descompressão, o gradiente de pressão, isto é, a diferença de pressão de nitrogênio entre o ar alveolar e os tecidos, é demasiado elevado. Quando isto acontece, o nitrogênio não consegue sair através dos pulmões, formando-se bolhas na corrente sanguínea e nos tecidos. É o acúmulo destas bolhas nos tecidos e corrente sanguínea que vai causar os sintomas da Doença Descompressiva

4.3 Conceito de micronúcleos

A formação das bolhas não acontece somente com a depressurização brusca. De acordo com a teoria da nucleação, estas formam-se a partir de locais microscópicos conhecidos como micronúcleos, que correspondem a pontos hidrofóbicos preexistentes na corrente sanguínea e nos tecidos. O nitrogênio difunde-se naturalmente para estas zonas hidrofóbicas, e é partir destas zonas que as bolhas crescem e se desenvolvem devido o acúmulo de cada vez mais gás. Hoje aceita-se que todos os mergulhos levam ao aparecimento de bolhas, mas que, na maior parte dos casos, estas são microscópicas e resolvem sem causar quaisquer sintomas, uma vez que viajam até aos pulmões onde são expelidas ao nível dos alvéolos. Estas bolhas silenciosas foram descobertas com a introdução do Eco-Doppler nos anos 70, uma vez que este permitiu identificar bolhas na corrente sanguínea de mergulhadores, após estes mergulharem, sem que estes apresentassem quaisquer sintomas da DD. Os problemas na Doença Descompressiva surgem quando se acumula grande quantidade de nitrogênio nos micronúcleos, fazendo-

os aumentar de volume e interferir com o organismo, causando sintomas. Os danos bioquímicos são igualmente importantes como os efeitos mecânicos. As artérias podem ser bloqueadas pela agregação vascular. O dano endotelial como um efeito de pressão da bolha na parede do vaso. Assim como a agregação plaquetária e desnaturação proteica podem gerar uma cascata de eventos fisiopatológicos levando aos sintomas clínicos da DD.

4.4 Manifestações da doença descompressiva

A Doença Descompressiva resulta do efeito das bolhas nos sistemas e órgãos. Estas podem interferir com a função celular, podem agir como êmbolos e bloquear a circulação ou comprimir vasos, ou podem agir como antígenos e ativar as fases iniciais da cascata da coagulação, bem como a libertação de substâncias vasoativas e diminuir o número de plaquetas. Uma vez que as bolhas podem ser transportadas para praticamente qualquer parte do corpo, a Doença Descompressiva pode se manifestar de muitas maneiras diferentes. As bolhas fluem principalmente através do sistema venoso, e como tal, a doença só começa a se manifestar algumas horas após a ascensão à superfície, podendo este intervalo ir de 1 até 48 horas. De acordo com os sinais e sintomas apresentados a doença pode ser classificada em 2 tipos: Tipo 1 (DD Tipo 1), mais frequente e mais leve, e Tipo 2 (DD Tipo 2), mais rara e mais grave. Quando as bolhas passam para a circulação arterial, pode haver embolia gasosa arterial, que muitos autores classificam como Doença da Descompressão Tipo 3, mas ainda e algo discutível pela literatura.

4.4.1 Doença da descompressão tipo I

A DD Tipo 1 apresenta-se a nível cutâneo com o aparecimento de um *rash* conhecido como *cutis marmorata*, normalmente no peito e ombros, acompanhado de prurido.

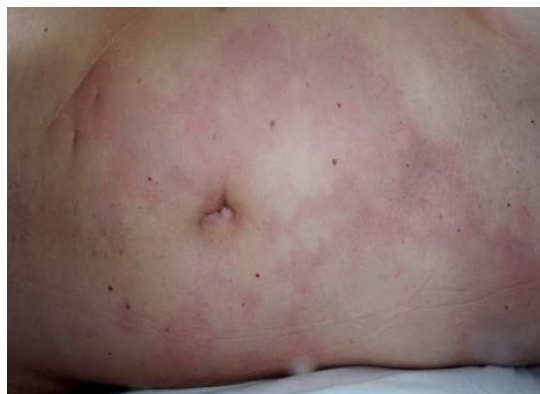


Figura 1 - Cutis marmorata

No entanto, o sintoma mais frequente é a dor articular, que aparecem em cerca de 70 a 85% dos doentes e afetam os membros superiores 3 vezes mais que os inferiores. As articulações mais afetadas são os ombros, os cotovelos, joelhos e tornozelos, e usualmente de forma unilateral. Embora seja a forma menos grave de DD, a forma Tipo 1 deve ser tratada, ou poderá evoluir para DD Tipo 2.

4.4.2 Doença da descompressão tipo II

A DD Tipo 2 pode manifestar-se a nível neurológico, pulmonar ou circulatório. A nível neurológico afeta principalmente a medula espinhal, causando dor, normalmente a nível lombar; parestesias e paralisia das extremidades inferiores e perda do controlo esfinteriano. Quando as bolhas de ar passam para a circulação arterial, podem viajar pelas carótidas até ao cérebro, podendo causar dores de cabeça, alterações visuais, confusão, perda de consciência e até morte.

Num estudo do Hospital Geral de Singapura concluiu-se que uma instalação prematura dos sintomas estava associada a um pior prognóstico: mergulhadores que manifestaram sintomas nos primeiros 30 minutos após a vinda à superfície apresentaram sequelas múltiplas com resolução inferior a 50% depois de terapia agressiva com oxigénio hiperbárico. De acordo com o mesmo estudo, acredita-se que as lesões neurológicas se devam a infarctes a nível arterial e venoso. A nível pulmonar, normalmente, só há sintomatologia quando há acúmulo de nitrogénio em quantidades excessivas nos pulmões (no caso de uma descompressão excessivamente rápida), uma vez que, em condições normais, as bolhas microscópicas que chegam aos pulmões pela circulação venosa difundem-se para o exterior pelos alvéolos. Quando, em casos raros, a respiração se torna insuficiente para expulsar as bolhas de nitrogénio, estas acumulam-se ao nível dos pulmões, interferem com as trocas gasosas e, bloqueiam a artéria pulmonar, diminuindo a quantidade de sangue que chega às cavidades esquerdas do coração. Os sintomas respiratórios podem ser dor retrosternal na inspiração, tosse não produtiva e dispneia. A nível circulatório pode haver choque hipovolémico devido à passagem de líquido do espaço intravascular para o espaço extravascular, por mecanismos ainda não compreendidos. Ocorre ainda a formação de trombos devido à ativação das fases iniciais da cascata de coagulação e libertação de substâncias vasoativas.

O *Foramen Oval Patente* (FOP) corresponde a uma comunicação entre as aurículas direita e esquerda, que condiciona uma comunicação entre as circulações venosa e arterial. Nestes doentes existe um maior risco de que as bolhas



passem diretamente da circulação venosa para a arterial, evitando os pulmões. Havendo então maior risco do desenvolvimento de DD Tipo 2, com sintomas mais graves, bem como de embolia gasosa arterial. Num estudo com 2 grupos de mergulhadores, em que metade manifestou sintomas neurológicos, 50-53% dos mergulhadores sintomáticos tinham FOP, enquanto que no grupo dos não sintomáticos apenas 8% apresentava FOP.

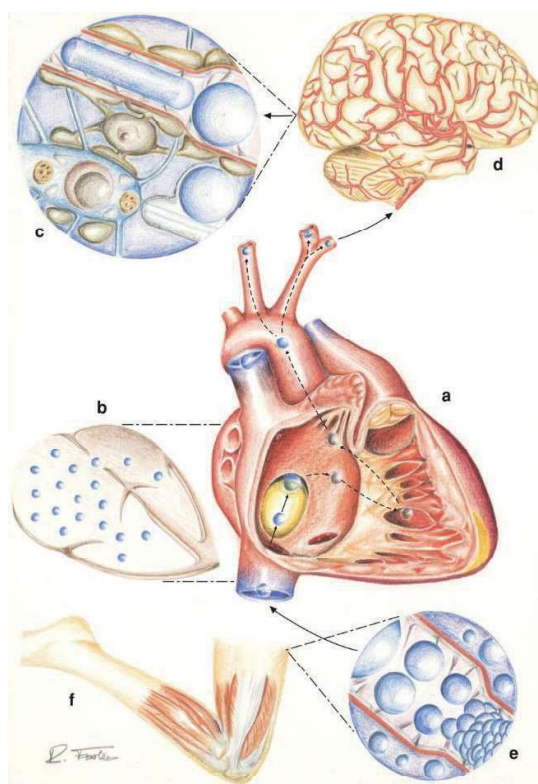


Figura 2 - Foramen oval patente

5 DIAGNÓSTICO

Dada a variabilidade dos sintomas, deve-se suspeitar sempre da Doença Descompressiva em mergulhadores que apresentem qualquer um dos sintomas nas 48 horas após o mergulho, mas sempre também lembrando da

possibilidade de os sintomas poderem estar relacionados a outros diagnósticos. A história clínica e a descrição dos sintomas são o mais determinante no diagnóstico da DD. Este confirma-se através da regressão dos sintomas quando feita a recompressão com oxigênio hiperbárico. A realização de Ressonância Magnética (RM) permite identificar lesões focais na medula no caso da DD Tipo 2, bem como no cérebro, no caso da embolia gasosa. Para além de ajudar a identificar a área da lesão, a RM permite monitorizar a evolução da doença, bem como excluir outras etiologias para os sintomas do doente.

6 TRATAMENTO

6.1 Nas situações de emergência

O primeiro passo a tomar após a retirada do paciente de dentro de água é a sua imobilização no caso de suspeita de trauma e em seguida o tratamento com oxigênio a 100% no local até ser possível o tratamento com oxigênio hiperbárico numa câmara de alta pressão. A utilização de oxigênio normobárico como tratamento de emergência nas primeiras horas após a ascensão à superfície aumenta a taxa de sucesso da subsequente terapia de recompressão e reduz o número de sessões necessárias. Num estudo que seguiu 2,231 mergulhadores que manifestaram sintomas, 47% foram tratados com oxigênio de emergência, num tempo médio até ao início do tratamento de 4 horas após a vinda à superfície e 2,2 horas após o início dos sintomas. 14% dos doentes tratados com oxigênio mostraram regressão completa dos sintomas e 51% mostraram melhoria imediata. Mais tarde, após a primeira sessão de tratamento com oxigênio hiperbárico, 67% dos doentes do grupo que recebeu este primeiro

tratamento de emergência, indicaram sentir alívio completo dos sintomas versus 58% dos doentes do grupo que não recebeu oxigênio de emergência. O uso de oxigênio em situações de emergência é de tal forma benéfico que a *Divers Alert Network* (DAN) promoveu a sua distribuição por diferentes locais de mergulho, principalmente aqueles mais remotos e mais afastados de centros hospitalares com câmaras de oxigênio hiperbárico à disposição, para utilização em situações de emergência.

6.2 O padrão ouro

O gold-standard para o tratamento é a recompressão com oxigênio hiperbárico em câmaras de alta pressão. Mesmo doentes com total regressão dos sintomas após administração de oxigênio normobárico nas primeiras horas devem ser submetidos a tratamento com oxigênio hiperbárico por haver perigo de recorrência dos sintomas. Primeiro há uma hiperpressurização da câmara hiperbárica para simular as condições de pressão do fundo do mar, o que causa a diminuição do volume das bolhas formadas dentro do corpo e a sua dissolução de novo nos tecidos e sangue. Concomitantemente vai sendo administrado oxigênio a concentrações cada vez mais elevadas de modo a criar um gradiente de difusão maior entre o nitrogênio difundido no sangue e o nitrogênio nas bolhas, aumentando a passagem deste gás das bolhas para o sangue e diminuindo assim o tamanho das mesmas. O oxigênio é administrado de forma intermitente para evitar toxicidade. Pouco a pouco a pressão da câmara vai baixando até atingir os níveis da pressão atmosférica. Esta descida gradual permite que

o nitrogênio seja expulso gradualmente do corpo através dos pulmões.

Existem 2 tipos de câmaras hiperbáricas para o tratamento com oxigênio hiperbárico: as câmaras individuais, ou *monplace*, e as câmaras *multiplace*. Nas primeiras só é tratado um paciente de cada vez. O paciente é a única pessoa dentro da câmara, estando a equipa médica fora da mesma, e todo o espaço interior da câmara está oxigenado a 100%. Daí podem advir 2 problemas: o paciente pode sentir claustrofobia, e intoxicação por oxigênio. É também mais difícil a equipa médica intervir em caso de emergência devido à barreira física interposta entre a mesma e o doente.



Figura 3 - Câmara *Monoplace*

Nas câmaras *multiplace* são tratados vários doentes ao mesmo tempo estando geralmente um ou mais membros da equipa médica no interior da câmara para acompanhar o tratamento e intervir em caso de emergência, que podem ser o enfermeiro hiperbárico ou o mergulhador habilitado.

A câmara não é pressurizada com oxigênio, sendo este administrado através de máscaras



individuais a cada um dos pacientes, o que diminui o risco de toxicidade.



Figura 4 - Câmara *Multiplace*

A duração do tratamento depende da severidade dos sintomas, sendo normalmente necessário submeter os doentes a mais do que uma sessão. Existem vários protocolos

de tratamento de recompressão, sendo o mais usado na Doença Descompressiva, o protocolo da Tabela 6 instituído pela Marinha Americana (US Navy Table 6). Segundo este protocolo, o doente é colocado numa câmara a uma pressão equivalente a uma profundidade de 18 metros (2.8 ATA) durante, pelo menos, três intervalos de 20 minutos a oxigênio a 100% separados por 5 minutos a ar ambiente. De seguida a câmara é gradualmente descomprimida até chegar a uma pressão equivalente a 9 metros, mantendo-se assim durante dois intervalos de 60 minutos separados por 15 minutos a ar ambiente. Os curtos intervalos em que o paciente é mantido em ar ambiente servem para evitar a toxicidade por oxigênio. O tempo durante o qual o doente é mantido a pressões elevadas pode ser aumentado de acordo com a resposta do doente ao tratamento.

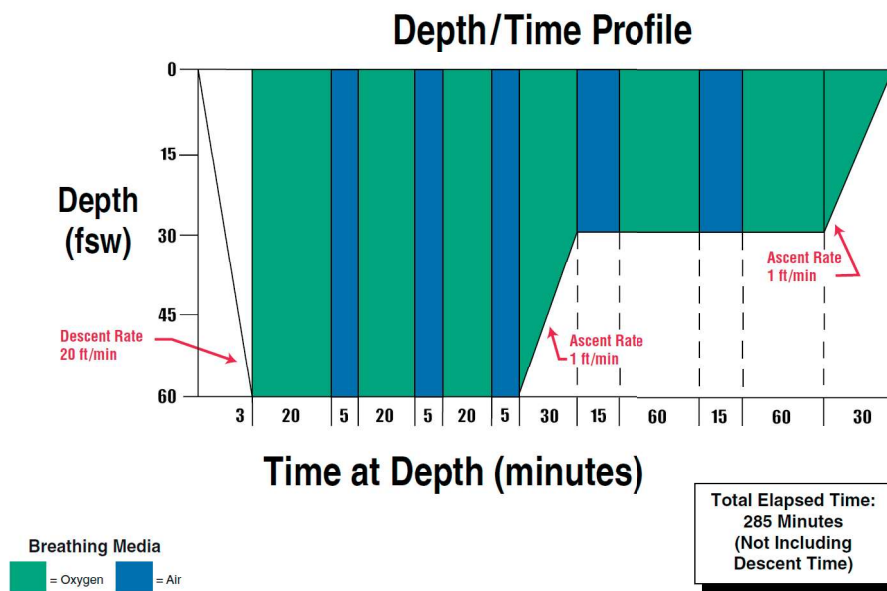


Figura 5 - *US Navy Table 6*

6.3 Terapia adjuvante

Há ainda tratamentos adjuvantes com intenção de diminuir o tempo de sintomatologia e o desconforto dos pacientes, através do uso de analgesia, na tentativa de minimizar a dor e o desconforto, sendo utilizado na maioria dos casos os anti-inflamatórios não esteroidais (AINES), mas com pouca atividade no resultado final e ainda uso de lidocaína e aspirina. Em relação aos corticoides usualmente não são indicados.

7 CONCLUSÃO

A prática do mergulho com ar comprimido tem crescido por todo o mundo e seguramente manterá esta tendência. É uma indispensável para vários tipos de atividades profissionais, desde o campo da ciência e da investigação até a área militar e de resgate. Além disso, o mergulho enquanto atividade lúdica é uma das melhores formas que o ser humano encontrou para conhecer em primeira mão os oceanos e a imensa biodiversidade que estes contêm. No entanto, a prática do mergulho envolve colocar o organismo em condições de pressão para as quais este não foi feito, o que acarreta vários riscos. A Doença Descompressiva é uma das doenças mais prevalentes na prática do mergulho, podendo manifestar-se de maneiras muito variadas, pelo que é sempre um diagnóstico a ter em conta à mínima suspeita. Os sintomas vão desde rash cutâneo, dor articular, dispneia e tosse até parestesias, alterações visuais e perda de consciência. Os sintomas do aparelho auditivo, como vertigens e perda auditiva, fazem diagnóstico diferencial com o barotrauma do ouvido interno e os sintomas cerebrais com a embolia gasosa

arterial. Quando a Doença da Descompressão se instala, o único tratamento é a recompressão em câmaras de oxigênio hiperbárico e mesmo este pode não conseguir evitar sequelas permanentes. Desta forma, para evitar esta e outras doenças decorrentes da prática do mergulho e garantir que esta seja segura e inócua, devem-se respeitar os limites de profundidade e duração do mergulho impostos pelas principais agências de mergulho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LEVINE, I. N. **Physical Chemistry**. University of Brooklyn: McGraw-Hill, 1978.
- SILBERBERG, M. S. **Chemistry: the molecular nature of matter and change**. 5. ed. Boston: McGraw-Hill, 2009.
- HENRY, W. Experiments on the quantity of gases absorbed by water, at different temperatures, and under different pressures. **Phil. Trans. R. Soc. Lond.** v. 93, p. 29–274, 1803.
- LYNCH, J. H.; DEATON, T. G. Barotrauma With Extreme Pressures in Sport. **Current Sports Medicine Reports**, v. 13, n. 2, p. 107–112, 2014.
- ARIELI, R.; MARMUR, A. Dynamics of gas micronuclei formed on a flat hydrophobic surface, the predecessors of decompression bubbles. **Respiratory Physiology & Neurobiology**, v. 185, n. 3, p. 647–652, 2013.
- PAPADOPOULOU, V.; EVGENIDIS, S.; ECKERSLEY, R. J.; MESIMERIS, T.;



- BALESTRA, C.; KOS-TOGLOU, M.; KARAPANTSIOS, T. D. Decompression induced bubble dynamics on ex vivo fat and muscle tissue surfaces with a new experimental set up. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 129, p. 121–129, 2015.
- G. A. BROCK-FISHER. **Ultrasound device to detect caisson's disease**, mar. 2004. US Pat. 6699191
- MØLLERLØKKEN, A.; BRESKOVIC, T.; PALADA, I.; VALIC, Z.; DUJIC, Z.; BRUBAKK, A. O. Observation of increased venous gas emboli after wet dives compared to dry dives. **Diving and Hyperbaric Medicine**, v. 41, n. 3, p. 124–128, 2011.
- BOUSSUGES, A.; SUCCO, E.; JUHAN-VAGUE, I.; SAINTY, J. M. Activation of coagulation in decompression illness. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**, v. 69 n. 2, p. 129–132, 1998.
- PONTIER, J.-M.; JIMENEZ, C.; BLATTEAU, J.-E. Blood platelet count and bubble formation after a dive to 30 msw for 30 min. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**, v. 79, n. 12, p. 1096–1099, 2008.
- SHREEVES, K.; LEWIS, J. **Encyclopedia of Recreational Diving**. 3. ed. United States: PADI, 2006.
- HENNEDIGE, T.; CHOW, W.; NG, Y. Y.; CHUNG-TSING, G. C.; LIM, T. C.; KEI, P. L. MRI in spinal cord decompression sickness. **Journal of Medical Imaging and Radiation Oncology**, v. 56, n. 3, p. 282–288, 2012.
- FOSTER, P. P.; BUTLER, B. D. Decompression to altitude: assumptions, experimental evidence, and future directions. **Journal of Applied Physiology**, v. 106, n. 2, 2009.
- NAKAYAMA, H.; SHIBAYAMA, M.; YAMAMI, N.; TOGAWA, S.; TAKAHASHI, M.; MANO, Y. Decompression sickness and recreational scuba divers. **Emergency Medicine Journal: EMJ**, v. 20, n. 4, p. 332–334, 2003.
- HONEK, T.; VESELKA, J.; TOMEK, A.; SRÁMEK, M.; JANUGKA, J.; SEFC, L.; NOVOTNÝ, S. Paradoxical embolization and patent foramen ovale in scuba divers: screening possibilities. **Vnitřní Lekarství**, v. 53, n. 2, p. 143–146.
- DOOLETTE, D. J.; MITCHELL, S. J. Biophysical basis for inner ear decompression sickness. **Journal of Applied Physiology**, v. 94, n. 6, p. 2145–2150, 2003.
- NACHUM, Z.; SHUPAK, A.; SPITZER, O.; SHARONI, Z.; DOWECK, I.; GORDON, C. R. Inner Ear Decompression Sickness in Sport Compressed-Air Diving. **The Laryngoscope**, v. 111, n. 5, p. 851–856, 2001.
- KLINGMANN, C. (n.d.). Inner ear decompression sickness in compressed-air diving. **Undersea & Hyperbaric Medicine: Journal of the Undersea and Hyperbaric Medical Society, Inc**, v. 39, n. 1, p. 589–594.
- LONGPHRE JM; DENOBLE PJ; MOON RE; VANN RD; FREIBERGER JJ. First

aid nor-mobaric oxygen for the treatment of recreational diving injuries. **Undersea Hyperb Med**, v. 34, n. 1, p. 43-49, 2007.

BRUBAKK A, NEUMAN T. **Bennett and Elliott's Physiology and Medicine of Diving**. 5. ed. Great Britain: Elsevier Science Limited, cap 10., 2003.

NAVY DEPARTMENT. Diving Medicine and Recompression Chamber Operations. **US**

Navy Diving Manual. Rev 4. Washington DC: 1999. 5

BRASIL. Marinha do Brasil. **Manual de Mergulho a AR**. Niterói, CIAMA, 2007.

www.diversalertnetwork.org

www.uhms.org