



# **TRABALHO FINAL**

## **MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA**

---

Clínica Universitária de Otorrinolaringologia

**Mergulho: barotraumatismos e fatores humanos  
envolvidos nos acidentes**

Luís Miguel Marques da Silva e Abrantes Marques

---

**Abril'2019**



# **TRABALHO FINAL MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA**

---

Clínica Universitária de Otorrinolaringologia

**Mergulho: barotraumatismos e fatores humanos  
envolvidos nos acidentes**

Luís Miguel Marques da Silva e Abrantes Marques

**Orientado por:**

Dr. Marco Simão

Dr. Filipe Caldeira

---

**Abril'2019**



## RESUMO

Com milhões de adeptos em todo o mundo, o mergulho, nas suas diversas modalidades, é uma actividade extremamente popular. Quer seja uma atividade profissional, quer de lazer, cresce todos os anos, com novas pessoas a aderirem, em parte, pela facilidade de acesso. De facto, em Portugal, não existe nenhuma avaliação médica obrigatória para a prática de mergulho recreativa. Logo, qualquer um pode praticar esta modalidade. Isto cria desde logo um problema, pois vão existir mergulhadores com problemas de saúde que podem estar a colocar em risco a sua vida (e a dos outros) quando se encontram debaixo de água.

Os barotraumatismos dos ouvidos médio e interno são patologias extremamente frequentes no mergulhador e, embora na maioria das vezes sejam benignos, podem também associados a complicações. No entanto, também existem patologias com elevado grau de gravidade como a epilepsia, doença coronária e doenças psiquiátricas, que podem estar associadas a desfechos desfavoráveis.

É necessário o público entender que, por vezes, o risco de mergulhar é superior ao benefício. Por vezes não vale a pena colocar a vida em risco apenas para explorar o mundo sub-aquático. O primeiro passo passará pela divulgação de informação. É importante que as pessoas percebam as diferentes doenças e sobretudo que casos fatais ocorrem devido a essas mesmas doenças.

Neste trabalho, tentamos identificar alguns fatores associados a um pior desfecho para os mergulhadores.

Palavras chaves: SCUBA-diving, barotrauma, ouvido médio, ouvido interno, fator humano

O Trabalho Final exprime a opinião do autor e não da FMUL.



## ABSTARCT

With millions of fans worldwide, diving, in its most diverse modalities, is an extremely popular sport. Whether as a professional activity or merely as a recreational pleasure, diving grows every year, with new people joining this community. This is in part due to an easy access to diving lessons. Indeed, in Portugal, there is no mandatory complete medical evaluation before joining a diving school. This sets the stage for people with various diseases to endanger themselves when underwater.

Middle- and inner-ear barotraumas are among the most common complications arising during diving. For the most part, they are benign and easily treatable; however, they can sometimes have consequences such a diminished auditory capacity. In contrast, some diseases have a high degree of danger. Such is the case for epilepsy, coronary artery disease and psychiatric diseases.

People need to understand that sometimes the risk of diving outweighs the benefit. Maybe it is not worth to put your life on the line just to explore the underwater world. The first step is information. The people need to understand the diseases that can arise during a dive and they need to understand that fatalities occur due to those diseases.

In this thesis, we try to expose some of the factors associated with a worse outcome for divers.

Keywords: SCUBA-diving, barotrauma, middle ear, inner ear, human factor.

O Trabalho Final exprime a opinião do autor e não da FML.





# ÍNDICE

RESUMO.....	3
ABSTARCT.....	5
INTRODUÇÃO .....	9
1- Contextualização histórica.....	9
1.1- Uma actividade profissional.....	9
1.2- Desenvolvimentos técnicos.....	9
1.3- Sistemas de mergulho autónomo .....	10
2- Tipos de mergulho .....	10
2.1- Mergulho em apneia.....	10
2.2- Mergulho semi-autónomo .....	11
2.3- Mergulho autónomo/ Self-Contained Breathing Apparatus (“SCUBA”).....	11
FISIOLOGIA DO MERGULHO.....	12
1- A pressão ambiente.....	12
2- Lei de Boyle-Mariotte .....	13
3- Lei de Henry .....	13
ANATOMIA E FISIOLOGIA DO OUVIDO .....	14
1- Ouvido .....	14
1.1- Ouvido externo.....	14
1.2- Ouvido médio.....	14
1.3- Ouvido interno .....	15
2- Trompas de Eustáquio .....	16
BAROTRAUMATISMOS .....	18
1- Ouvido médio .....	18
2- Ouvido interno.....	19
3- Outros tipos de barotrauma.....	20
O FATOR HUMANO COMO CAUSA DE MORTE.....	21
1- Avaliação neuro-psiquiátrica .....	21
2- O relatório da DAN .....	22
CONCLUSÃO .....	24
BIBLIOGRAFIA .....	25



## INTRODUÇÃO

### 1- Contextualização histórica

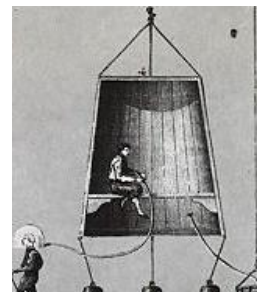
#### 1.1- Uma actividade profissional

O mergulho é uma actividade mais antiga que a própria escrita. Desde muito cedo, as populações perceberam que os mares eram uma fonte interminável de alimento, e que certos itens, como as pérolas, podiam ser usados para fins comerciais. Foi o que um grupo de arqueólogos descobriu, ao encontrar na antiga Mesopotâmia pérolas e conchas derivadas do fundo do mar e que eram utilizadas em actividades comerciais. No decorrer do III milénio A.C, também os gregos e os chineses tinham uma forte indústria dedicada à captura de pérolas submarinas. Homero referencia mergulhadores apanhadores de esponjas por volta de 1000 A.C. Em tempos de guerra, como na Guerra de Tróia, mergulhadores eram empregados com o propósito de destruir navios inimigos. Através destes relatos, conseguimos perceber que no início o mergulho era uma actividade essencialmente profissional e não de lazer.

Concomitantemente ao aparecimento do mergulho, foram surgindo patologias médicas associadas. Aristóteles, na Antiguidade, descreve perfurações de tímpano em mergulhadores apanhadores de esponjas. Hoje em dia conhecem-se métodos com a finalidade de prevenir o aparecimentos destas complicações, mas em tempos já remotos, tal não era o caso.

#### 1.2- Desenvolvimentos técnicos

Com o evoluir dos anos, a prática do mergulho foi-se desenvolvendo com a criação de novos engenhos. Durante o Renascimento, Leonardo da Vinci fez vários desenhos de protótipos de tubos de respiração e de sinos de mergulho. Foi em 1535 que Guglielmo de Lorena construiu o primeiro sino de mergulho. Um século depois, em 1691, Edmond Halley desenvolveu um sino de mergulho mais avançado em que um barril cheio de ar era submerso até à mesma profundidade do sino e ligado a este através duma mangeira, permitindo assim a ventilação da pessoa que se encontrava dentro do engenho<sup>12</sup>.



Adaptado de <http://www.divingheritage.com/chambers.htm>

Em 1838, Siebe desenvolveu aquele que é tido como o primeiro fato de mergulho, para ajudar nas operações de resgate no rescaldo do naufrágio do H.M.S. Royal. Era constituído por

um capacete de cobre. Até à década de 1960 este fato era o principal utilizado pelos mergulhadores profissionais<sup>12</sup>.

### 1.3- Sistemas de mergulho autónomo

O sistema de mergulho autónomo foi o grande progresso no campo do mergulho. No entanto, o seu desenvolvimento começou há quatro séculos atrás quando, em 1680, Borelli desenvolveu um sistema autónomo baseado na crença que o ar quente expirado pelo mergulhador podia ser reciclado com arrefecimento e condensação<sup>12</sup>. Foi a primeira vez que um sistema foi criado a pensar em libertar o mergulhador da dependência da ajuda exterior. Em 1865, dois séculos depois, Rouquaryol desenvolveu um sistema de válvula/regulador, embora o aporte de ar viesse ainda da superfície<sup>12</sup>.



Sommers, L.H. (2002). History of Diving. Selected Events.

Em 1878, Fleuss e Davis desenham um primeiro sistema de circuito fechado de oxigénio que utilizava dióxido de carbono como absorvente<sup>12</sup>. Isto desencadeou o início do desenvolvimento de diversos sistemas de circuito fechado, culminando no desenvolvimento do circuito semi-fechado de gás misto por Lambersten. Já em 1924, Yves le Prieur introduziu um sistema autónomo de ar comprimido com válvula manual, substituído pelo sistema de válvula reguladora acionada pela inspiração de Jacques Cousteu e Emile Gagnan em 1942<sup>12</sup>, dando origem ao Self-Contained Breathing Apparatus -SCUBA- praticado pelos adeptos de mergulho em todo o mundo.

## 2- Tipos de mergulho

Existem três principais tipos de mergulho.

### 2.1- Mergulho em apneia

O mergulho em apneia<sup>7</sup> é o tipo de mergulho mais antigo, talvez porque não depende de material externo ao mergulhador, nem de avanços tecnológicos. Apenas requer um par de pulmões com boa capacidade para inspirar e reter ar durante um certo tempo. Neste mergulho, o praticante inspira o ar à superfície antes de submergir, e regressa quando já tiver expelido todo o ar. As duas variáveis que ditam o tempo passado debaixo de água são o oxigénio

consumido e a quantidade de dióxido de carbono produzida, uma vez que este gás estimula o centro respiratório.

Uma variante deste tipo de mergulho é o “snorkeling”, em que o atleta utiliza uma máscara para ver o fundo do mar, um tubo oco para respirar –“snorkel”- e eventualmente um par de barbatanas para se mover mais rapidamente. Desta forma, o praticante pode estar à superfície, com a cabeça na água, a olhar para as paisagens submarinas, desde que o “snorkel” esteja à tona da água, permitindo uma respiração eficaz. Quando desejar mergulhar, é necessário inspirar uma quantidade de ar suficiente. Uma vez de volta à superfície, o mergulhador tem de expelir o ar e a água que entrou no tubo de respiração.

## 2.2- Mergulho semi-autónomo

Este tipo de mergulho caracteriza-se pelo mergulhador receber o ar da superfície através de mangueiras, o que pode limitar a movimentação debaixo de água. Compressores a bordo de um barco ou na doca bombeiam ar para o mergulhador durante o tempo que for preciso. É um tipo de mergulho ainda utilizado em certos meios profissionais, como é o caso dos mariscadores.



Adaptado de <https://www.pdta.com.au/news/page/8/>

Os mergulhadores utilizam uma máscara facial que cobre o nariz, os olhos e a boca ou ainda um capacete, que permite a comunicação com o meio exterior via rádio. Este conjunto é designado Surface Supplied Breathing Apparatus (SSBA)<sup>7</sup>

Tem as suas origens no mergulho com sino (“Bell Diving”) em que os mergulhadores entravam para um sino que era posteriormente colocado no fundo do mar, sendo o ar fornecido por quem estava à superfície.

## 2.3- Mergulho autónomo/ Self-Contained Breathing Apparatus (“SCUBA”)

Inventado por Jacques Cousteau e Emile Gagnan em 1943, o SCUBA-Diving é um tipo de mergulho mais avançado e mais técnico, que assenta num circuito de sistema aberto, composto por diferentes níveis de regulação.

O mergulhador leva consigo uma ou duas garrafas com ar comprimido a alta pressão, ou eventualmente outra mistura gasosa. No primeiro nível de regulação, encontra-se uma válvula redutora, cuja função é reduzir a alta pressão que sai das garrafas. Após ver a sua pressão reduzida, o ar é enviado para um segundo nível, onde se encontra um regulador encarregado de fornecer o ar à pressão correspondente à profundidade do mergulhador, através da abertura de válvulas quando este inspira. Quando termina a inspiração, o ar é expirado para o meio exterior.

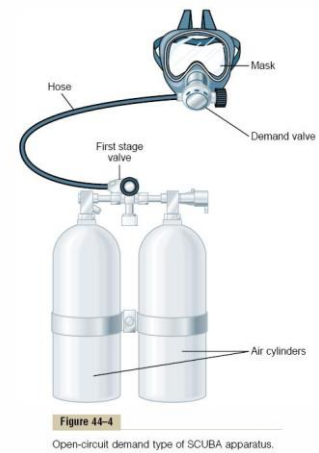


Figure 44-4  
Open-circuit demand type of SCUBA apparatus.  
Guyton et Hall. (2015) Textbook Of Medical Physiology. Elsevier

O único inconveniente prático deste tipo de mergulho é a limitação da quantidade de ar contida nas garrafas, limitando assim o tempo de passado debaixo de água, o que não acontece no mergulho semi-autónomo.

## FISIOLOGIA DO MERGULHO

### 1- A pressão ambiente

Os seres humanos conseguem existir em ambientes cujas pressões variam entre os 0,2 e 71 ATA<sup>13</sup>. A maior parte dos mergulhos de tipo ‘SCUBA-diving’ ocorrem a pressões de 6 ATA.

A pressão a que está sujeito um mergulhador aumenta de forma proporcional com a profundidade<sup>8</sup>. A cada 10 metros de profundidade, a pressão aumenta 1 atmosfera<sup>13</sup>. Ou seja, nos primeiros 10 metros a pressão ambiente duplica, passando de 1 para 2 atmosferas.

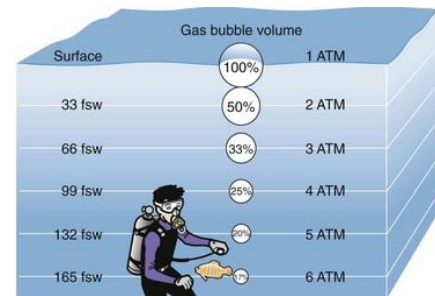
Table 1. Effects of Depth on Ambient Pressure

Sea Water (feet)	Absolute Pressure (atm)	Mercury (mm)	Pounds per Square Inch
0 (sea level)	1	760	14.7
33	2	1520	29.4
66	3	2280	44.1
99	4	3040	58.8
132	5	3800	73.5

Lynch, J.H., Bove, A.A. (2009). Diving Medicine: A Review of Current Evidence. *Journal of the American Board of Family Medicine*. 22: 399-407

## 2- Lei de Boyle-Mariotte

A Lei de Boyle-Mariotte explica que o volume de um gás é inversamente proporcional à pressão a que dito gás está sujeito para uma mesma temperatura. Se a pressão duplica nos primeiros 10 metros, então vamos passar de um volume de 100% para um volume de 50%. Como o gradiente de pressão é maior nestes 10 metros iniciais, é aqui que a probabilidade de barotrauma é maior<sup>13</sup>. O



Adaptado de <https://aneskey.com/scuba-diving-and-dysbarism>

barotrauma define-se como qualquer lesão tecidual resultante da incapacidade de equalizar pressões numa cavidade ocupada por gás. Pode por isso ocorrer em diversos locais anatómicos, desde o ouvido ao tracto gastrointestinal, passando pelos pulmões<sup>14</sup>.

Com a contração de volume, alguns espaços acabam por colapsar: é o caso dos pulmões, que têm alguma capacidade elástica. No entanto, as cavidades ósseas, que não colapsam, tentam preencher o espaço deixado vazio pela contração do volume de gás: é a fisiopatologia do barotraumatismo do ouvido médio e dos seios perinasais. Com a subida, a pressão ambiente diminui e o volume do gás aumenta, o que também pode estar na origem de um barotrauma, nomeadamente um pneumotórax.

## 3- Lei de Henry

Outra lei importante para compreender as alterações gasosas é a Lei de Henry, que postula que a quantidade de gás capaz de se dissolver num líquido a uma dada temperatura está dependente da sua pressão parcial e do seu coeficiente de solubilidade. Por outras palavras, a pressão parcial de um gás determina o conteúdo de gás dissolvido nos tecidos<sup>2</sup>. Logo, seguindo esta lei, com o aumento da pressão atmosférica, vamos assistir a um aumento da pressão parcial dos gases e conseqüentemente a um aumento do conteúdo de gás dissolvido nos tecidos. Esta lei é a base fisiopatológica da doença de descompressão<sup>6</sup>.

Estas duas leis permitem agrupar as doenças num grupo principal: o disbarismo; um termo que abrange as patologias causadas pelas alterações na pressão ambiente. Apresenta-se sob duas formas: o barotrauma e a doença de descompressão.

## ANATOMIA E FISIOLOGIA DO OUVIDO

Para entender as alterações fisiopatológicas decorrentes da prática do mergulho, é necessário um bom conhecimento anatômico e fisiológico das estruturas envolvidas: os ouvidos e as trompas de Eustáquio.

### 1- Ouvido

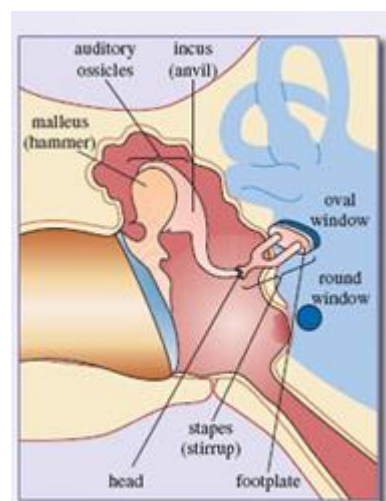
Classicamente divide-se o ouvido em três constituintes- ouvidos externo, médio e interno.

#### 1.1- Ouvido externo

O ouvido externo está em contacto directo com a atmosfera e é composto por duas partes: o pavilhão auricular, mais externo, e o canal auditivo externo, um tubo cilíndrico que faz a ligação entre o ouvido externo e o ouvido médio. Tem uma função de condução, captando as ondas sonoras e servindo de via para a sua transmissão até ao ouvido médio.

#### 1.2- Ouvido médio

O ouvido médio, também designado de caixa do tímpano, serve de elo de ligação entre o ouvido externo e o ouvido interno, permitindo uma ampliação das vibrações sonoras e a sua propagação. É uma cavidade escavada no osso temporal, não compressível, preenchida por ar. Dentro desta caixa, encontramos três ossículos que são, de fora para dentro, o martelo, a bigorna e o estribo que se articulam entre si, fazendo funcionar a engrenagem da audição. Este último ossículo, através da sua platina, cobre a janela oval, que faz a comunicação entre os ouvidos médio e interno. O movimento que começa com a vibração do tímpano faz com que a platina transmita energia ao ouvido interno, permitindo que as ondas sonoras conduzidas pelo ouvido externo alcancem a parte mais interna do ouvido.



Adaptado de <https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/science/biology/hearing/content-section-2.1>



A anatomia da caixa do tímpano e as suas relações anatómicas são fundamentais para se compreender a fisiologia da audição e os processos fisiopatológicos associados ao SCUBA-Diving. Começando pela sua parede externa, esta é composta por uma membrana cor de âmbar- o tímpano. Ao entrar em contacto com as ondas sonoras vindas do canal auditivo externo, esta membrana vibra, dando início a uma cadeia ininterrupta que tem como finalidade a transmissão das ondas até ao ouvido interno. O tímpano é flexível, e pode ser retraído para dentro do ouvido médio ou, pelo contrário, pode ser abaulado em direção ao ouvido externo, consoante as pressões a que está sujeito. Se as pressões forem demasiado elevadas o tímpano pode romper, criando-se uma comunicação entre ouvido externo e médio.

Na sua parede interna comunica com o ouvido interno, através da janela oval, protegida pela platina do estribo e pelo ligamento anular; e da janela redonda, mais vulnerável à ruptura. É também nesta parede que passa o nervo facial, protegido pelo canal de Falópio. A parede deste canal é estreita, pelo que o nervo facial pode ser lesado quando a pressão na cavidade do ouvido médio aumenta, como acontece durante a ascensão- é a baroparésia facial.

### 1.3- Ouvido interno

O ouvido interno alberga as estruturas essenciais à audição e ao equilíbrio: o sistema vestibulo-coclear. É constituído por diversas estruturas: labirinto ósseo, labirinto membranoso, endolinfa, perilinfa e as terminações nervosas dos nervos auditivo e vestibular.

Começando pelo labirinto ósseo, este é constituído por uma cavidade central -vestíbulo- onde encontramos as aberturas dos canais semi-circulares; uma cavidade anterior -caracol- que se enrola sobre si próprio como uma espiral; e uma parte posterior- os canais semicirculares.

Os canais semi-circulares são três tubos cilíndricos dispostos nos diferentes planos espaciais. São fundamentais para a nossa perceção e orientação espacial. Os canais posterior e anterior são verticalizados e o canal semi-circular externo é mais horizontalizado.

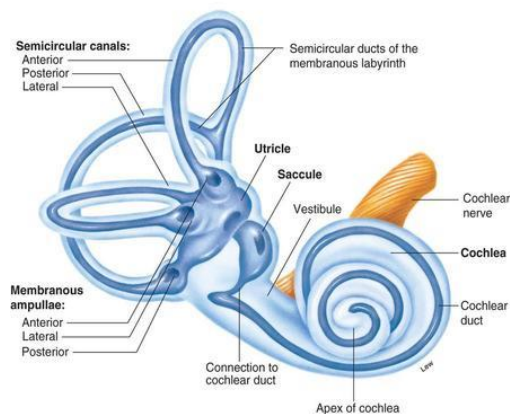
O caracol corresponde a um canal ósseo enrolado em torno de um eixo cónico denominado columela, sendo orientado para a frente e para fora. O seu calibre está dividido em duas partes pela lâmina espiral óssea: a rampa vestibular que, como o nome indica, comunica com o vestíbulo; e a rampa timpânica, que é inferior e comunica indiretamente com a caixa timpânica através da janela redonda. É importante referir ainda a existência de uma outra estrutura- o aqueduto do caracol- que corresponde a um canalículo ósseo que vai da cóclea ao bordo posterior do rochedo, dando passagem ao ducto perilinfático.

O labirinto ósseo é revestido pelo labirinto membranoso, também ele constituído por diferentes estruturas: o vestíbulo membranoso, os canais semicirculares membranosos e o ducto coclear propriamente dito.

O vestíbulo membranoso é composto por duas vesículas: o utrículo, mais superior, e o sáculo, mais inferior. Estas vesículas dão origem a fibras nervosas utriculares e saculares do nervo vestibular que vão depois entrar no canal auditivo interno. De referir também que estas estruturas vão originar dois pequenos canais que se vão juntar ao canal endolinfático, onde circula a endolinfa. Entre o vestíbulo membranoso e o vestíbulo ósseo circula a perilinfa.

Os canais semicirculares membranosos estão contidos nos canais ósseos. Estes canais também dão origem a fibras nervosas vestibulares que vão depois penetrar no canal auditivo interno.

O ducto coclear é uma estrutura bastante complexa mas muito importante para a fisiologia da audição. Situa-se entre a rampa vestibular (superior), da qual está separada pela membrana de Reissner, e a rampa timpânica (inferior), da qual está separada pela membrana basilar, onde encontramos o órgão de Corti, que dá origem às fibras nervosas do nervo coclear. As oscilações desta membrana são responsáveis por desencadear os potenciais de ação auditivos. O limite externo do ducto coclear é composto pelo ligamento espiral, que se continua na sua porção inferior com a já mencionada membrana basilar.



Adaptado de <https://owlcation.com/stem/How-does-the-ear-help-to-balance-the-body>

Sendo estas estruturas bastantes complexas, a patologia associada também será muito diversificada. O mergulho pode ser uma causa da disrupção do bom funcionamento do ouvido interno, dando origem a fístulas perilinfáticas, ou mesmo a surdez neuro-sensorial.

## 2- Trompas de Eustáquio

Um ponto importante a referir é que a caixa do tímpano, contrariamente ao ouvido externo, não comunica directamente com o meio ambiente. No entanto, consegue estabelecer comunicação com a atmosfera através da Trompa de Eustáquio, que estabelece uma ponte entre o ouvido médio e a rinofaringe.

Esta trompa tem uma forma infundibiliforme e é composta por uma porção óssea e uma porção fibrocartilaginosa, que lhe confere uma certa mobilidade e alguma capacidade de dilatação. Tem dois orifícios: um superior mais pequeno, e um inferior (faríngeo), de maiores dimensões. É accionada graças a dois músculos que permitem a abertura e fecho do orifício faríngeo: os peristafilinos interno e externo, que se inserem na sua extremidade inferior. São accionados por certos movimentos tais como a mastigação e a deglutição. Já a abertura do orifício superior é passiva e não necessita da execução de nenhuma manobra. A função da trompa de Eustáquio é de grande importância, pois permite equalizar pressões entre o ouvido médio (que não contacta directamente com a atmosfera) e o ouvido externo (que contacta com o ambiente exterior).

Em condições atmosféricas normais, o orifício rinofaríngeo está fechado e não há passagem de ar entre o ouvido médio e a rinofarínge. Apenas entra em jogo quando a pressão atmosférica está sujeita a variações. Quando andamos de avião, a pressão atmosférica a alta altitude é inferior à pressão ambiente a nível do mar. Logo, a pressão no ouvido externo torna-se inferior à do ouvido médio, sendo então necessário equalizar as pressões. Como foi dito anteriormente, o orifício superior abre-se de forma passiva quando a pressão na caixa timpânica é superior à do ouvido externo. Ao abrir, a trompa vai fazer com que o ar do ouvido médio saia dessa cavidade em direcção à rinofarínge sendo depois expelido durante a expiração; as pressões são desta forma equalizadas. O contrário acontece quando mergulhamos. À medida que vamos atingindo maiores profundidades, a pressão vai aumentando de forma linear. Desta forma, a pressão no ouvido externo torna-se maior que no ouvido médio. De forma a equalizar as pressões, é necessário abrir a trompa de Eustáquio, para deixar o ar da rinofarínge entrar na caixa do tímpano, tornando as pressões iguais. Como já foi dito anteriormente, e contrariamente ao orifício timpânico, a abertura faríngea não se abre de forma passiva. É necessária a acção de dois músculos. Uma maneira de accionar estes dois músculos é a mastigação e manobras como a propulsão ou rectropulsão da mandíbula, e ainda a deglutição<sup>9</sup>.

No entanto, quando as pressões se tornam muito elevadas, é necessário proceder a uma abertura forçada das trompas de Eustáquio. Existem várias manobras possíveis. A mais comum é a manobra de Valsalva. Esta consiste numa expiração forçada com as narinas fechadas, aumentando desta forma a pressão na rinofarínge, abrindo assim as trompas e propulsionando o ar para o ouvido médio. Outras manobras existem, tais como as manobras de Frenzel, de Toynbee, de Lowry, de Edmonds e ainda a “Béance Tubaire Volontaire”, que consiste na abertura voluntária das trompas, no caso dos mergulhadores com mais experiência. Todas estas manobras têm por objectivo permitir a passagem de ar da rinofarínge para a caixa do tímpano,

equalizando a pressão dos dois lados da membrana timpânica. As trompas de Eustáquio têm por isso um papel fundamental na experiência do mergulho, sendo que um bom domínio da sua mecânica associa-se a um mergulho mais agradável. Quando não se consegue proceder a uma correcta equalização, criam-se as condições ideais para a ocorrência de um barotraumatismo.

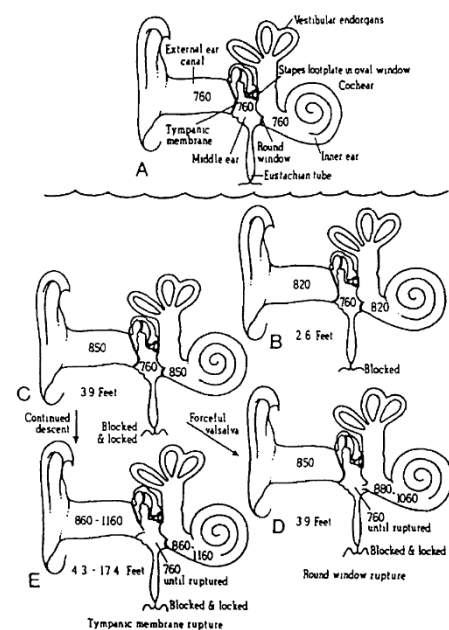
## BAROTRAUMATISMOS

O disbarismo é um termo que engloba as patologias decorrentes das alterações de pressão no meio ambiente. Subdivide-se em dois grupos: o barotrauma e a doença de descompressão.

### 1- Ouvido médio

O barotrauma do ouvido médio é a patologia mais comum do mergulhador<sup>8</sup>. A sua prevalência varia consoante a literatura, com alguns autores a apontarem para 40%<sup>6</sup> e outros para um intervalo entre 30-60%<sup>14</sup>. É também de notar que a incidência desta patologia varia consoante a experiência do mergulhador: 30% nos ‘first-time divers’ e 10% nos mergulhadores já experienciados<sup>8</sup>.

A fisiopatologia desta entidade assenta numa base mecânica, uma vez que resulta “sempre de um inadequado equilíbrio entre a pressão do ouvido médio e a progressão da pressão do meio ambiente”<sup>9</sup>, neste caso, o meio sub-aquático. Ou seja, resulta de uma má equalização. Como foi dito na secção anterior, existem diversas manobras que servem o propósito de equalizar. No entanto, quando o diferencial de pressão entre a nasofaringe e o ouvido médio atinge os 90 mmHg<sup>6</sup>, a trompa de Eustáquio é incapaz de abrir, impossibilitando a passagem de ar para a cavidade com menos volume, nem mesmo recorrendo a manobras de equalização. Nesta altura, é necessário o mergulhador ascender



Spira, A. (1999). Diving and marine medicine review Part II: Diving diseases. *Journal of Travel Medicine*, 180-198

alguns metros de forma a igualizar as pressões. Cria-se assim uma hipopressão no ouvido médio. É importante notar que o ouvido médio, ao contrário do pulmão, não é colapsável. Sendo assim, de forma a preencher este vácuo, vamos assistir a um edema da mucosa, com vasodilatação, aumento da permeabilidade vascular com aparecimento de transsudado e por vezes hemotímpano<sup>6</sup>. Do ponto de vista clínico, a otalgia é o primeiro sintoma a surgir, quando o diferencial de pressão entre o ouvido médio e o ambiente exterior alcança os 60 mmHg<sup>6</sup>. Esta otalgia serve de aviso ao mergulhador, indicando que é necessário proceder à equalização. Caso esta não se realize, a otalgia vai agravando com a profundidade, até que se dá a ruptura da membrana do tímpano; altura em que a otalgia desaparece. Com a ruptura, o ouvido médio deixa de estar separado do meio ambiente, com entrada de água na cavidade, resultando numa disfunção vestibular unilateral devido ao efeito calórico<sup>6</sup>, com aparecimento de sintomatologia vestibular: vertigem, náuseas, vômitos, o que pode ser fatal para um mergulhador que se encontre a vários metros de profundidade.

Existem várias condições médicas que dificultam ou impedem mesmo a abertura das trompas de Eustáquio<sup>14</sup>. As infeções das vias aéreas superiores (exemplo: as rinofaringites) são uma causa frequente. A inflamação local com o edema das trompas e consequente oclusão do lúmen impede a passagem do ar entre o ouvido médio e a nasofarínge. É necessário que o mergulhador espere pela resolução da infeção antes de mergulhar. Outras causas incluem alergias, pólipos nasais, tabagismo excessivo e anomalias anatómicas das trompas (“más trompas”<sup>9</sup>). Estas patologias podem contraindicar a prática do mergulho.

É necessário iniciar as manobras de compensação o mais cedo possível após o mergulho. Isto porque como foi dito, a partir de um certo limiar, deixa de ser possível abrir as trompas.

## 2- Ouvido interno

O barotrauma do ouvido interno é uma patologia rara mas grave, podendo levar a lesões a longo prazo no sistema vestibulococlear, com aparecimento de hipoacusia neurosensorial e ainda tinnitus e náuseas.

Como foi explicado, durante a descida, a membrana timpânica vai retrair-se para dentro do ouvido médio, fazendo com que o estribo exerça pressão na janela oval, que por sua vez vai levar a um distúrbio a nível da perilínfa. Ora como a perilínfa e a endolínfa não são compressíveis, vamos assistir a um aumento de pressão no ouvido interno, com consequente

protusão da membrana da janela oval para a cavidade timpânica, compensando a retração da membrana timpânica. Com o mergulhador a recorrer sistematicamente à manobra de Valsalva, que se mostra ineficaz, vai haver um aumento concomitante da pressão intracraniana, que se vai propagar ao ouvido interno, por via do canal auditivo interno e do ducto perinlinfático. Cria-se um diferencial de pressão entre o ouvido interno, com uma pressão mais elevada, e o ouvido médio. Este elevado gradiente acaba por levar a uma rutpura da janela oval e mais frequentemente da janela redonda, esta última sem a proteção da platina do estribo ou do ligamento anular. A consequência major dessas rupturas é a criação de uma fístula, com passagem de perilinfa para o ouvido médio e de ar para o ouvido interno. Clinicamente, o mergulhador queixa-se de hipoacúsia neurosensorial e de sintomas vestibulares que podem ser transitórios ou contínuos<sup>4</sup>. Com a passagem de ar para o ouvido interno, pode-se originar um pneumolabirinto durante a subida, já que vamos assistir a uma expansão dos gases segundo a Lei de Boyle-Marriot.

Outra consequência do aumento súbito de pressão no ouvido interno é a ruptura das membranas intra-cocleares: membrana de Reissner, membrana basilar e membrana tectorial. O sintoma chave é a hipoacúsia neurosensorial. A ruptura da membrana de Reissner compromete a função coclear por duas vias. A primeira resulta de um efeito directo nas células do órgão de Corti, e a segunda via resulta da mistura de perilinfa e endolinfa. É de salientar que a ruptura de uma membrana intracoclear pode ocorrer simultaneamente com a ruptura da janela oval ou da janela redonda: é a teoria da ruptura dupla de membrana.

### 3- Outros tipos de barotrauma

O barotrauma pode ocorrer em qualquer espaço do corpo ocupado por ar<sup>14</sup>. Para além do ouvido médio e dos seios perinasais, temos ainda os pulmões, tracto gastrointestinal e os dentes.

O barotrauma do tracto gastrointestinal ocorre durante a ascensão, quando o gás se expande de acordo com a lei de Boyle-Mariotte. Isto leva a uma distensão dos intestinos podendo mesmo culminar numa perfuração, embora seja raro<sup>14</sup>. É mais comum em mergulhadores com pouca experiência e naqueles que comem grandes refeições antes de mergulhar<sup>14</sup>.

O barotrauma dos dentes pode ocorrer devido a cáries, coroas defeituosas, abscessos periodontais ou outras lesões dentárias<sup>14</sup>. Durante a descida, o dente pode implodir por

contração volumosa e pode inversamente explodir durante a ascensão devido à expansão gasosa<sup>14</sup>. O dente afetado torna-se sensível, doloroso, com a dor a irradiar para os seios perinasais. É aconselhado que pessoas com coroas dentárias temporárias não mergulhem<sup>14</sup>.

O barotrauma da máscara é devido a uma pressão insuficiente na máscara durante a descida<sup>14</sup>. Como consequência, o tecido facial é sugado para o interior da máscara, de forma a ocupar o espaço deixado vazio pela baixa pressão. O mergulhador vai aparecer com uma hemorragia subconjuntival, hematomas retro-orbitários, petéquias e equimoses<sup>14</sup>. Não é uma patologia grave, com resolução espontânea no espaço de alguns dias. Para prevenir esta patologia, o mergulhador deve expirar ligeiramente pelo nariz durante a descida<sup>14</sup>.

## O FATOR HUMANO COMO CAUSA DE MORTE

Em 1984, Rui de Moura publica um artigo no qual afirma que o factor humano é o principal responsável pelos acidentes de mergulho<sup>10</sup>, apontando a “variação complexa do comportamento psíquico”<sup>10</sup> como a principal razão. Nesta categoria inserem-se todas as condições inerentes ao ser humano, incluindo as doenças de todos os órgãos e sistemas, mas também o erro humano. Torna-se difícil prever o comportamento que um mergulhador vai desenvolver debaixo de água. As avaliações médicas, a experiência, a reflexão e a técnica não eliminam por completo o risco de acidente, apenas o minimizam<sup>10</sup>. Não é possível adivinhar como vai actuar um mergulhador quando confrontado com uma eventual situação de risco. Poderá ficar mais ansioso, desenvolver um ataque de pânico, podendo-se esquecer do treino que recebeu e acabando por colocar em risco a sua vida. É importante não esquecer que muitas vezes o mergulhador encontra-se sozinho, sem nenhuma testemunha ou alguém capaz de o ajudar caso seja preciso. De notar que devido à falta de testemunhas torna-se por vezes difícil estabelecer uma causa de morte<sup>5</sup>.

### 1- Avaliação neuro-psiquiátrica

O European Diving Technology Committee<sup>15</sup> estabeleceu *guidelines* de forma a melhorar a segurança de mergulhadores profissionais. Nestas linhas orientadoras é possível encontrar uma secção dedicada à componente neuro-psiquiátrica. São enumeradas diferentes patologias psiquiátricas que contraindicam a prática do mergulho, mesmo que não se encontrem numa fase activa. Começando pela esquizofrenia<sup>15</sup>, é fácil compreender que esta

seja uma contraindicação. O mergulhador pode ter um surto psicótico enquanto se encontra debaixo de água, perdendo o contacto com a realidade e colocando em risco a sua vida e a vida de todos aqueles que se encontrem na sua vizinhança.

A doença bipolar<sup>15</sup> é outra contraindicação e percebe-se facilmente a razão. Um mergulhador pode sofrer um episódio maníaco durante o mergulho, tornando-se desinibido, demasiado confiante, acabando por não respeitar as regras de segurança.

As doenças assintomáticas devido a tratamento<sup>15</sup> também se incluem neste grupo de doenças pois é uma doença que não se encontra curada, podendo os sintomas regressar quando o mergulhador se encontra submerso.

Para além das contraindicações absolutas, existem contraindicações relativas, das quais apenas abordarei duas. As fobias apresentam diferentes formas, sendo que em comum têm uma reação de ansiedade desencadeada por um substrato. Se uma pessoa tiver já à partida um perfil mais ansioso, conseguimos entender que seja prudente aconselhar cuidados adicionais durante o mergulho. Caso se depare com uma situação inesperada, poderá desenvolver uma reação ansiosa ou mesmo um ataque de pânico, podendo desta forma desrespeitar as regras de segurança.

Por fim temos os episódios psicóticos isolados<sup>15</sup>. Embora diferentes da esquizofrenia, é necessário manter estas pessoas debaixo de olho e de cuidados redobrados. Se já tiveram um ataque psicótico, podem voltar a ter outro, desta vez debaixo de água, pondo em risco a sua vida.

É de grande importância referir que estas *guidelines* destinam-se a mergulhadores profissionais e não aos mergulhadores recreativos. Nada impede que uma pessoa com uma destas patologias psiquiátricas pratique mergulho.

## 2- O relatório da DAN

Em 2017, a Diving Alert Network -DAN- elaborou um relatório<sup>3</sup> sobre os acidentes e fatalidades ocorridos no ano de 2015, tentando identificar os fatores desencadeantes. Nesse ano, a DAN recebeu 127<sup>3</sup> notificações de fatalidades a nível mundial, tendo 67<sup>3</sup> destas ocorrido nos Estados Unidos e Canadá. Para explorar melhor estas mortes, foram estudados os perfis das vítimas e foram realizadas autópsias em 24% dos casos ocorridos quer no EUA quer no



Canadá. As patologias mais frequentemente identificadas foram a hipertensão arterial, diabetes, doença cardiovascular e ainda a depressão<sup>3</sup>.

No que diz respeito à experiência do mergulhador, esta também mostrou ter alguma influência. No entanto, apenas em 14 dos 67 casos é que os anos de experiência dos mergulhadores estava disponível, pelo que é necessário ter alguma cautela na interpretação destes resultados. Podemos ver

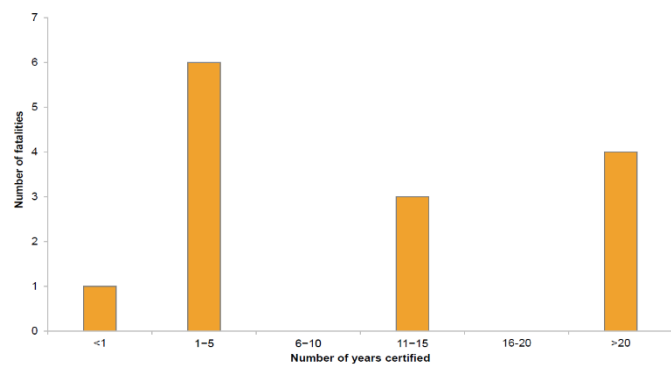


Figure 1.5-2. Years since initial certification for U.S. and Canadian scuba fatalities, 2015 (n=14)

Buzzacott P (2017). DAN Annual Diving Report 2017 Edition - A report on 2015 diving fatalities, injuries, and incidents. Durham, NC: Divers Alert Network, 2017; pp. 134

que a maioria das fatalidades ocorreram em pessoas que tinham entre 1 a 5 anos de experiência<sup>3</sup>, embora também se observem alguns casos em mergulhadores que já tinham o certificado há mais de 20 anos<sup>3</sup>. É interessante notar que os dados disponíveis mostram apenas uma morte em mergulhadores com menos de um ano de experiência. Isto deve-se talvez à maior cautela que estes mergulhadores têm, uma vez que a sua experiência é menor, arriscando menos, e seguindo as regras<sup>3</sup>.

Outro parâmetro avaliado foi o tipo de mergulho efetuado. Pelo gráfico seguinte, observamos que mais de 30 em 67 mortes avaliadas, a actividade do mergulho tinha um propósito de lazer e não de treino ou profissional<sup>3</sup>. Podemos então especular que as pessoas que fazem mergulho apenas pelo prazer estão menos preparadas e mais

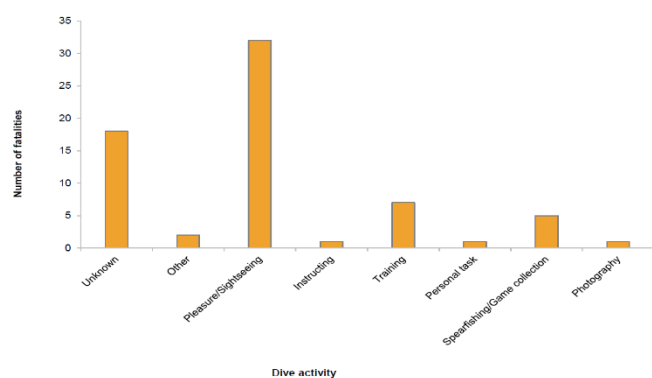


Figure 1.6-1. Primary dive activity during U.S. and Canadian scuba fatalities, 2015 (n=67)

Buzzacott P (2017). DAN Annual Diving Report 2017 Edition - A report on 2015 diving fatalities, injuries, and incidents. Durham, NC: Divers Alert Network, 2017; pp. 134

sujeitas a cometerem erros que podem mesmo ser fatais. Um mergulhador profissional está sujeito a um maior treino, a uma maior experiência e a um controlo mais apertado em termos de avaliações médicas periódicas, minimizando assim o risco de eventos desfavoráveis.

Trigger	Count
Alcohol intoxication	1
Difficulty breathing	1
Equipment malfunction	1
Health problem	10
Low on or out of air	4
Not applicable	7
Overweighting	1
Panic	2
Rough seas	1
Unknown	6
<b>Total</b>	<b>34</b>

Table 1.7-1. Triggers for U.S. and Canadian scuba fatalities, 2015 (n=34)

Buzzacott P (2017). DAN Annual Diving Report 2017 Edition - A report on 2015 diving fatalities, injuries, and incidents. Durham, NC: *Divers Alert Network*, 2017; pp. 134

cardiomiopatia dilatada<sup>3</sup>. No entanto, em 49% dos casos, não foi possível apurar a causa de morte<sup>3</sup>. Os investigadores foram mais longe e tentaram identificar os fatores ou “triggers” que despoletaram os eventos que conduziram ao afogamento. Os principais culpados foram os problemas de saúde inerentes ao mergulhador assim como a falta de ar disponível<sup>3</sup>. Outros fatores identificados foram o pânico, o meio ambiente, equipamento deficitário ou ainda intoxicação por etanol<sup>3</sup>.

## CONCLUSÃO

Torna-se claro que o fator humano tem uma importância preponderante no sucesso e insucesso dos mergulhos, pelo que se torna possível tentar fazer a prevenção destes acidentes, talvez passando uma legislação mais estrita. Isto porque, em Portugal pelo menos, não é necessário fazer uma avaliação médica completa, detalhada e minuciosa dos candidatos que queiram tirar o curso de mergulho para fins recreativos. Desta forma deixam-se passar mergulhadores com problemas de saúde que podem vir a causar a morte do praticante.

Através dos diferentes parâmetros efetuados, conseguimos entender que o fator humano tem um papel fundamental no desfecho dos mergulhadores. No entanto, conhecer o perfil do mergulhador não é suficiente para identificar a causa de morte. Por isso foram efetuadas autópsias que mostraram que a principal causa de morte foram os afogamentos, seguindo-se a doença cardiovascular e as embolias gasosas. Entre as doenças cardiovasculares

encontramos o enfarte agudo do miocárdio, doença aterosclerótica, cardiomiopatia hipertrófica e

## BIBLIOGRAFIA

1. Azizi, M. H. (2011). Ear Disorders in Scuba Divers. *International Journal of Occupational and Environmental Medicine* 2(1).
2. Bove, A. A. (2014). Diving medicine. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 189(12), 1479–1486.
3. Buzzacott P (2017). DAN Annual Diving Report 2017 Edition - A report on 2015 diving fatalities, injuries, and incidents. Durham, NC: *Divers Alert Network*, 2017; pp. 134
4. Edmonds, C., McKenzie, B., Thomas, R. (1992). Diving Medicine for SCUBA divers. *JL Publications, Melbourne*
5. Eichhorn, L., & Leyk, D. (2015). Diving Medicine in Clinical Practice. *Deutsches Arzteblatt International*, 112(9), 147–158.
6. Glazer, T. A., & Telian, S. A. (2016). Otologic Hazards Related to Scuba Diving. *Sports Health*, 8(2), 140–144.
7. Levett, D. Z. H., & Millar, I. L. (2008). Bubble trouble: A review of diving physiology and disease. *Postgraduate Medical Journal*, 84(997), 571–578.
8. Lynch, J.H., Bove, A.A. (2009). Diving Medicine: A Review of Current Evidence. *Journal of the American Board of Family Medicine*. 22: 399-407
9. Moura, R. (1984). Patologia do ouvido em condições hiperbáricas. *Revista Portuguesa de Medicina Desportiva*, 2: 149-164
10. Moura, R (1984). Thematique générale des accidents de plongée avec scaphandre. *Revista Portuguesa de Medicina Desportiva*, 2: 7-14

11. Newton, H. B. (2001). Neurologic complications of scuba diving. *American Family Physician*, 63(11), 2211–2218
12. Sommers, L.H. (2002). History of Diving. Selected Events.
13. Spira, A. (1999). Diving and Marine Medicine Review Part I: Diving Physics and Physiology, 32–44
14. Spira, A. (1999). Diving and marine medicine review Part II: Diving diseases. *Journal of Travel Medicine*, 180–198
15. Wendling, J., David, E., & Nome, T. (2003). Fitness to Dive Standards, 1–34.