



LISBOA

UNIVERSIDADE  
DE LISBOA



FACULDADE DE  
**MEDICINA**  
LISBOA

# **TRABALHO FINAL**

## **MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA**

---

Clínica Universitária de Otorrinolaringologia

### **Barotrauma do ouvido interno no mergulho**

André António Mimoso Aguiar

---

**Abril'2019**



LISBOA

UNIVERSIDADE  
DE LISBOA



FACULDADE DE  
**MEDICINA**  
LISBOA

# **TRABALHO FINAL**

## **MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA**

---

Clínica Universitária de Otorrinolaringologia

## **Barotrauma do ouvido interno no mergulho**

André António Mimoso Aguiar

**Orientado por:**

Dr. Filipe Caldeira

Dr. Marco António Alveirinho Cabrito Simão

---

**Abril'2019**

## **Resumo**

O mergulho tem-se tornado uma atividade cada vez mais popular, com o aumento do número de praticantes nas últimas décadas. No entanto, não é uma prática isenta de riscos. Cerca de 80% das lesões relacionadas com esta atividade são atribuídas à cabeça e pescoço e destas 64,6% ao ouvido.

Nesta exposição, será abordado o barotrauma do ouvido interno, uma condição rara mas com particular importância pela sua gravidade. Esta condição inclui a fístula perilinfática, a rotura das membranas intralabirínticas e a hemorragia do ouvido interna. Muitas vezes associada ao barotrauma do ouvido médio, apresenta-se com uma clínica exuberante e incapacitante, nomeadamente défices auditivos e vertigens graves, necessitando de tratamento rápido e adequado para evitar complicações. Dentro destas, a fístula perilinfática será mais desenvolvida por ser a etiologia mais comum, sendo o *gold-standard* do seu diagnóstico e tratamento uma timpanotomia exploratória.

A presença de disfunção tubária corresponde ao fator de risco mais importante para o desenvolvimento de barotrauma do ouvido interno. Assim, a prevenção tem bastante relevo através dos ensinamentos das várias manobras de equalização de pressão e do cumprimento de algumas premissas para poder ou não mergulhar. Idealmente todos os mergulhadores deveriam ter uma consulta de medicina desportiva antes de começarem a prática desta atividade.

Os clínicos, nomeadamente os especialistas em Otorrinolaringologia (ORL) e em medicina desportiva, devem dominar esta matéria pela sua particular gravidade e possível surdez neurosensorial permanente.

**Palavras-chave:** Ouvido interno, mergulho, barotrauma do ouvido interno, fístula perilinfática, disfunção da trompa de Eustáquio.

## **Abstract**

*Diving has become an increasingly popular activity with a raising number of participants over the last decades. However, it is not a practice immune of risks. About 80% of the diving related injuries involve the head and neck, and 64.6% of them involve the ear.*

*This paper, will discuss the inner ear barotrauma, a rare condition but with particular importance due to its severity. This condition includes perilymph fistula,*

*intra-labyrinthine membrane tear and inner ear haemorrhage. Often associated with middle ear barotrauma, this condition with an exuberant and incapacitating symptomatology may include hearing loss or severe vertigo, requiring rapid and appropriate treatment to avoid complications. Within there, the perilymph fistula will be more develop given that it is the most common etiology, being the gold-standard of its diagnosis and treatment the surgical exploratory tympanotomy.*

*The presence of Eustachian tube dysfunction corresponds to the most important risk factor for the development of inner ear barotrauma. Thus, prevention through the teaching of the various pressure equalization manoeuvres is important, as well as the fulfilment of some assumptions to be able or not to dive. Ideally, all divers should have a sports medicine consultation before starting this activity.*

*Clinicians, particularly specialists in otorhinolaryngology and sports medicine, should master this subject due to its particular severity and possible permanent sensorial hearing loss.*

**Keywords:** *Inner ear, diving, inner ear barotrauma, perilymph fistula, Eustachian tube dysfunction.*

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

## Índice

Introdução .....	6
Introdução .....	8
Cóclea.....	9
Vestíbulo .....	9
Canais semicirculares .....	9
Janela redonda e oval .....	9
Lei de Boyle .....	10
Lesões do ouvido interno .....	11
Barotrauma do ouvido interno .....	12
Fístula perilinfática.....	15
Rotura das membranas intralabirínticas .....	18
Hemorragia coclear .....	18
Prevenção, manobras de equalização e <i>fit-to-dive</i> .....	19
Conclusão.....	22
Agradecimentos .....	24
Bibliografia .....	25
Anexos .....	28

## Introdução

Vivemos no designado Planeta Azul e desde cedo se percebeu que o homem teria de se dedicar à exploração do fundo do mar e dos oceanos, em busca de materiais ou simplesmente pela curiosidade e estudo científico. A origem do mergulho em apneia está perdido na antiguidade e já em 4500a.C. o mergulho se tornava uma prática recoleitora de conchas, comida e pérolas<sup>1</sup>. Em 1968, existiam apenas 11.668 membros com certificado de mergulho na organização mundial “*Professional Association of Diving Instructors (PADI)*”. Contudo, em 2017, este número já tinha ultrapassado os 25.000.000 membros<sup>2</sup>. Nos últimos 40 anos, o mergulho ganhou popularidade como uma actividade de lazer<sup>3</sup> e estima-se que anualmente se realizem mais de 250 milhões de mergulhos em todo o mundo<sup>4</sup>. Originalmente o mergulho era centrado nas áreas costeiras contudo hoje em dia já é praticado em lagos, piscinas e minas<sup>5</sup>. Percebemos assim que o mergulho se tornou muito mais acessível e com equipamento muito mais seguro, todavia ainda existem perigos inerentes à sua prática<sup>3</sup>.

Este aumento da popularidade leva a uma maior procura por cuidados de saúde quer para a certificação da aptidão à prática de mergulho, quer pelas lesões decorrentes da mesma. É assim essencial, que os clínicos, nomeadamente os especialistas em ORL, compreendam a física e a fisiopatologia do mergulho, bem como o diagnóstico, tratamento e prevenção das complicações associadas. Visto a medicina desportiva especializada no mergulho não ser abordada ao longo do mestrado integrado em medicina ou mesmo na especialização, torna-se difícil os mergulhadores conseguirem encontrar clínicos entendidos nesta área<sup>6</sup>.

Estudos mostraram que 80% dos problemas relacionados com o mergulho afetam a região da cabeça e pescoço<sup>7</sup>. Destes, 64.6% eram atribuídos ao ouvido, num estudo com 650 mergulhadores<sup>8</sup>. Num outro estudo retrospectivo, com 306 praticantes de mergulho que se apresentaram sintomáticos no momento da consulta (Fig. 1<sup>6</sup>), observou-se que 8% tinha patologia do ouvido externo, 46% do ouvido médio, 18% do ouvido interno (8% barotrauma do ouvido interno e 5% síndrome descompressão do ouvido interno) e 17% do

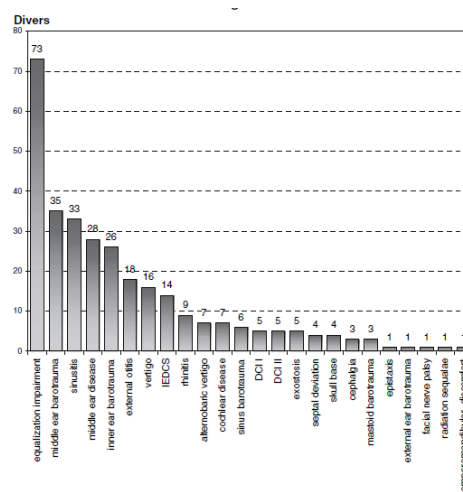


Fig. 1<sup>6</sup>: Estudo com 306 mergulhadores entre 2002 e 2005

nariz e seios perinasais<sup>6</sup>. Os acidentes agudos de mergulho que afetam o ouvido interno são particularmente importantes porque podem levar ao déficit permanente do sistema vestibulo-coclear<sup>9</sup>. Todavia um outro estudo mostrou que o mergulho por si só não está relacionado com a perda auditiva<sup>5</sup>.

De salientar que as condições em que um mergulhador se encontra como as altas pressões, a visibilidade reduzida e as temperaturas baixas, tornam por vezes difícil lidar com sintomas como dor, tonturas, náuseas ou vômitos, podendo estes últimos causar asfixia se o mergulho for realizado com capacete de mergulho<sup>10</sup>, sendo uma das razões que justifica o perigo desta atividade<sup>3,4</sup>.

O mergulho pode ser dividido em 4 tipos:

1) Mergulho de Apneia e *Snorkeling*, onde não existe uso de respiração subaquática e o mergulhador nada na superfície da água, executando uma inspiração forçada antes de mergulhar<sup>11</sup>;

2) Mergulho semiautónomo, em que abastecimento de ar é feito à superfície utilizando normalmente um capacete de mergulho;

3) Mergulho autónomo, também conhecido como *SCUBA (self-contained underwater breathing apparatus)*, em que o mergulhador transporta todo o material necessário consigo e que corresponde a 99% dos mergulhos desportivos;

4) Mergulho em circuito fechado, utilizado em operações militares por não serem produzidas bolhas<sup>12</sup>.

## Anatomia

O ouvido pode ser dividido em 3 regiões: externo, médio e interno (Fig. 2<sup>13</sup>).

O ouvido externo divide-se no pavilhão auricular e no canal auditivo externo. Este canal é revestido por um epitélio contendo folículos, glândulas sebáceas e glândulas apócrinas responsáveis pela produção de cerúmen. É através do ouvido externo que o som é conduzido até à membrana timpânica.

O ouvido médio corresponde a uma cavidade preenchida por ar inserida no osso temporal. É separado do ouvido externo pela membrana timpânica. Esta membrana ao vibrar transmite essa energia sonora aos ossículos (martelo, bigorna e estribo), que por sua vez a transmitem ao ouvido interno por intermédio do estribo que assenta na janela oval. Esta cavidade preenchida por ar comunica ainda com a faringe através da trompa de Eustáquio, sendo esta comunicação essencial para corrigir as variações de pressão durante o mergulho, tornando-se, assim, a sua disfunção a principal fisiopatologia do barotrauma.

O ouvido interno define-se como uma estrutura de parede-dupla sendo dividido num labirinto ósseo e num labirinto membranoso. O labirinto ósseo é constituído pela cóclea, vestíbulo e 3 canais semicirculares (Fig. 3<sup>14</sup>). A superfície interna deste acompanha o labirinto membranoso. O espaço entre estes dois designa-se espaço perilinfático e é onde circula a perilinfa. Por sua vez, dentro do labirinto membranoso encontra-se o espaço endolinfático onde circula a endolinfa. A perilinfa é um líquido semelhante ao líquido cefalorraquidiano (LCR) rico em sódio enquanto a endolinfa é rica em potássio, contrastando com os restantes fluidos corporais.

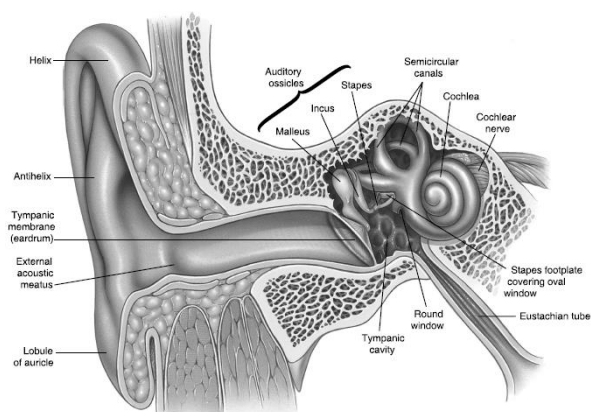


Fig. 2<sup>13</sup>: Anatomia do ouvido

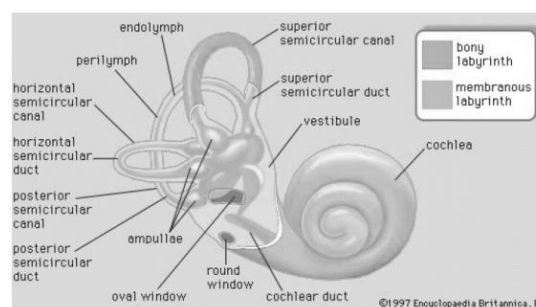


Fig. 3<sup>14</sup>: Anatomia do ouvido interno



## Cóclea

A cóclea consiste num canal ósseo enrolado em espiral em torno de um eixo (modíolo/columela) que é dividido em 3 porções por duas membranas (membrana basilar e membrana de Reissner que se localizam no espaço perilinfático) e é fechado pela *stria vascularis* (Fig. 4<sup>15</sup>). A membrana de Reissner divide a escala vestibular e escala média enquanto a membrana basilar separa a escala média da escala timpânica. A membrana tectorial assenta na escala média. A perilinfa circula na escala vestibular e na escala timpânica, enquanto a endolinfa circula na escala média.

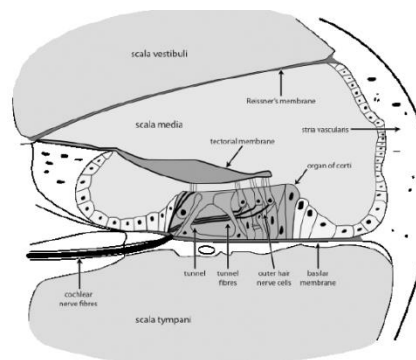


Fig. 4<sup>15</sup>: Estrutura da cóclea

O órgão de Corti situa-se na escala média de frente para a membrana basilar, contendo células ciliadas electromecanicamente sensíveis, sendo estas responsáveis por gerar impulsos nervosos em resposta a vibrações sonoras. Estas vibrações provocam o movimento da perilinfa na escala timpânica, separada da escala média pela membrana de Reissner, sendo esta fina o suficiente para permitir a transmissão das vibrações sonoras à endolinfa, provocando assim o movimento da membrana basilar em relação à membrana tectorial. Na base da cóclea são transmitidas as frequências mais altas, enquanto no vértice as frequências mais baixas.

## Vestíbulo

Associado a funções de sensação de movimento, o vestibulo é constituído pelo sáculo e utrículo, estando este último ligado aos canais semicirculares.

## Canais Semicirculares

Existem 3 canais semicirculares (lateral, superior e posterior) que formam 3 planos perpendiculares entre si e detetam movimentos de aceleração angular. Na junção de cada canal com o vestibulo existe uma dilatação designada de ampola.

## Janela Redonda e Oval

Embora o labirinto ósseo seja formado por tecido ósseo denso, existem duas pequenas áreas em que esta situação não se verifica. Estas duas janelas abrem-se para o ouvido médio.

- A janela oval abre-se do vestíbulo onde é anexado a platina do estribo, sendo esta que recebe as vibrações sonoras e as converte em ondas que são conduzidas através da perilinfa até ao órgão de Corti.

- A janela redonda corresponde à abertura da escala timpânica da cóclea que é fechada por uma membrana fina. Serve para compensar alterações de pressão da perilinfa através da distensão da sua membrana<sup>16,17,18,19</sup>.

### Lei de Boyle

A água não é compressível e a sua pressão aumenta linearmente, 1atm a cada 33 pés - 10m (Fig. 5<sup>20</sup>). Por outro lado, o ar é compressível e dessa forma é menos denso à superfície da terra. Para a alteração da pressão de 1atm em altitude é necessário alcançar a estratosfera, sendo que a diminuição de 0.5atm ocorre aos 18.000 pés (5500 m aproximadamente). Esta disparidade de variação da pressão entre a água e o ar explica a razão das lesões por barotrauma ocorrerem mais frequentemente depois do mergulho que depois de uma viagem de avião<sup>21</sup>.

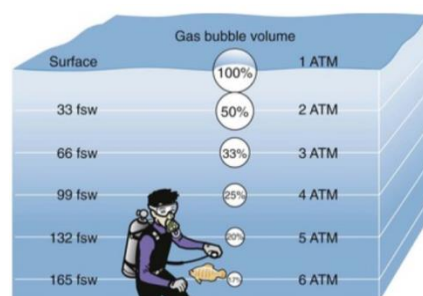


Fig. 5<sup>20</sup>: Alterações de pressão

A lei de Boyle postula que um dado volume de gás é inversamente proporcional à pressão do ambiente, dada a mesma temperatura<sup>6</sup>. Assim, durante a descida, com o aumento da pressão ambiente (1atm) é criada uma pressão negativa que induz a diminuição do volume de ar para metade<sup>22</sup>, podendo esta pressão negativa causar edema da mucosa ou mesmo perfuração se não for equalizada<sup>23</sup>. Ou seja, se um balão é insuflado com 1L à profundidade de 10m, se ascender à superfície irá expandir para 2L, porém deverá subir em altitude 5500m para aumentar mais 1L de volume<sup>21</sup>. Por outro lado, durante a subida do mergulho, com a diminuição da pressão ambiente há aumento do volume de ar e se o mesmo não for equalizado poderá resultar em perfuração da membrana timpânica ou pneumocéfalo por barotrauma dos seios perinais<sup>23</sup>.

Como os ouvidos e os seios são cavidades preenchidas por ar, alterações da pressão têm um impacto direto nestas regiões<sup>6</sup>. De forma a evitar o barotrauma por este mecanismo, a redução do volume de ar tem de ser compensada através de técnicas de equalização da pressão do ouvido médio. Isto é conseguido com a adição

do volume de ar necessário através da trompa de Eustáquio<sup>22</sup>. Se tal não for conseguido, a pressão hiperbárica existente força o movimento do sangue e outros fluídos para as cavidades preenchidas por ar, ocorrendo barotrauma<sup>21</sup>.

Os mergulhadores experienciam grandes alterações de pressão num curto intervalo de tempo durante o mergulho. É nos mergulhos pouco profundos que se observam as maiores taxas de variação da pressão, podendo neste tipo de mergulho também ocorrer barotrauma<sup>17</sup>.

### **Lesões do Ouvido Interno**

Embora as lesões do ouvido interno sejam pouco frequentes, estas são mais graves e podem conduzir a uma sintomatologia mais acentuada e incapacitante. Este tipo de sintomatologia deve ser distinguido dos sintomas vestibulares transitórios (vertigens alterno-báricas), muitas vezes associadas à prática de mergulho e com alta prevalência durante toda a vida<sup>4</sup>, uma vez que não existe evidência de sintomas vestibulares a longo prazo na ausência de lesão do ouvido interno<sup>10</sup>. A exposição a pressões hiperbáricas parece ser um fator importante para o desenvolvimento de sintomas vestibulares<sup>10</sup>.

É essencial reconhecer precocemente estas condições e instituir a terapêutica adequada de forma a evitar complicações a longo prazo. As duas condições mais frequentemente reportadas do ouvido interno são o barotrauma do ouvido interno e a doença descompressiva<sup>22</sup>.

Embora a fisiopatologia destas duas condições seja distinta, podem manifestar-se da mesma forma, tornando por vezes o diagnóstico diferencial difícil<sup>17,24</sup>. Deve ainda ser feito o diagnóstico diferencial com etiologias não provocadas pelo mergulho como a doença de Menière, vertigem posicional paroxística benigna ou neuronite vestibular<sup>17</sup>.

Uma das sintomatologias mais graves neste contexto é a perda auditiva, que pode ser devida ao barotrauma, à doença descompressiva ou à poluição sonora existente no fundo do mar<sup>4</sup>. Diversas variáveis contribuem para esta poluição sonora: as marés, a atividade sísmica e a turbulência constituem pequenas fontes de ruído. Para além disso, o trânsito de barcos ou outro tipo de embarcações têm um impacto maior neste ruído subaquático. Todavia, a principal fonte de ruído parece ser atribuída aos equipamentos de mergulho, nomeadamente o regulador, assim como às

comunicações existentes<sup>25,26</sup>. Estudos referem que a maior causa de perda auditiva em mergulhadores é a poluição sonora<sup>3</sup> e o barotrauma do ouvido interno<sup>5</sup> e que existe uma correlação entre a perda auditiva e a presença de hábitos tabágicos em mergulhadores<sup>3</sup>.

A hipoacusia neurossensorial súbita pode estar presente isoladamente e é definida como sendo desenvolvida em menos de 72h, com a perda auditiva de pelo menos 30dB em 3 ou mais frequências contíguas<sup>22</sup>. Outras alterações auditivas existentes podem ser a plenitude auricular, acufenos, hiperacusia ou surdez<sup>17</sup>. Dos sintomas vestibulares acompanhantes podemos ter vertigens, náuseas, vômitos, ataxia ou nistagmo que pioram com a atividade ou barulho<sup>17,22,24</sup>.

### Barotrauma do ouvido interno

O barotrauma do ouvido interno compreende um espectro de patologias isoladas ou combinadas: fístula perilinfática, rotura das membranas intralabirínticas e ainda hemorragia do ouvido interno (Fig. 6)<sup>17</sup>.

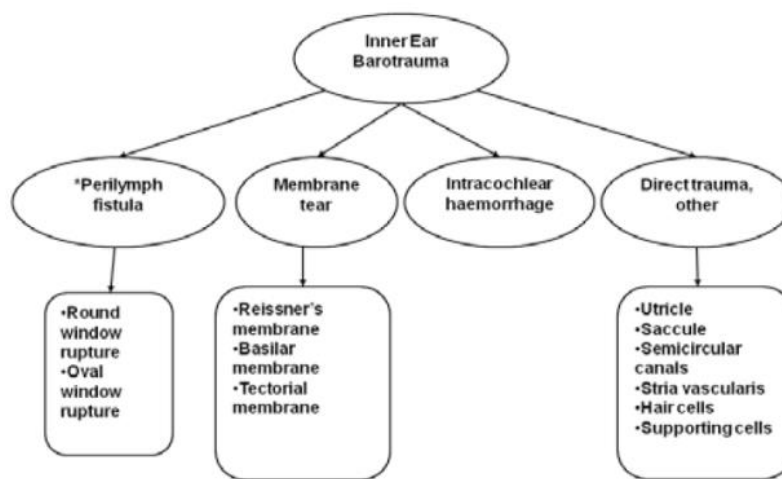


Fig. 6<sup>17</sup>: Tipos de barotrauma do ouvido interno

Estas patologias resultam da danificação dos tecidos por efeitos diretos da pressão na descida ou na subida. Este ocorre predominantemente em mergulhos pouco profundos (<30m)<sup>3</sup>, podendo mesmo ocorrer a 2.4m de profundidade<sup>27</sup>. Pode ser seguido ao barotrauma do ouvido médio pela fisiopatologia associada à disfunção tubária<sup>3</sup>. Quando o diferencial de pressão entre o ouvido médio e a nasofaringe é superior a 90mmHg, a trompa de Eustáquio fecha resultando na incapacidade de equalizar o ouvido médio<sup>28</sup>.

A incidência do barotrauma do ouvido interno é difícil de calcular<sup>17</sup>. Um estudo com 709 mergulhadores experientes mostrou que a causa mais comum para morbidade a longo prazo era o barotrauma e que é estimado que 0.5-1.1% dos mergulhadores venham a sofrer de barotrauma do ouvido interno durante a sua vida<sup>29</sup>.

Existem certos fatores de risco que podem levar a maior predisposição para o barotrauma, nomeadamente o aumento do tamanho do aqueduto coclear que leva a uma transferência mais acentuada das variações de pressão do LCR para as estruturas do labirinto. Outra consideração dentro dos mergulhadores pediátricos é a redução do tamanho do aqueduto coclear<sup>23</sup>. Entre os fatores predisponentes estão naturalmente a dificuldade em equalização do ouvido médio, a realização de manobras de equalização forçadas, o trauma por ondas, a remoção do fato de mergulho ou o levantamento de equipamento pesado<sup>17</sup>.

Logo após o mergulhador atingir a superfície ou passado algumas horas, este pode queixar-se de hipoacusia neurossensorial persistente, acúfenos, vertigens ou náuseas<sup>21</sup> sendo que, se não houver sinais de doença descompressiva, então a hipótese de barotrauma do ouvido interno deve ser considerada<sup>3</sup>. Num estudo com 46 casos de lesões do ouvido interno, os sintomas cocleares foram os mais proeminentes<sup>24</sup>. A sua gravidade pode variar entre hipoacusia neurossensorial ligeira até surdez completa e vertigem grave<sup>6</sup>.

O *timing* do início dos sintomas em relação ao mergulho é um elemento chave para suspeitar de barotrauma do ouvido interno<sup>17</sup>. Mergulhos a baixa profundidade, sintomatologia súbita após alcançar a superfície, dificuldades de equalização, episódios prévios de barotrauma ou a co-existência de barotrauma do ouvido médio devem fazer suspeitar da presença de barotrauma do ouvido interno<sup>17</sup>. Clinicamente é muito difícil fazer o diagnóstico diferencial entre as várias causas de barotrauma do ouvido interno<sup>17</sup>.

Se existir suspeita de barotrauma, a abordagem inicial deve incluir, além da anamnese, exame da cabeça e pescoço, otoscopia, teste de Weber e Rinne, teste dos pares cranianos e cerebelo (incluindo prova de Romberg e a manobra de Dix-Hallpike)<sup>17</sup>. Vários testes estão disponíveis, porém é essencial a realização de uma audiometria para quantificar a perda auditiva<sup>17</sup>. Não está recomendada a realização inicial de tomografia computadorizada (TC) de alta resolução para o diagnóstico de barotrauma<sup>17</sup>.

Por vezes, ao exame otológico pode-se observar barotrauma do ouvido médio, atribuindo assim a sintomatologia existente somente a esta condição. Porém, pode existir concomitantemente barotrauma do ouvido interno. Assim, a realização de estudos audiométricos são obrigatórios após o mergulho<sup>21</sup>. Outras vezes, o exame otológico pode ser completamente normal, sem alterações ao nível do canal auditivo externo e da membrana timpânica, devendo contudo ser mantida a suspeita clínica<sup>23</sup>. A existência de um audiograma prévio facilita a definição do grau da lesão<sup>17</sup>.

Em relação ao tratamento, é aconselhado o repouso durante 7 a 10 dias e ainda a prescrição de descongestionantes nasais<sup>6,17</sup>. Devem ser evitadas actividades que aumentem a pressão intracraniana e do LCR através do espirro pela boca, a prescrição de laxantes caso exista dificuldade em defecar para minimizar a realização de manobras de Valsava, evitar a poluição sonora, o levantamento de pesos ou as viagens de avião<sup>17,21</sup>. Pode ainda ser prescrito altas doses de corticóide embora não exista muita evidência clínica quanto à sua eficácia e consenso em relação à dose utilizada (prednisolona 250mg/dia pelo menos durante 3 dias seguida de desmame durante 18 dias<sup>23</sup> ou 60mg/dia durante 10 dias<sup>17</sup>). Por fim, podem ser utilizados tampões para os ouvidos para proteger da poluição sonora e amortecer as diferenças de pressão<sup>17</sup>.

Um estudo em porquinhos-da-Índia concluiu que o barotrauma do ouvido interno induz distúrbios circulatórios com a produção de radicais livres que danificam o órgão de Corti. Assim, administraram um bloqueador de radicais livres (edaravona), já usado na Esclerose Lateral Amiotrófica, que mostrou ter efeito terapêutico no barotrauma do ouvido interno pela prevenção do dano oxidativo<sup>30</sup>. Aguarda-se a realização de novos estudos em humanos para comprovar este efeito terapêutico assim como a fisiopatologia inerente ao mesmo.

A equalização das pressões precoce e frequentemente é uma medida preventiva muito importante<sup>21</sup>, uma vez que dificuldades na equalização do ouvido médio foi a queixa mais referida em vários estudos<sup>6,17,27</sup>.

Está recomendada a realização de TC de alta resolução a todos os doentes que sofreram de barotrauma do ouvido interno, de forma a descartar alterações anatómicas (como o aumento da comunicação LCR-perilinfá através do alargamento do aqueduto coclear<sup>17</sup>) que predisponham a futuros episódios<sup>23</sup>. Devem ainda ser identificados os mergulhadores com dificuldades de equalização ou com maior risco para o barotrauma do ouvido médio, visto haver evidência que esses factores aumentam o risco de barotrauma do ouvido interno<sup>17</sup>.

### Fístula Perilinfática:

Corresponde a uma comunicação anormal entre a perilinfa (ouvido interno) e a caixa timpânica preenchida por ar (ouvido médio)<sup>31</sup> através da janela oval ou redonda<sup>17</sup> (Fig. 7<sup>32</sup>).

Visto a perilinfa e a endolinfa serem incompressíveis, as alterações de pressão no ouvido médio são transmitidas às janelas redonda e oval e ainda a outras estruturas existentes na cóclea como as membranas labirínticas<sup>22</sup>.

A rotura da janela oval ou redonda pode ocorrer através de forças implosivas ou explosivas<sup>3</sup>. A força implosiva (Fig. 8<sup>23</sup>) corresponde a um aumento da pressão no ouvido médio<sup>33</sup> que se verifica durante a descida quando existe um bloqueio da trompa de Eustáquio e a pressão do ouvido médio vai ficando cada vez mais negativa. Aí, o mergulhador executa uma manobra de Valsava forçada, levando à entrada forçada de uma grande quantidade de ar, causando distensão da membrana timpânica com o deslocamento da platina do estribo em relação à membrana oval, levando à implosão da membrana redonda<sup>23</sup>.

Já a força explosiva (Fig. 9<sup>23</sup>) corresponde ao aumento da pressão no espaço peri-linfático<sup>33</sup> que ocorre por alterações da pressão do LCR que comunica à perilinfa através do aqueduto coclear<sup>24</sup>. Se uma manobra de Valsava falhada ocorrer por disfunção tubária, haverá uma elevação da pressão do LCR que causa a rotura da membrana redonda<sup>23</sup>.

Juntamente com este mecanismo ocorre retracção da membrana timpânica, movendo a platina do estribo em direcção à janela oval, provocando o movimento da perilinfa em direcção à janela redonda (Fig. 10<sup>34</sup>)<sup>17</sup>. Visto a membrana oval ser mais protegida pela platina do estribo, do que a membrana redonda<sup>23</sup>, é mais comum ocorrer a rotura da membrana

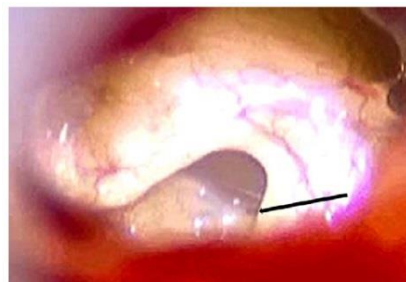


Fig.7<sup>32</sup>: Fístula perilinfática



Fig. 8<sup>23</sup>: Mecanismo implosivo

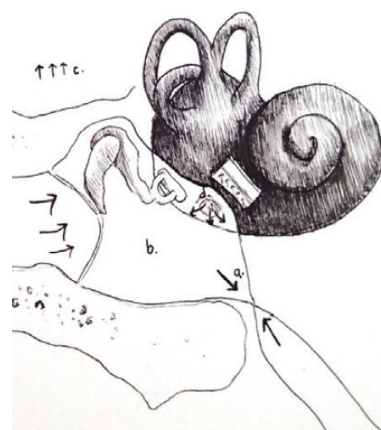


Fig. 9<sup>23</sup>: Mecanismo explosivo

redonda que da membrana oval<sup>17</sup>. Pode ainda ocorrer a rotura das duas membranas e ser bilateral<sup>17</sup>. É possível a combinação das forças implosivas e explosivas para explicar a origem do barotrauma<sup>17</sup>.

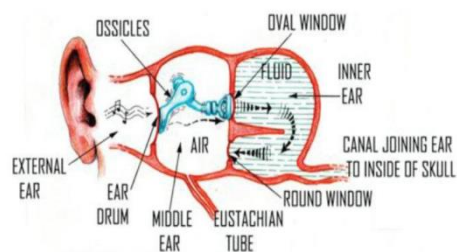


Fig. 10<sup>34</sup>: Transmissão de pressões entre janelas

Com a rotura da membrana redonda, existe a passagem de perilinfa para o ouvido médio e entrada de ar para o ouvido interno, provocando um pneumolabirinto<sup>17</sup>. Esta condição pode ainda ser precipitada por eventos internos como espirrar, tossir ou elevação de pesos<sup>17</sup> existindo uma proposta Japonesa para a classificação das diferentes etiologias de fístulas perilinfáticas (anexo 1)<sup>31</sup>.

Quanto à sintomatologia, podem estar presentes sintomas áudio-vestibulares, porém estes podem ser muito variáveis e não são específicos desta patologia<sup>31</sup>. A presença de plenitude auricular parece ser um sintoma sensível na predição de fístula perilinfática<sup>31</sup>. A presença de vertigens persistentes após alguns dias ou a deterioração da audição são altamente sugestivas da presença de fístula<sup>21</sup>, visto a perda de perilinfa ser gradual<sup>35</sup>. Em termos auditivos os sintomas podem ser flutuantes<sup>33</sup> e o envolvimento das frequências altas parece estar associado à rotura da membrana redonda<sup>17</sup>. É ainda possível a inexistência de quaisquer sintomas auditivos, existindo apenas sintomas vestibulares. Neste caso o exame neurológico deve ser realizado, tendo especial atenção a manobras com os olhos fechados e ainda a manobra de Dix-Hallpike que provoca um nistagmo rotatório<sup>21</sup>.

Não existem testes confirmatórios de diagnóstico embora possam ser feitos vários tipos de exames áudio-vestibulares assim como exames de imagem (TC ou Ressonância Magnética – visualização de pneumolabirinto), com a ressalva que se estes forem normais não excluem a hipótese de fístula<sup>31</sup>. A presença de um teste de fístula positivo pode ser indicativo de fístula perilinfática e é definido pela presença de nistagmo após a aplicação de pressão no canal auditivo externo com um otoscópio pneumático<sup>33</sup>. Um estudo Japonês propôs critérios de diagnóstico para a fístula perilinfática (anexo 2)<sup>31</sup>.

A história clínica e o perfil do mergulho ajudam bastante no diagnóstico<sup>17</sup>. Caso a suspeita de fístula seja alta e esteja associada à perda rápida e progressiva da audição<sup>31</sup>, a sintomas vestibulares incapacitantes<sup>17</sup> ou à presença de sintomas contínuos por mais de 24h após a prática de mergulho<sup>4</sup>, a exploração cirúrgica não



deve ser atrasada por mais de 48 horas<sup>17</sup>. Esta é considerada o *gold-standart* com a visualização direta da passagem de perilinfa através de uma timpanotomia. A sua visualização intra-operatória pode ser facilitada, realizando a posição de Trendelenburg, a manobra de Valsava, a compressão da veia jugular interna ou aumentando a pressão intratorácica em doentes intubados<sup>17,23</sup>. Posteriormente, deve ser feita a obliteração da janela redonda e janela oval<sup>33</sup>, podendo ainda ser considerada a administração de corticóide intra-timpânico<sup>31</sup>. Importante referir que a não visualização da passagem de perilinfa não exclui o diagnóstico, uma vez podem existir micro-fístulas não visíveis durante a exploração cirúrgica<sup>31,33</sup> e que está indicado fazer na mesma a obliteração das duas janelas<sup>17,23</sup>. O risco de recorrência é de 10% e se houver persistência dos sintomas após a reparação cirúrgica, pode ser realizada uma segunda cirurgia, nunca ultrapassando as duas<sup>17</sup>.

Embora a exploração cirúrgica seja a opção preferida, nem sempre é necessária e não existe um consenso atual em relação às indicações ou *timing* para a sua realização<sup>17</sup>. Caso a sintomatologia existente não tenha um impacto significativo na qualidade de vida do doente, apenas medidas conservadoras podem ser tomadas com resolução espontânea dos sintomas entre 1 a 3 semanas<sup>17,31</sup>. É assim recomendado repouso absoluto com elevação da cabeceira a 45°<sup>3,23</sup>. Caso não ocorra melhoria sintomática com repouso absoluto dentro de 5 a 10 dias por suspeita de barotrauma do ouvido interno, deve ser considerada a realização de cirurgia<sup>17</sup>.

O prognóstico parece estar relacionado com o tempo decorrido entre o evento causador e o tratamento cirúrgico<sup>31</sup>. A perda auditiva parece ter maior probabilidade de recuperação se as frequências baixas e médias forem afectadas, sendo estas associadas às frequências da fala<sup>17</sup>. A reparação cirúrgica parece ter um maior impacto nos sintomas vestibulares como a ataxia, vertigens ou náuseas/vómitos do que na hipoacusia<sup>17,33</sup>.

### Rotura das membranas intralabirínticas ou intracocleares:

O barotrauma causado por este mecanismo pode ocorrer devido a forças implosivas ou explosivas, já explicadas anteriormente, e pode estar associado ao barotrauma do ouvido médio<sup>17,22</sup>. Normalmente ocorre após uma manobra de Valsava forçada, criando uma onda de pressão na perilinfa que pode levar à rotura da membrana de Reissner, da membrana basilar ou da membrana tectorial<sup>21,23</sup>. Pode ainda ser provocado por processos que aumentem a pressão da perilinfa como tossir, espirrar ou levantar pesos<sup>17</sup>. Existe ainda a teoria da rotura dupla das membranas que se refere à possibilidade da rotura destas membranas associada à rotura da membrana redonda ou oval<sup>17</sup>.

A rotura da membrana de Reissner pode causar a perda auditiva por lesão direta das células do órgão de Corti ou através da mistura da perilinfa com a endolinfa levando a alterações iónicas<sup>17</sup>. Já a rotura da membrana basilar parece comprometer o órgão de Corti levando a hipoacusia neurosensorial súbita a longo prazo<sup>17</sup>.

Esta etiologia pode-se apresentar por hipoacusia neurosensorial isolada, embora seja mais comum haver sintomatologia vestibular concomitante (vertigens ou náuseas<sup>17</sup>) ou ainda plenitude auricular, acufenos e hiperacúsia<sup>23</sup>. A persistência da perda auditiva numa frequência específica é sugestiva da rotura de uma membrana coclear numa dada localização anatómica<sup>21</sup>, podendo a mesma ser avaliada através de um audiograma<sup>17</sup>. Importante referir que não existe clínica específica desta etiologia<sup>17</sup>. A perda auditiva normalmente melhora substancialmente dentro de 4 a 6 semanas<sup>21</sup>.

### Hemorragia Coclear:

Esta etiologia pode ocorrer por forças implosivas ou explosivas<sup>22</sup>. Mais uma vez uma manobra de Valsava forçada pode levar à rotura de vasos sanguíneos no labirinto<sup>21,24</sup>.

A perda auditiva por este mecanismo tende a ser mais severa e súbita, visto que o sangue ao se misturar com a endolinfa e perilinfa, provoca alterações das suas concentrações iónicas, essenciais à fisiologia da audição<sup>21</sup>. A restante sintomatologia parece ser semelhante à rotura da membrana redonda ou oval<sup>17</sup>. Se o mecanismo de barotrauma for a hemorragia isoladamente, está associado a uma excelente recuperação auditiva<sup>21</sup>.

A hemorragia coclear ou rotura das membranas intracocleares são diagnósticos de exclusão baseados na clínica ou quando é excluída a existência de uma fístula perilinfática após a realização de uma timpanotomia exploratória<sup>17</sup>.

### **Prevenção, Manobras de Equalização e *Fit-to-Dive***

Visto o barotrauma do ouvido interno ser uma entidade pouco comum mas associada a uma elevada morbidade e risco de complicações a longo prazo, torna-se essencial a educação dos mergulhadores de forma a preveni-la. Uma das formas mais importantes de prevenção é começar a equalização do ouvido médio à superfície e realizar manobras de equalização durante a descida, 3 vezes por metro até alcançar os 5 metros de profundidade. Dessa forma, consegue-se manter a trompa de Eustáquio permeável ao longo da descida<sup>13</sup>. Se houver problemas de equalização o mergulhador pode ascender para diminuir a diferença das pressões existentes e repetir as mesmas manobras. Se mesmo assim foi impossível o equilíbrio de pressões, o mergulho deve ser interrompido<sup>6</sup>. Uma audiometria deveria ser obrigatória antes de se iniciar a prática de mergulho, embora não seja feita rotineiramente. Isto deve-se à necessidade da existência de um exame basal para permitir futuras comparações, sem a mesma torna-se difícil o diagnóstico de barotrauma do ouvido interno<sup>17,36,37</sup>.

Existem várias manobras de equalização do ouvido médio embora a manobra de Valsava seja a mais utilizada.

- Abertura voluntária das trompas de Eustáquio/ Técnica BTV (*Béance Tubaire Voluntaire*): contracção dos músculos do palato e projecção da mandíbula para a frente;
- Manobra de Valsava: aumento da pressão intratorácica apertando o nariz e tentando exalar o ar contra o nariz e lábios cerrados. Embora seja a manobra mais conhecida e dominada, está associada a maior risco para o ouvido interno<sup>21</sup>. Além disso, apresenta 2 problemas: 1) não há activação dos músculos que abrem a trompa de Eustáquio, pelo que poderá ser inútil se a trompa já se encontrar bloqueada pelas diferenças de pressão; 2) exalar contra um nariz fechado aumenta ainda mais a pressão dos fluídos corporais (perilinf/ endolinf) podendo levar à rotura da membrana redonda ou oval;

- Manobra de Frenzel: elevação da maçã-de-adão (fechar as narinas e as cordas vocais e realizar um som “k” que provoque a elevação da língua comprimindo o ar na região posterior da garganta contra a trompa de Eustáquio);
- Manobra Toynbee: deglutição com o nariz apertado;
- Técnica de Lowry: conjugação da manobra de Valsava com a manobra de Toynbee (engolir e tentar exalar ar contra o nariz e lábios fechados);
- Técnica de Edmonds: junção da manobra de Valsava com a técnica BTV (tentar exalar ar contra o nariz e lábios fechados e a mandíbula projectada para a frente).

No passado os mergulhadores que sofriam de barotrauma do ouvido interno eram aconselhados a deixar permanentemente de mergulhar, por suposto risco de aumento da lesão de um ouvido já danificado<sup>27</sup>. Um estudo, em 1993, acompanhou 20 mergulhadores que recusaram seguir o aconselhamento médico para deixar de mergulhar, tendo-lhes sido ensinadas várias manobras de equalização, visto os problemas de equalização terem sido um achado universal<sup>27</sup>. Este estudo chegou à conclusão que as recomendações existentes não deveriam ser totalmente restritas visto não ter havido qualquer deterioração do estado clínico dos 20 mergulhadores<sup>27</sup>.

Os requisitos para voltar a mergulhar variam de acordo com o tipo de profissão e mergulho que se realiza<sup>5</sup>. Antes de um mergulhador voltar à sua prática deve ter uma consulta por um especialista em ORL que se dedique à medicina do mergulho<sup>23</sup>. Após tratamento conservador ou cirúrgico, os especialistas enfrentam dificuldades para permitir o retorno à actividade de mergulho<sup>17</sup>. As recomendações existentes não são muito claras, existindo bastantes diferenças entre as mesmas<sup>17</sup>. Enquanto alguns aconselham voltar à prática do mergulho após 6 meses de tratamento, se permanecer assintomático e com audição normal nas frequências da fala<sup>21</sup>, já outros sugerem retomar a atividade diária após 10 dias e o mergulho após 3 meses<sup>38</sup>.

Vários estudos enumeram algumas premissas que devem ser cumpridas para evitar novo barotrauma do ouvido interno<sup>17,21,23</sup>:

- Educação sobre as várias manobras de equalização existentes;
- Evitar mergulhar se congestão nasal estiver presente;

- Interromper o mergulho se existirem problemas de equalização no início do mesmo;
- Inexistência de vertigens/desequilíbrio;
- Perda auditiva estável numa frequência estreita;
- Despiste de anomalias anatómicas que coloquem em risco novo barotrauma;
- Não ser necessária qualquer intervenção cirúrgica.

Existem também condições que devem excluir a prática de mergulho por risco ou agravamento do barotrauma existente<sup>17</sup>:

- Sintomatologia vestibular presente;
- Anomalias anatómicas identificadas por timpanotomia ou TC;
- Persistência de dificuldades de equalização;
- Existência de barotrauma do ouvido médio;
- Perda auditiva persistente e significativa;
- Infecção do trato respiratório superior nas 2 semanas anteriores<sup>39</sup>;
- Utilização de medicação vasoconstritora 12h antes do mergulho<sup>6</sup>.

## **Conclusão**

A prática de mergulho tem vindo a crescer bastante e com uma acessibilidade cada vez maior, tornando-se importante que os profissionais de saúde, nomeadamente os especialistas em ORL, estejam capacitados para diagnosticar e tratar as patologias inerentes a esta atividade.

As patologias associadas ao ouvido interno, embora sejam raras, podem ser bastante graves e incapacitantes, com risco de complicações a longo prazo. Entre elas o barotrauma e a doença descompressiva são as duas condições mais comuns, e embora o diagnóstico diferencial baseado apenas na clínica seja bastante difícil, é importante fazê-lo por terem abordagens terapêuticas diferentes. Torna-se assim essencial que os mergulhadores procurem clínicos especializados nesta área para um tratamento e abordagem adequados.

O barotrauma do ouvido interno ocorre por variações da pressão ambiente que são transmitidas ao ouvido médio e por sua vez ao ouvido interno através da janela oval e redonda. Pode apresentar-se como fistula perilinfática, rotura das membranas intralabirínticas ou hemorragia do ouvido interno. Esta patologia deve-se normalmente à incapacidade de equalização do ouvido médio por disfunção tubária podendo assim estar associado ao barotrauma do ouvido médio. Tem ainda outros factores precipitantes como forças internas ou externas, patologias associadas (infecção do trato respiratório) e anomalias anatómicas (aumento do aqueduto coclear). O tratamento passa por medidas conservadoras como o repouso, descongestionantes nasais e ainda a possibilidade do uso de corticoterapia.

A fístula perilinfática corresponde à etiologia mais frequente. Ocorre normalmente por rotura da membrana redonda, permitindo que haja uma comunicação entre o ouvido médio e interno, levando à formação de um pneumolabirinto. A clínica não é específica, manifestando-se por sintomas vestibulo-cocleares, nomeadamente deterioração auditiva progressiva ou vertigens persistentes. A exploração cirúrgica é a abordagem diagnóstica e terapêutica de eleição, embora em quadros ligeiros possam ser mantidas medidas conservadoras, nomeadamente a o repouso com elevação da cabeceira.

A rotura das membranas intralabirínticas e a hemorragia coclear são diagnósticos de exclusão, após ter sido descartada a hipótese de fístula perilinfática por exploração cirúrgica.

Tendo em conta a gravidade das patologias associadas ao ouvido interno, a prevenção torna-se particularmente importante. Visto a disfunção tubária ser um dos problemas chave, é essencial realizar uma equalização adequada, ou seja, iniciar à superfície e continuar gradualmente durante a descida. Caso esta não seja conseguida, o mergulhador pode ascender para diminuir a compressão ou mesmo interromper o mergulho. Todos os mergulhadores antes de começarem a praticar esta atividade deveriam ter uma consulta com a realização de uma audiometria para existir um exame basal prévio de comparação no caso de complicações futuras.

Em relação àqueles que sofreram de barotrauma, é de salientar que não é necessário deixar de mergulhar, porém devem-lhes ser ensinadas as várias manobras de equalização e asseguradas certas premissas para poderem retomar à prática.

Em conclusão, é essencial uma abordagem rápida e adequado no barotrauma do ouvido interno pelos seus riscos inerentes a longo prazo. A prevenção tem particular relevo para evitar sintomas incapacitantes ainda debaixo de água, e que podem colocar o mergulhador em risco de vida.

## **Agradecimentos**

Agradecer em primeiro lugar ao Prof. Óscar Proença Dias pela oportunidade de explorar uma temática relacionada com o mundo do desporto que tanto gosto. Ao Dr. Filipe Caldeira pela transmissão dos grandes conhecimentos nesta área e ainda ao Dr. Marco Simão pelo acompanhamento ao longo da sua realização.



## Bibliografia

1. Repository RR. Rubicon Research Repository (<http://archive.rubicon-foundation.org>). 1999;29(3):161-165.
2. PADI (Professional Association of Diving Instructors. Scuba Certification). PADI Worldwide Corporate Statistics 2017: Data for 2011-2016. 2017. <https://www.padi.com/about-padi/padi-statistics>.  
Acedido a 10/01/2019
3. Evens RA, Bardsley B, Manchaiah VKC. Auditory Complaints in Scuba Divers: An Overview. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg.* 2012;64(1):71-78. doi:10.1007/s12070-011-0315-6
4. Azizi MH. Ear disorders in scuba divers. *Int J Occup Environ Med.* 2011;2(1):20-26.
5. Bove AA. Diving medicine. *Am J Respir Crit Care Med.* 2014;189(12):1479-1486. doi:10.1164/rccm.201309-1662CI
6. Klingmann C, Praetorius M, Baumann I, Plinkert PK. Otorhinolaryngologic disorders and diving accidents: An analysis of 306 divers. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngology.* 2007;264(10):1243-1251. doi:10.1007/s00405-007-0353-6
7. Strutz J (1993) Otorhinolaryngologic aspects of diving sports. *HNO* 41:401–411
8. Roydhouse N. 1001 Disorders of the Ear, Nose and Sinuses in Scuba Divers. *Can J Appl Sport Sci.* 1985;10(2):99-103.
9. Klingmann C, Wallner F. Tauchmedizinische Aspekte in der HNO-Heilkunde. *HNO.* 2004;52(9):757-769. doi:10.1007/s00106-004-1106-0
10. Goplen FK, Grønning M, Aasen T, Nordahl SHG. Vestibular effects of diving—a 6-year prospective study. *Occup Med (Chic Ill).* 2009;60(1):43-48. doi:10.1093/occmed/kqp148
11. Dimmock K. Scuba diving, snorkeling, and free diving. *Water-Based Tour Sport Leis Recreat Exp.* 2007:128-148. doi:10.4324/9780080468310
12. Levett DZH, Millar IL. Bubble trouble: A review of diving physiology and disease. *Postgrad Med J.* 2008;84(997):571-578. doi:10.1136/pgmj.2008.068320
13. Lynch JH, Deaton TG. Barotrauma With Extreme Pressures in Sport. *Curr Sports Med Rep.* 2014;13(2):107-112. doi:10.1249/JSR.0000000000000039

14. Hawkins J. Bony labyrinth. *Encyclopedia Britannica Online*. Available from: <http://www.britannica.com/EBchecked/media/532/The-two-labyrinths-of-the-inner-ear>.
15. Cross section of the cochlea. *Wikipedia*. Available from: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Cochlea-crossection.svg>.
16. T. Sakamoto and H. Hiraumi, "Anatomy of the inner ear," in *Regenerative Medicine for the Inner Ear*, 2014, pp. 3-13.
17. Bennett M, Acott C, Richardson K, et al. Diving and Hyperbaric Medicine Membership. 2013;43(4).
18. Inner ear anatomy. University of Washington. Available from: [http://depts.washington.edu/sphsc461/inner\\_ear/Inner%20Ear%20anatomy.pdf](http://depts.washington.edu/sphsc461/inner_ear/Inner%20Ear%20anatomy.pdf).
19. Rouvière H. *Anatomie Humaine.*; 2002.
20. Byyny RL, Shockley LW. Scuba Diving and Dysbarism. 1915. doi:10.1016/B978-1-4557-0605-1.00143-3
21. Becker GD, Parell GJ. Barotrauma of the ears and sinuses after scuba diving. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngology*. 2001;258(4):159-163. doi:10.1007/s004050100334
22. Van Der Wal AW, Van Ooij PJAM, De Ru JA. Hyperbaric oxygen therapy for sudden sensorineural hearing loss in divers. *J Laryngol Otol*. 2016;130(11):1039-1047. doi:10.1017/S0022215116009075
23. Livingstone DM, Smith KA, Lange B. Scuba diving and otology: A systematic review with recommendations on diagnosis, treatment and post-operative care. *Diving Hyperb Med*. 2017;47(2):97-109. doi:10.28920/dhm47.2.97-109
24. Klingmann C, Praetorius M, Baumann I, Plinkert PK. Barotrauma and Decompression Illness of the Inner Ear. *Otol Neurotol*. 2007;28(4):447-454. doi:10.1097/MAO.0b013e318030d356
25. Underwater Acoustics Physics Department United States Naval Academy The notes for Underwater Acoustics and Sonar (SP411), November 5, 2018
26. Nedwell JR, Mason TI, Collett AG GR. Noise exposure of commercial divers in the Norwegian Sector of the North Sea. *Undersea Hyperb Med*. 2015;42(2):151-158.
27. Parell GJ, Becker GD. Inner Ear Barotrauma in Scuba Divers: A Long-term Follow-up After Continued Diving. *Arch Otolaryngol Neck Surg*. 1993;119(4):455-457. doi:10.1001/archotol.1993.01880160103016

28. Shupak A. Recurrent diving-related inner ear barotrauma. *Otol Neurotol.* 2006;27(8):1193-1196. doi:10.1097/01.mao.0000231499.69404.22
29. Taylor DM, O'Toole KS, Ryan CM. Experienced scuba divers in Australia and the United States suffer considerable injury and morbidity. *Wilderness Environ Med.* 2003 Summer;14(2):83-8.
30. Maekawa H, Matsunobu T, Tsuda H, et al. Therapeutic effect of edaravone on inner ear barotrauma in the guinea pig. *Neurochem Int.* 2009;54(8):513-518. doi:10.1016/j.neuint.2009.02.011
31. Deveze A, Matsuda H, Elziere M, Ikezono T. Diagnosis and treatment of perilymphatic fistula. *Adv Otorhinolaryngol.* 2018;81:133-145. doi:10.1159/000485579
32. Al Felasi M, Pierre G, Mondain M, Uziel A, Venail F. Perilymphatic fistula of the round window. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis.* 2011;128(3):139-141. doi:10.1016/j.anorl.2010.12.004
33. Alzahrani M, Fadous R, Dufour JJ, Saliba I. Perilymphatic fistulas: can we predict the diagnosis? *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngology.* 2015;272(8):1885-1891. doi:10.1007/s00405-014-3007-5
34. Edmonds, C., McKenzie, B., & Thomas, R. (1992). *Diving medicine for SCUBA divers.* JL Publications, Melbourne. 1992:1992.
35. Sheridan MF, Hetherington HH, Hull JJ. Inner ear barotrauma from scuba diving. *Ear, Nose Throat J.* 1999;78(3):181-195. doi:10.1086/250095
36. Edmonds C, Bennett M, Lippmann J, Mitchell SJ. *Diving and Subaquatic Medicine.* CRC Press. 2016.
37. <https://www.diversalertnetwork.org/medical/articles/download/DiversGuidetoEars.pdf> - by John Francis; Illustrations by Trevor Johnston
38. Edmonds C. Ear Barotrauma. In: Edmonds C, Lowry C, Pennefather J, Walker R, editors. *Diving and subaquatic medicine*, 4th ed. Boca Raton FL: CRC Press; 2005. p. 73-91. 2005:2005.
39. Parell GJ, Becker GD. Conservative management of inner ear barotrauma resulting from scuba diving. *Otolaryngol - Head Neck Surg.* 1985;93(3):393-397. doi:10.1177/019459988509300320

## Anexos

### Anexo 1<sup>31</sup>:

---

Category 1	Linked to trauma, middle and/or inner ear diseases, surgeries
1	a Direct labyrinthine trauma (stapes luxation, otic capsule fracture, etc.)
	b Other trauma (head injury, body contusion, etc.)
2	a Middle or inner ear diseases (cholesteatoma, tumor, anomaly, dehiscence, etc.)
	b Iatrogenic (ear surgeries, medical treatments, etc.)

---

Category 2	Linked to barotrauma caused by antecedent events of external origin (such as flying or diving)
------------	--

---

Category 3	Linked to barotrauma caused by antecedent events of internal origin (such as straining, sneezing or coughing)
------------	---

---

Category 4	Has no apparent antecedent event (idiopathic)
------------	---

---

### Anexo 2<sup>31</sup>:

---

<b>A Symptoms</b>
Hearing impairment, tinnitus, aural fullness, vestibular symptoms are observed in those with the preceding events:
(1) Coexisting or pre-existing middle and/or inner ear diseases, (trauma, cholesteatoma, tumor, anomaly, SCCD, etc.), middle and/or inner ear surgeries
(2) Barotrauma caused by antecedent events of external origin (e.g., blasting, diving or flying, etc.)
(3) Barotrauma caused by antecedent events of internal origin (e.g., nose-blowing, sneezing, straining or carrying heavy objects, etc)

---

<b>B Laboratory findings</b>
(1) Microscopic/Endoscopic inspection
Visual identification of fistula(s) between middle and inner ear by microscope or endoscope. Fistulas can develop at the cochlear window, vestibular window, fracture site; microfissure, malformation, destruction in bony labyrinth caused by inflammation, etc.
(2) Biochemical test
Perilymph-specific protein is detected from the middle ear

---

<b>C Reference</b>
(1) A perilymph specific protein; e.g., Cochlin-tomoprotein (CTP) detection test.
After myringotomy, the middle ear is rinsed with 0.3 ml saline 3 times; the fluid is recovered (middle ear lavage (MEL)) and tested by polyclonal antibody ELISA.
The cut-off criteria: $-0.4 < \text{CTP} < 0.4$ negative; $0.4 \leq \text{CTP} < 0.8$ intermediate; $0.8 \leq \text{CTP}$ positive
(2) Idiopathic cases may exist.
(3) Following symptoms and/or test results may be observed:
1 Streaming water-like tinnitus or feeling of running water in the middle ear
2 Popping sound can be heard at the onset
3 Nystagmus and/or vertigo induced by pressure application to the middle ear (Hennebert's phenomenon, fistula sign)
4 Imaging studies may show a fistula in the bony labyrinth or pneumolabyrinth
5 Progression of hearing impairment, tinnitus, aural fullness may be acute, progressive, fluctuating or recurrent
6 The main complaints can be vestibular symptoms without hearing impairment

---

<b>D Differential diagnosis</b>
Inner ear diseases with known causes, such as viral infection, genetic, vestibular schwannoma, etc.

---

<b>E Diagnosis</b>
Probable PLF: Only symptoms listed in A
Definite PLF: Symptoms and laboratory findings listed in B

---