



CORPO SOB PRESSÃO - ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS DURANTE O MERGULHO

BODY UNDER PRESSURE - PHYSIOLOGICAL CHANGES DURING DIVING

CUERPO BAJO PRESIÓN - CAMBIOS FISIOLÓGICOS DURANTE EL BUCEO

Marco Antonio Silvano¹, Jamile Gomes Conceição²

e524830

<https://doi.org/10.47820/recima21.v5i2.4830>

PUBLICADO: 02/2024

RESUMO

O mergulho é uma prática esportiva que consiste na submersão aquática com uso de aparelhos de respiração ou não. Existem três modalidades distintas de mergulho: de apneia, livre e autônomo. Durante o mergulho ocorrem alterações fisiológicas por ocasião do aumento da pressão atmosférica no ambiente subaquático. Essas alterações podem ocasionar diversas patologias e problemas que comprometem a segurança e saúde do mergulhador, portanto, é imperativo que o praticante possua conhecimento das manobras de descompressão e equilíbrio das pressões. Dessa forma, o objetivo geral do trabalho é apresentar as condições e patologias que limitam a prática do mergulho esportivo. Para a realização do trabalho foi utilizado o procedimento metodológico da revisão bibliográfica com abordagem qualitativa, em que autores como Queiroz *et al* (2012), Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo (2006) e NAUI (2013) foram consultados. Após a pesquisa foi possível compreender que existem diversas patologias de ordem neurológica, comportamental, psicológica, gastrointestinal, cardíaca, respiratória, entre outras que impedem absolutamente ou parcialmente a prática do mergulho.

PALAVRAS-CHAVE: Mergulho. Alterações fisiológicas. Fisiologia do esporte.

ABSTRACT

*Diving is a sport that consists of underwater submersion with or without the use of breathing apparatus. There are three distinct types of diving: apnea, free and autonomous. During diving, physiological changes occur due to the increase in atmospheric pressure in the underwater environment. These alterations can cause several pathologies and problems that compromise the safety and health of the diver, therefore, it is imperative that the practitioner has knowledge of decompression maneuvers and pressure balance. Thus, the general objective of the work is to present the conditions and pathologies that limit the practice of sport diving. To carry out the work, the methodological procedure of the bibliographic review with a qualitative approach was used, in which authors such as Queiroz *et al* (2012), São Paulo State Fire Department (2006) and NAUI (2013) were consulted. After the research, it was possible to understand that there are several pathologies of a neurological, behavioral, psychological, gastrointestinal, cardiac, respiratory nature, among others that prevent absolutely or partially the practice of diving.*

KEYWORDS: Dive. Physiological changes. Sport physiology.

RESUMEN

El buceo es un deporte que consiste en la inmersión bajo el agua con o sin el uso de aparatos de respiración. Hay tres tipos distintos de buceo: apnea, libre y autónomo. Durante el buceo se producen cambios fisiológicos debido al aumento de la presión atmosférica en el medio submarino. Estas alteraciones pueden causar diversas patologías y problemas que comprometen la seguridad y la salud del buceador, por lo que es imprescindible que el practicante tenga conocimientos de maniobras de descompresión y balance de presiones. Así, el objetivo general del trabajo es presentar

¹ Docente na Universidade do Estado da Bahia (UNEB).

² Graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, doutorado e mestrado pelo programa de Patologia Humana UFBA / Fiocruz-BA. Docente na Universidade do Estado da Bahia, (UNEB), Faculdade de Ciências e Tecnologias (FTC), e Faculdade UnidomPedro, com a disciplina de Fisiologia Humana e tutoria do curso de medicina, com uma trajetória profissional que permeia os três pilares da educação superior: pesquisa, ensino e Extensão.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CORPO SOB PRESSÃO - ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS DURANTE O MERGULHO
Marco Antonio Silvany, Jamile Gomes Conceição

las condiciones y patologías que limitan la práctica del buceo deportivo. Para la realización del trabajo, se utilizó el procedimiento metodológico de revisión bibliográfica con abordaje cualitativo, en el que se consultó a autores como Queiroz et al (2012), Departamento de Bomberos del Estado de São Paulo (2006) y NAUI (2013). Luego de la investigación se pudo comprender que existen diversas patologías de índole neurológica, conductual, psicológica, gastrointestinal, cardíaca, respiratoria, entre otras que impiden en forma absoluta o parcial la práctica del buceo.

PALABRAS CLAVE: Bucear. Cambios fisiológicos. Fisiología del deporte.

INTRODUÇÃO

O mergulho é uma prática esportiva que consiste na submersão aquática utilizando ou não aparatos especiais para respiração. Existem diversos tipos de mergulho, sendo os principais: livre, recreativo, autônomo e mergulho de apneia. O mergulho é uma modalidade esportiva reconhecida mundialmente e participante de competições esportivas mundiais, como as Olimpíadas. O mergulho é considerado uma modalidade esportiva abrangente, em que a maioria das pessoas pode participar, contudo existem algumas restrições, como crianças menores de 5 anos, mulheres grávidas, pessoas com graves problemas respiratórios e cardíacos.

O mergulho autônomo é uma categoria que exige treinamento especializado e demanda aparato instrumental como uso de cilindro de ar e outros instrumentos de avaliação de profundidade e pressão de ar do cilindro. Pelo uso desses aparelhos de mergulho, pode permitir visitas a embarcações naufragadas ou cavernas aquáticas.

Além de utilizar um sistema que permite respiração independente de suprimento aéreo da superfície, o praticante do mergulho autônomo irá expor seu corpo a mudanças de variáveis ambientais que irão pressionar suas condições fisiológicas, por isso essa categoria exige treinamento específico. Portanto, conhecer as principais fontes de potenciais alterações e como elas poderão induzir adaptações fisiológicas, é necessário para permitir a prática desse esporte de forma adequada e segura sem provocar danos ou agravos à saúde.

As restrições para o mergulho existem pois, durante a descida do mergulhador até o fundo, a pressão da água aumenta gradativamente de acordo com a profundidade, dessa forma, os gases presentes no corpo também são comprimidos com a pressão, além de demandar ajustes cardiovasculares e respiratórios durante a prática do mergulho, em especial do mergulho em apneia. Diante do exposto, o presente trabalho pretende responder o seguinte questionamento: Quais são as doenças e condições que impedem ou limitam a prática do mergulho?

Tem-se por hipótese que dadas as alterações fisiológicas e ajustes nos sistemas respiratório e cardiovascular que ocorrem durante a prática do mergulho, indivíduos que possuem doenças cardíacas e respiratórias não possam praticar, sobretudo mergulho em apneia, em que não há auxílio de aparato especial para respiração.

Dessa forma, o objetivo geral do trabalho é apresentar as condições e patologias que limitam a prática do mergulho esportivo. Como objetivos específicos, pretende-se: descrever as características e modalidades do mergulho; refletir sobre as alterações fisiológicas que ocorrem



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CORPO SOB PRESSÃO - ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS DURANTE O MERGULHO
Marco Antonio Silvany, Jamile Gomes Conceição

durante o mergulho e debater sobre os fatores que limitam ou restringem a prática esportiva do mergulho.

Justifica-se a escolha do tema como forma de contribuir com a construção de conhecimento a respeito da fisiologia do mergulho e das contraindicações para a prática do mergulho. A literatura brasileira acerca das contraindicações e cuidados prévios para a prática do mergulho recreativo e esportivo é escassa, e dessa forma, o presente trabalho contribui para a divulgação desse conhecimento.

Para a realização do trabalho foi utilizado o procedimento metodológico da revisão bibliográfica com abordagem qualitativa, em que autores como Queiroz *et al.*, (2012), Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo (2006) e NAUI (2013) foram consultados.

1. O MERGULHO COMO PRÁTICA ESPORTIVA

Em cidades litorâneas ou próximas à grandes corpos d'água frequentemente o ambiente aquático oferece oportunidade de entretenimento recreativo ou para prática de atividades esportivas garantindo boa estratégia para assegurar o bem-estar e a saúde. Entre várias opções de atividades como natação, surfe ou *rafting*, o mergulho oferece uma modalidade de experiência vivenciada sob a superfície.

No mergulho livre, o praticante utiliza aparelhos mais simples como *snorkel* ou respirador e normalmente é praticado em baixas profundidades e com tempo de imersão limitado. É descrito também como mergulho em apneia e utiliza basicamente ar dos pulmões. Em uma variação mais contemplativa do ambiente debaixo d'água, o *snorkeling* é praticado em mares e piscinas naturais nadando e flutuando com eventuais pequenas submersões em apneia.

Como prática em modalidade esportiva, o mergulho ocorre através da submersão aquática do indivíduo com ou sem equipamentos especiais de respiração. Contudo, o início da prática não se deu na idade contemporânea como prática esportiva. Não há consenso sobre o início do mergulho, porém sua origem está associada a própria relação do homem com o ambiente subaquático, em que a humanidade sempre teve como objeto de desejo desvendar os mistérios e riquezas presentes no fundo do mar. Dessa forma, a visualização do ambiente subaquático para observar as possibilidades de pesca, curiosidade sobre o que há no fundo do mar e busca por objetos perdidos são apontadas como fatores atrativos para as primeiras incursões (Queiroz *et al.*, 2012).

Os registros indicam que os primeiros mergulhos utilizavam o método livre, que consiste na utilização do ar presente nos pulmões do mergulhador para se manter debaixo d'água. Apesar de não haver precisão sobre o início da prática, Queiroz *et al.*, (2012, p. 18) afirmam:

Gravuras datadas do século IX a.c. representam guerreiros Assírios respirando em sacos de couro e nadando sob o mar, enquanto desenhos gregos e macedônios mostram mergulhadores em atividade, usando o que hoje chamamos de sino aberto de mergulho. Consta que Alexandre "O Grande", teria ele próprio mergulhado com tal equipamento. Os conquistadores espanhóis o utilizaram, no Caribe, para recuperação dos destroços de seus próprios galeões, operação em que eram ajudados pelos índios da região, dotados de grande habilidade de tal prática.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CORPO SOB PRESSÃO - ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS DURANTE O MERGULHO
Marco Antonio Silvany, Jamile Gomes Conceição

O sino de mergulho, primeira invenção para auxiliar o homem na prática do mergulho foi inventada no século XVI, por Guglielmo de Lorena e consiste em uma câmara rígida cuja função é transportar os mergulhadores até o fundo do mar, ou determinada profundidade e permitia o acúmulo de ar dentro do sino. O advento do sino de mergulho foi um considerável avanço para a prática esportiva, pois, permitia que os mergulhadores, uma vez já submersos na água, pudessem mergulhar em apneia, ou seja, prendendo a respiração, e quando fosse necessário retomar o ar dos pulmões, podiam retornar ao sino. Vale ressaltar que o sino de mergulho recebeu esse nome por sua semelhança com um sino de igreja. Até o século XVII, o sino foi aperfeiçoado diversas vezes, sendo a versão de Edmond Halley a mais notável desse período, por possuir uma janela que permitia a exploração subaquática dentro do sino e por sua capacidade de manter o mergulhador submerso por um longo período. A versão aperfeiçoada do sino de Halley permitiu sua submersão por mais de 4 h no rio Tâmsa, em Londres (Queiroz *et al.*, 2012).

Após a invenção do sino de mergulho, a invenção seguinte de maior notabilidade foi a substituição do sino por um capacete semiesférico que recebia ar bombeado pela superfície, conhecido como “escafandro”, o capacete possuía uma mangueira que conectava o mergulhador a superfície, e recebia ar através de uma bomba de pressão. O escafandro dominou a prática esportiva por décadas, sendo considerada a única forma de mergulhar de forma eficiente e segura (Corpo De Bombeiros Do Estado De São Paulo, 2006).

Queiroz *et al.*, (2012) afirmam que acompanhando essa evolução, os sinos de mergulho também se aperfeiçoaram, até a invenção de grandes câmaras com bombas de pressão que mantinham a água fora delas. Essas câmaras eram utilizadas para possibilitar atividades laborais e de construção no fundo do mar, em especial a construção de pontes, porém, dadas as alterações fisiológicas que ocorrem com o corpo submerso, por longos períodos, cresceu muito número de fatalidades por ocasião da permanência nas câmaras por longos períodos, conhecido atualmente como “doença compressiva”.

Nos tempos atuais, compreende-se que existem diversas formas de mergulho, dentre elas destacam-se as modalidades: autônomo, livre e mergulho de apneia. O mergulho autônomo é a modalidade que o mergulhador utiliza um aparato de respiração em submersão, denominado como SCUBA (*Self Contained Underwater Breathing Apparatus*), também conhecido como “aqualung”. Esse aparato é composto por três cilindros de gases ricos em oxigênio, como o ar enriquecido (nitrox) conectado a uma máscara de respiração conhecida como “snorkel” (Corpo De Bombeiros Do Estado De São Paulo, 2006).

O mergulho autônomo se divide em duas categorias: recreativo e técnico, em que a única diferença entre ambas é a profundidade limite, sendo que na modalidade recreativa, o limite é quarenta metros. A partir de quarenta metros se faz necessário o emprego de técnicas profissionais, dada a pressão que permite um curto limite de permanência sem descompressão.

O mergulho livre é realizado sem o auxílio de aparatos de respiração, e utiliza apenas o ar dos pulmões, nadadeiras, máscara de mergulho e respirador, utilizado quando o mergulhador



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CORPO SOB PRESSÃO - ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS DURANTE O MERGULHO
Marco Antonio Silvany, Jamile Gomes Conceição

permanece próximo da superfície. Por fim, o mergulho em apneia se assemelha ao mergulho livre, por também não utilizar aparatos de respiração, e por consistir apenas na voluntária suspensão da respiração para manter o fôlego. Contudo, existem diversas modalidades de mergulho em apneia, o que o difere do mergulho livre. O mergulho em apneia é uma modalidade esportiva dividida em oito categorias esportivas: 1) apneia estática: modalidade em que o atleta fica submerso em apneia pelo maior tempo possível e é geralmente realizado em piscinas; 2) apneia dinâmica sem nadadeiras, que consiste no deslocamento em profundidade sem auxílio de nadadeiras (Torres, 2004); 3) apneia dinâmica com nadadeiras, que consiste no deslocamento em profundidade com auxílio de nadadeiras; 4) lastro constante sem nadadeiras, realizado através da descida até determinada profundidade e o retorno à superfície com auxílio de nadadeiras, porém sem utilização de lastros (peso de chumbo com alta densidade utilizado para compensar a flutuabilidade do atleta); 5) lastro constante sem nadadeiras, que consiste na mesma modalidade referida, porém sem o auxílio de nadadeiras; 6) imersão livre, que é praticada através da descida até profundidade previamente determinada e o retorno a superfície, em apneia, sem utilização de lastros ou nadadeiras, porém com auxílio de cabo guia para auxiliar o atleta na tração durante a descida e subida. 7) lastro variável: descida até profundidade previamente definida, com auxílio de um *sledge* e retorno à superfície com auxílio de cabo e nadadeiras e 8) modalidade *no limits*, realizado pela descida até profundidade determinada com auxílio de *sledge* e retorno à superfície com auxílio de um balão de ar (Torres, 2004).

Resumindo, a principal diferença entre o mergulho livre e o mergulho em apneia é que o mergulho em apneia é uma modalidade esportiva que pode ser competido em diferentes categorias, enquanto o mergulho livre geralmente é recreativo.

2. ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS DURANTE O MERGULHO

As alterações fisiológicas que ocorrem durante o mergulho se dão pelo aumento da pressão em condições subaquáticas. No solo existe a pressão atmosférica, que é a força exercida pela massa de gases da atmosfera sobre a superfície. De acordo com Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo (2006), na superfície, a pressão atmosférica é de 1,033kg/cm² e a cada dez metros de profundidade, a sensação é de dobrar a pressão existente, o que cria condições adversas para a permanência humana, suplantadas apenas pela utilização de aparatos específicos que permita ao homem adentrar e permanecer nesse ambiente, porém, mesmo com o uso de equipamentos tecnológicos, ainda há o limite de pressão que o corpo pode suportar.

De modo geral, as alterações fisiológicas durante o mergulho se dividem em duas categorias: alterações ocorridas na descida e alterações que ocorrem na subida. As alterações que ocorrem na descida são resultado da compressão dos gases presentes no corpo, conforme a pressão aumenta. A fisiologia do mergulho durante a subida ocorre de maneira inversa, e há decompressão dos gases presentes no corpo e o oxigênio que estava diluído no sangue por ocasião da pressão aumenta e é conduzido aos pulmões (Caldeira, 2016). Para profundidades superiores a 10 metros, é necessário



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CORPO SOB PRESSÃO - ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS DURANTE O MERGULHO
Marco Antonio Silvany, Jamile Gomes Conceição

realizar a descompressão e subir de forma lenta e progressiva, para que o processo de descompressão dos gases ocorra de forma natural. A subida brusca pode ocasionar a liberação acelerada e intensa dos gases e resultar em desmaios e doença da descompressão, que ocorre devido a formação de bolhas de nitrogênio nos tecidos do sangue (Machado, 2019).

A pressão exercida no corpo humano submerso gera efeitos diretos e indiretos, sendo os efeitos diretos aqueles que são resultado da ação mecânica da pressão sobre os espaços corporais e células, gerando embolia traumática e barotrauma. Os efeitos indiretos são ocasionados devido as alterações fisiológicas, resultado da pressão dos gases comprimidos e absorvidos pelo corpo, que podem gerar intoxicação pelo oxigênio, narcose pelo nitrogênio, entre outros (Queiroz *et al*, 2012).

De acordo com Torres (2004), os barotraumas são traumatismos ocasionados pela ação da pressão e são resultado da impossibilidade do ser humano de equilibrar as pressões advindas do meio ambiente e do espaço aéreo. Os barotraumas dividem-se em oito categorias: barotrauma de ouvido médio; dental; da roupa; facial; dos pulmões; dos seios faciais; do ouvido externo e barotrauma total. O barotrauma do ouvido médio é o acidente mais comum e menos nocivo:

À medida que aumenta a pressão exterior durante a descida, a membrana do tímpano sofre o efeito direto desse aumento, abaulando-se para dentro, podendo inclusive romper-se, caso o mergulhador não conseguir equilibrar as pressões por meio do envio forçado de ar através da tuba auditiva (Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo, 2006, p. 62).

O barotrauma de ouvido médio ocorre necessariamente durante a descida e pode romper o tímpano do mergulhador. Caso isso ocorra, seus sintomas são náusea, vômito, tonteira e hemorragia. Seu tratamento é realizado por médico especialista e para casos mais graves, pode demandar intervenção cirúrgica. Os demais barotraumas supracitados também advém da ação da pressão no organismo. De forma geral, quaisquer espaços aéreos formados dentro do traje podem dificultar ou impossibilitar o equilíbrio das pressões, causando o trauma. Obturações e canais realizados de forma incorreta, que mantenha um espaço no dente, uso de gorro muito apertado, equipamentos dependentes rígidos e dobras no traje são exemplos de práticas incorretas que podem gerar um espaço aéreo que impossibilite o controle da pressão através da manobra de “Valsalva” e demais técnicas de descompressão e manobras para equilibrar as pressões (Corpo De Bombeiros Do Estado De São Paulo, 2006).

De acordo com a lei de Boyle, há aumento da pressão de acordo com a profundidade, portanto, à medida que o mergulhador desce a pressão aumenta, o que comprime os pulmões, reduzindo seu volume, ocasionado o barotrauma pulmonar:

A partir de um determinado ponto (quando se atinge o limite do volume residual), a flexibilidade da caixa torácica impede aos pulmões continuarem reduzindo seu volume e se o mergulhador prosseguir, haverá uma congestão e passagem de transudato (líquido que extravasa de uma membrana ou vaso sanguíneo) para o interior dos alvéolos e finalmente edema agudo de pulmão (Corpo De Bombeiros Do Estado De São Paulo, 2006, p. 64).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CORPO SOB PRESSÃO - ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS DURANTE O MERGULHO
Marco Antonio Silvany, Jamile Gomes Conceição

Além das consequências diretas, há os efeitos indiretos causados pela pressão, sendo os principais: embolia traumática pelo ar (ETA); Doença Descompressiva (DD) e narcose pelo nitrogênio. A ETA ocorre quando o mergulhador inspira ar através de equipamentos de respiração, estando submerso e retorna a superfície sem exalar o ar. Dessa forma, por emergir da água o volume dos pulmões aumenta, e quando há ar inspirado do cilindro de ar enriquecido somado ao volume de ar que inspirado na superfície, pode ocasionar hiper distensão alveolar rompimento dos pulmões, dada a elasticidade limitada dos pulmões (Nascimento, 2004).

A ETA apenas ocorre na modalidade autônoma, pois, no mergulho em apneia não é possível que o mergulhador retorne a superfície com mais ar nos pulmões do que tinha quando submergiu. A embolia traumática pode ocasionar “choque reflexo (sem ruptura), pneumotórax sem embolia, e finalmente, a embolia pelo ar, cujo quadro é o mais grave” (Corpo De Bombeiros Do Estado De São Paulo, 2006, p. 67).

A DD é um dos maus mais conhecidos do mergulho, e durante sua descoberta, no século XVII, causou uma elevação no número de mortes de trabalhadores que trabalham secos no fundo do mar, por meio dos sinos de mergulho. A doença descompressiva é um distúrbio ocasionado pelo nitrogênio dissolvido no sangue, que forma bolhas quando a pressão diminui bruscamente. A DD pode ocasionar sintomas respiratórios, articulares, manifestações cutâneas e neurológicas, como fadiga, vertigem, dificuldade respiratória, dores no peito, dormência localizada, fraqueza nos membros e instabilidade, sendo que nos casos mais graves, os sintomas se assemelham aos de um Acidente Vascular Cerebral (AVC) (Machado, 2019).

De acordo com Caldeira (2016), a doença descompressiva possui os seguintes fatores predisponentes: má hidratação, estado gripal, sonolência, saúde geral do mergulhador, excesso de fadiga, traumas anteriores ao mergulho, tabagismo, obesidade, além de fármacos que alteram a função respiratória e circulatória, além de características individuais e susceptibilidade do indivíduo.

Por fim, a narcose pelo nitrogênio, também conhecida como embriaguez das profundezas é semelhante a embriaguez causada por excesso de álcool. A narcose pelo nitrogênio é um acidente resultante do aumento da pressão parcial de gases, em especial o nitrogênio no sistema nervoso central. Causa sintomas similares a embriaguez, com manifestações sensoriais, motoras e psíquicas e varia de acordo com o tipo de atividade geralmente praticada pelo mergulhador, velocidade da descida, profundidade e suscetibilidade do indivíduo (Corpo De Bombeiros Do Estado De São Paulo, 2006).

3. CONDIÇÕES QUE LIMITAM E RESTRINGEM A PRÁTICA DO MERGULHO

Para a prática do mergulho esportivo, é necessário que o mergulhador possua além de perícia e conhecimento das manobras e técnicas para equilibrar as pressões, condições de saúde gerais e específicas, sem as quais a prática fica comprometida. De acordo com a *National Association of Underwater Instructors* (NAUI, 2013), existem contraindicações pulmonares,



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CORPO SOB PRESSÃO - ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS DURANTE O MERGULHO
Marco Antonio Silvany, Jamile Gomes Conceição

ortopédicas, comportamentais, gastrointestinais, neurológicas, contra-indicações absolutas e demais condições que impedem a prática do mergulho esportivo.

De modo geral, as contra-indicações para a prática do mergulho esportivo existem para reduzir o risco de acidentes, reduzir o risco do acometimento da doença descompressiva, barotrauma pulmonar, ETA e outras condições que podem levar ao desmaio e perda de consciência, que por sua vez, leva ao afogamento. Além disso, os praticantes da modalidade esportiva devem tolerar certo nível de estresse térmico, os efeitos fisiológicos da submersão e possuir condições psicológicas e físicas para lidar com acidentes e imprevistos (DMSC, 2020).

Ainda de acordo com DMSC (2020), as contra-indicações se dividem em duas categorias: contra-indicações relativas e absolutas, em que a primeira categoria não se apresenta como uma condição necessariamente excludente, e se faz necessário uma avaliação médica que leve em consideração suas restrições relativas e seu estado de saúde física e mental geral. Enquanto as contra-indicações absolutas representam condições que impedem a prática do mergulho independente das condições gerais de saúde do paciente e demais aspectos, pois, irá representar risco iminente para o mergulhador.

As contra-indicações relativas são: histórico de doença arterial coronária, uso de ponte aorto-coronária (ponte de safena) e demais aparelhos ou procedimentos realizados para tratar a doença arterial coronária; hipertensão; arritmia cardíaca grave; histórico de demais doenças cardíacas, uso de marcapasso e regurgitação na válvula mitral. Vale ressaltar que o marcapasso por si, não é um fator excludente, e o mergulhador poderá praticar o mergulho recreativo (até 40m de profundidade) caso passe nos critérios e exame de performance física (DMSC, 2020).

Enquanto as contra-indicações absolutas, aquelas que impedem a prática em quaisquer circunstâncias são: histórico de pneumotórax espontâneo, conhecido popularmente como pulmão colapsado, asma, graves doenças cardiorrespiratórias e presença de patologias que restringem a prática de exercício físico (DMSC, 2020). De acordo com NAUI (2013), a essas patologias, somam-se presença de problemas na coluna vertebral como discopatia degenerativa e hérnia de disco, ou procedimentos cirúrgicos que deixaram sequelas na coluna, presença de aneurisma ou tumor intracraniano, ter passado por intervenção cirúrgica para tratar ou corrigir patologias e condições graves e possuir histórico de doença descompressiva severa que causou danos neurológicos permanente.

Sobre a questão comportamental, o abuso de álcool e drogas, atrasos graves no desenvolvimento e a presença de surtos psicológicos prévios são condições que restringem a prática do mergulho. Como contra-indicações absolutas, o histórico de síndrome do pânico, quadro de psicose ativa ou durante o tratamento com medicamentos antipsicóticos, agorafobia e claustrofobia. Para RSTC (s/d) o abuso de álcool e substâncias ilícitas também são apontados como fatores absolutamente restritivos. Compreende-se, portanto, que o uso recreativo de substâncias ilícitas e álcool se configuram como contra-indicações relativas, enquanto a dependência química nessas substâncias configura contra-indicação absoluta.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CORPO SOB PRESSÃO - ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS DURANTE O MERGULHO
Marco Antonio Silvany, Jamile Gomes Conceição

No âmbito ortopédico, dor crônica nas costas, amputações, escoliose e osteonecrose também são condições apontadas por NAUI (2013), como absolutamente restritivas. No âmbito da endocrinologia, a obesidade, insuficiência renal e deficiência ou excesso hormonal são apontadas como contraindicações relativas, enquanto a presença de diabetes, tratamento insulínico e uso de medicação anti-hiperglicemiantes se apresentam como restrições absolutas. Além das citadas, há também múltiplas patologias gastrointestinais e otorrinolaringológicas que impedem absolutamente a prática do mergulho, como úlceras e inflamações intestinais, paralisia do nervo facial, procedimentos de tímpanoplastia e mastoidectomia (RSTC, s/d).

Por fim, NAUI (2013) aponta que a gestação em qualquer fase, apesar de não ser uma doença, é absolutamente contraindicada para a prática do mergulho, pois a descompressão que ocorre na subida do mergulhador para a superfície libera de forma mais acelerada os gases presentes no corpo, o que pode criar má formações no feto.

4. BAROTRAUMA NO MERGULHO: TRATAMENTO E REABILITAÇÃO

O barotrauma no mergulho é uma condição médica decorrente das mudanças na pressão atmosférica durante a atividade subaquática. Este fenômeno, muitas vezes relacionado ao mergulho livre ou com equipamento autônomo, é caracterizado por lesões nos tecidos do corpo humano, especialmente nas áreas mais sensíveis à pressurização, como os ouvidos, seios paranasais e pulmões. A compreensão dos mecanismos subjacentes ao barotrauma é essencial para uma abordagem eficaz no tratamento e prevenção dessa condição. O termo "barotrauma" deriva da combinação de "baro", que se refere à pressão, e "trauma", indicando lesão. Assim, o barotrauma pode ser definido como qualquer lesão causada pela variação na pressão atmosférica ambiente, que pode resultar em danos aos tecidos corporais, especialmente aqueles que contêm cavidades cheias de ar (Nasution, 2023).

O mergulho é uma das atividades mais propensas a desencadear o barotrauma devido às rápidas mudanças de pressão que os mergulhadores experimentam durante suas descidas e ascensões. O barotrauma é desencadeado por alterações na pressão atmosférica que afetam as cavidades corporais e os órgãos associados. Os principais mecanismos do barotrauma podem ser classificados de acordo com as regiões anatômicas afetadas (Couturier; Husain, 2021).

Durante a descida, a pressão aumenta, e o ouvido médio pode não equalizar adequadamente. Isso pode resultar em lesões no tímpano, conhecidas como barotite ou otite barotraumática. A incapacidade de equalizar a pressão pode levar ao bloqueio da tuba auditiva, causando desconforto e, em casos mais graves, perda auditiva temporária ou permanente. Os seios paranasais são cavidades cheias de ar no crânio. Mudanças na pressão podem causar inflamação e bloqueio das passagens nasais, resultando em dores de cabeça intensas e sinusite barotraumática. A ventilação adequada dos seios paranasais é parte concomitante para prevenir essas lesões, especialmente durante mudanças rápidas de pressão, como as encontradas no mergulho (Lindfors *et al*, 2021).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CORPO SOB PRESSÃO - ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS DURANTE O MERGULHO
Marco Antonio Silvany, Jamile Gomes Conceição

Durante a subida, a diminuição da pressão atmosférica pode levar à expansão rápida dos gases nos pulmões. A rápida expansão pode resultar em danos ao tecido pulmonar, causando micro-rupturas alveolares e vasculares. A ativação de mediadores inflamatórios, como citocinas pró-inflamatórias e fatores de crescimento, desencadeia uma resposta inflamatória aguda. Essa resposta inflamatória contribui para o aumento da permeabilidade capilar, levando ao extravasamento de fluido para os espaços alveolares e intersticiais. A formação de edema pulmonar pode comprometer significativamente as trocas gasosas, resultando em hipoxemia e dificuldade respiratória. Além disso, a ativação de células inflamatórias, como neutrófilos e macrófagos, pode intensificar a lesão tecidual através da liberação de enzimas proteolíticas (Chen, 2020; Couturier; Husain, 2021).

Os reflexos de equalização exercem uma medida preventiva do barotrauma nos ouvidos e seios paranasais. Durante a descida, o mergulhador deve realizar algumas manobras, como a manobra de Valsalva, para equalizar a pressão no ouvido médio. Esta ação envolve o fechamento da glote e o aumento da pressão nas vias aéreas superiores, facilitando a abertura da tuba auditiva e evitando lesões no tímpano. Da mesma forma, para prevenir o barotrauma nos seios paranasais, é considerável manter a ventilação adequada dos seios durante as mudanças de pressão. A ventilação é favorecida pela permeabilidade das vias aéreas superiores e pela abertura eficiente das passagens nasais. Pacientes com predisposição a obstruções nasais, como desvios septais, podem apresentar maior susceptibilidade ao barotrauma sinusal (Lindfors *et al.*, 2021). A variação na solubilidade dos gases é uma adaptação fisiológica essencial a ser considerada no ambiente subaquático. Durante o mergulho, a pressão aumenta proporcionalmente à profundidade, o que afeta a dissolução de gases no sangue. A concentração de gases, como o nitrogênio e o oxigênio, aumenta com a profundidade, tornando os mergulhadores suscetíveis ao fenômeno conhecido como narcose por nitrogênio, que pode afetar a função cognitiva. Além disso, a compressibilidade dos tecidos é um fator crítico nas mudanças de pressão. Tecidos menos compressíveis, como ossos, podem acumular bolhas de gases durante a ascensão, contribuindo para a síndrome da descompressão e o risco de embolia gasosa (Chen, 2020; Couturier e Husain, 2021).

O diagnóstico clínico do barotrauma no mergulho repousa sobre a análise criteriosa dos sintomas manifestados pelo paciente e a observação de sinais durante o exame físico. Para a otite barotraumática, a presença de dor auricular, plenitude auricular, perda auditiva transitória ou zumbido, juntamente com achados otoscópicos, como hemorragias timpânicas ou perfurações, é essencial. No caso da sinusite barotraumática, a dor facial intensa, obstrução nasal, secreção purulenta, dor à palpação dos seios paranasais, e a história de exposição a mudanças de pressão, como o mergulho, são elementos diagnósticos fundamentais (Lindfors *et al.*, 2021).

Quando se trata do barotrauma pulmonar, sintomas como dispneia, desconforto respiratório, dor torácica e tosse merecem atenção clínica. A ausculta pulmonar pode revelar crepitações subcutâneas ou ruídos respiratórios anormais, enquanto casos graves podem apresentar cianose (Schipke *et al.*, 2019).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CORPO SOB PRESSÃO - ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS DURANTE O MERGULHO
Marco Antonio Silvano, Jamile Gomes Conceição

A confirmação radiológica do barotrauma muitas vezes é necessária e varia conforme a localização da lesão. Para a otite barotraumática, radiografias ou tomografias computadorizadas (TC) do ouvido médio são indicadas, buscando efusões ou hemorragias na cavidade timpânica e avaliando a integridade do tímpano. Em casos de sinusite barotraumática, radiografias ou TC dos seios paranasais ajudam a identificar opacificações, fluidos ou espessamento mucoso sinusais (Lindfors *et al.*, 2021). Já para o barotrauma pulmonar, radiografias de tórax ou TC do tórax são empregadas para detectar infiltrados pulmonares e identificar pneumomediastino, pneumotórax ou outras alterações anatômicas. A interpretação adequada desses achados radiológicos demanda conhecimento especializado em medicina subaquática e uma compreensão profunda dos efeitos do barotrauma nos diferentes sistemas do corpo (Schipke *et al.*, 2019). Ressalta-se a importância de uma anamnese detalhada, abordando informações sobre a profundidade e duração do mergulho, a presença de sintomas durante ou após a atividade subaquática, e quaisquer eventos adversos.

A rapidez na identificação e diagnóstico do barotrauma é vital para o início imediato das intervenções adequadas. A avaliação inicial do paciente deve incluir a obtenção de uma história detalhada do mergulho, focando em profundidade, duração e sintomas apresentados. O exame físico deve se concentrar nos sistemas afetados, como ouvidos, seios paranasais e sistema respiratório. A otoscopia é fundamental para avaliar lesões nos ouvidos, enquanto exames de imagem, como tomografias, podem ser necessários para diagnosticar lesões nos seios paranasais e pulmões (Meintjes, 2019).

Para tratar o barotrauma no mergulho, a descompressão é uma medida fundamental. Em casos de barotrauma pulmonar, a administração de oxigênio suplementar é prioritária, buscando otimizar os níveis de oxigenação. Em situações mais graves, a ventilação assistida pode ser necessária. A monitorização contínua dos sinais vitais é essencial para avaliar a resposta ao tratamento (Chen, 2020). No âmbito do barotrauma nos ouvidos, a manobra de Valsalva é empregada para equalizar a pressão nos ouvidos. Analgésicos e anti-inflamatórios não esteroides (AINEs) são administrados para controlar a dor e inflamação. Recomenda-se evitar novas descidas até a completa melhora dos sintomas. A terapêutica para o barotrauma nos seios paranasais inclui a administração de descongestionantes nasais para aliviar a obstrução e reduzir a inflamação (Meintjes, 2019).

Para a terapêutica da sinusite barotraumática, a prescrição de descongestionantes nasais pode incluir medicamentos como a oximetazolina ou a pseudoefedrina. Esses agentes são eficazes na redução da obstrução nasal, aliviando a pressão nos seios paranasais. Em casos de infecção bacteriana secundária, a escolha de antibióticos dependerá das características do paciente, alergias conhecidas e da microbiologia local. Antibióticos comumente prescritos para sinusite incluem a amoxicilina, a cefuroxima ou outros da classe das cefalosporinas. Em casos de alergia à penicilina, podem ser indicadas alternativas, como a azitromicina ou a doxiciclina. A irrigação nasal é frequentemente realizada com soluções salinas isotônicas. Essa prática contribui para a remoção de



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CORPO SOB PRESSÃO - ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS DURANTE O MERGULHO
Marco Antonio Silvany, Jamile Gomes Conceição

secreções, redução da inflamação e promoção da drenagem adequada dos seios paranasais (Lindfors *et al.*, 2021).

Em situações mais graves ou quando as intervenções conservadoras não são eficazes, considerações cirúrgicas podem ser necessárias. A reparação cirúrgica de perfurações timpânicas, a descompressão cirúrgica dos seios paranasais ou procedimentos cirúrgicos para tratar complicações pulmonares podem ser indicados em casos selecionados. No entanto, a decisão de procedimentos cirúrgicos deve ser cuidadosamente ponderada, considerando os riscos e benefícios para cada paciente. Após as intervenções iniciais, o acompanhamento contínuo é indicado, pois os pacientes devem ser orientados a evitar atividades de mergulho até que a completa recuperação seja alcançada, e a importância do cumprimento de todas as orientações médicas deve ser enfatizada. Além disso, a educação sobre técnicas adequadas de equalização da pressão durante o mergulho e medidas preventivas pode ajudar a reduzir o risco de recorrência (Meintjes, 2019).

A reabilitação pós-barotrauma no mergulho é um processo intrincado que se inicia com uma avaliação precisa, considerando a extensão das lesões. Para casos de barotrauma nos ouvidos, o treinamento auditivo inclui exercícios como a discriminação auditiva, em que o paciente pratica identificar diferentes sons e tonalidades. A adaptação de próteses auditivas é realizada sob medida, considerando a perda auditiva específica de cada paciente. Na fisioterapia respiratória, os exercícios de reexpansão pulmonar visam melhorar a capacidade pulmonar. Isso pode envolver a realização de inspirações profundas, sustentação da respiração e expirações controladas para prevenir atelectasias. O treinamento muscular respiratório concentra-se no fortalecimento dos músculos respiratórios, utilizando exercícios como a respiração diafragmática e a respiração com resistência (Meintjes, 2019).

A terapia medicamentosa abrange analgésicos para controlar a dor residual, anti-inflamatórios para reduzir a inflamação persistente nos seios paranasais ou outras áreas afetadas, e broncodilatadores, quando necessário, para facilitar a função respiratória. O treinamento de equalização é uma parte intrínseca da reabilitação para prevenir recorrências. A prática contínua da manobra de Valsalva, em que o paciente tenta expulsar o ar mantendo a boca fechada e o nariz beliscado, é essencial. Instruções detalhadas sobre técnicas adequadas de equalização durante atividades subaquáticas são fornecidas para garantir a segurança durante o mergulho. O acompanhamento contínuo inclui avaliações periódicas, onde são repetidos testes audiométricos e exames de imagem, além de possíveis sessões de aconselhamento psicológico, especialmente para pacientes que enfrentam ansiedade relacionada ao mergulho (Meintjes, 2019).

No retorno ao mergulho, a avaliação de aptidão médica é necessária, pois os exercícios pré-mergulho podem envolver práticas de equalização sob supervisão, garantindo a adaptação adequada às condições subaquáticas. O paciente deve ser orientado sobre medidas de segurança e limitações, considerando a natureza do barotrauma e as áreas afetadas (Meintjes, 2019).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CORPO SOB PRESSÃO - ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS DURANTE O MERGULHO
Marco Antonio Silvany, Jamile Gomes Conceição

5. MÉTODO

Este breve estudo contou em sua elaboração com um procedimento de caráter narrativo e qualitativo, através de um estudo de revisão da literatura bibliográfica. Lakatos e Marconi (2008) ensinam que nesse tipo de abordagem, são incluídas bibliografias publicadas relacionadas ao tema da pesquisa, publicações avulsas, jornais informativos, revistas, livros, estudos, monografias, artigos e resumos críticos.

Esse tipo de tratamento envolve uma pesquisa bibliográfica preliminar e deve buscar considerar a explicação e revisão de conceitos e ideias, colocando questões mais específicas para fornecer padrões e compreensão relacionadas ao seu objetivo principal, permitindo a novas análises das possibilidades presentes na literatura consultada para a concepção do referencial teórico da pesquisa, como encontramos em Vosgerau e Romanowski (2014) sobre o tema. Isso permite estabelecer relações com produções anteriores, identificando temáticas recorrentes, apontando novas perspectivas e construção de novas contextualizações para o problema.

6. CONSIDERAÇÕES

O presente trabalho revisou as condições e patologias que limitam e restringem a prática do mergulho esportivo. Com a pesquisa foi possível compreender que existem diversas patologias de ordem ortopédica, cardiovascular, respiratória e pulmonar, psicológicas e de comportamento, endócrinas e neurológicas, gastrointestinais e otorrinolaringológicas. As contraindicações se dividem em contraindicações relativas, que são aquelas que restringem, mas não necessariamente impedem a prática, e demanda avaliação médica que considere a saúde geral do paciente para permitir ou impedir a prática, e as contraindicações absolutas, que se configuram como condições que impedem absolutamente a prática do mergulho esportivo e recreativo. Além da presença de patologias físicas ou psicológicas, a gestação também é um grave impedimento para a prática do mergulho, pois, pode ocasionar malformações no feto.

O mergulho é uma prática esportiva que consiste na submersão aquática do praticante, utilizando ou não aparatos especiais de respiração. A prática do mergulho com aparato de respiração se iniciou no século XVI, e os aparatos utilizados evoluíram com o decorrer do tempo, até o atual uso de cilindros de ar enriquecido e *snorkel*. O mergulho divide-se em três modalidades: autônomo, em que o mergulhador utiliza aparato de respiração conhecido como SCUBA e não está preso à superfície, portanto, possui total autonomia de mobilidade. O mergulho livre é a prática recreativa do mergulho sem aparato de respiração e consiste na suspensão voluntária da respiração para se manter submerso. Por fim, há o mergulho de apnéia, que se apresenta como uma modalidade esportiva que se divide em oito categorias de competição diferentes.

Por fim, pode-se compreender que o corpo sofre alterações fisiológicas pelo aumento da pressão atmosférica no ambiente subaquático, e há relação do aumento da pressão com o aumento da profundidade. As alterações se diferem na subida e na descida, sendo que na descida há



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CORPO SOB PRESSÃO - ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS DURANTE O MERGULHO
Marco Antonio Silvany, Jamile Gomes Conceição

compressão dos gases presentes no corpo como consequência do aumento da pressão e na subida, há a descompressão desses gases, conforme a pressão diminui.

REFERÊNCIAS

CALDEIRA, Filipe Manuel Estêvão. **A prática do mergulho e a patologia ori – barotrauma**. Lisboa: Universidade de Lisboa, 2016.

CHEN, Ruiyong. Pulmonary Barotrauma of Diving. **Burn and Trauma Associated Lung Injury**, p. 39-49, 2020.

CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Operações de Mergulho**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 2006. (Coletânea de manuais técnicos de bombeiros).

COUTURIER, Katherine; HUSAIN, Irfan. Diving injury. *In*: CONE, David et al. **Emergency Medical Services: Clinical Practice and Systems Oversight**. [S. l.]: John Wiley & Sons, 2021. v. 1, p. 421-429.

DMSC – DIVER MEDICAL SCREEN COMMITTEE. **Diving Medical Guidance to the Physician**. [S. l.]: DMSC, 2020. Disponível em: https://media.rainpos.com/3929/rstc_medical_guidelines_for_physician_use.pdf. Acesso em: 20 ago. 2022.

LINDFORS, Oskari H. *et al.* Middle ear barotrauma in diving. **Diving and Hyperbaric Medicine**, v. 51, n. 1, p. 44, 2021.

LINDFORS, Oskari H. *et al.* Sinus barotrauma in diving. **Diving and Hyperbaric Medicine**, v. 51, n. 2, p. 182, 2021.

MACHADO, Francisco Nogueira. **Fisiopatologia do Mergulho: Doença Descompressiva e Barotrauma**. Lisboa: Universidade de Lisboa, 2019.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia científica**. 5. Ed. São Paulo: Atlas, 2008.

MEINTJES, WAJ Jack. Diving Medicine. *In*: **Travel Medicine**. Elsevier, 2019. p. 401-406

NASCIMENTO, Anderson Broco do. **Aspectos fisiológicos e técnicos da caça submarina**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2004.

NASUTION, Indra Santoso. A Review of Barotrauma from Diving: A Narrative Literature Review. **Sriwijaya Journal of Forensic and Medicolegal**, v. 1, n. 1, p. 8-11, 2023

NAUI – NATIONAL ASSOCIATION OF UNDERWATER INSTRUCTORS. **Contraindications to diving**. [S. l.]: NAUI Worldwide Report, 2013. Disponível em: https://www.seacamp.org/docs/NAUI_Contraindications.pdf. Acesso em: 20 ago. 2022.

QUEIROZ, Mauro Gonçalves *et al* **Manual de mergulho autônomo**. Goiania: Corpo de bombeiros do Estado de Goiás, 2012.

RSTC - RECREATIONAL SCUBA TRAINING COUNCIL. **Guidelines for recreational scuba diver's physical examination**. [S. l.]: RSTC, s/d. Disponível em: http://www.torpedo.be/Diver_Medical_Eval.pdf. Acesso em 20 ago. 2022.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

CORPO SOB PRESSÃO - ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS DURANTE O MERGULHO
Marco Antonio Silvany, Jamile Gomes Conceição

SCHIPKE, Jochen D. *et al.* Effects of breath-hold deep diving on the pulmonary system. **Respiration**, v. 97, n. 5, p. 476-483, 2019.

TORRES, Frederico Lopes Rodrigues. **Ajustes cardiovasculares e respiratórios do mergulho em apnéia**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2004.

VOSGERAU, Dilmeire Sant'Anna Ramos; ROMANOWSKI, Joana Paulin. Estudos de revisão: implicações conceituais e metodológicas. **Rev. Diálogo Educ.** Curitiba, v. 14, n. 41, p. 165-190, 2014. Disponível em: http://educa.fcc.org.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-416X2014000100009&lng=en&nrm=iso. Acesso em 30 ago. 2022.