



FACULDADE DE
MEDICINA
LISBOA

TRABALHO FINAL

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA

Clínica Universitária de Otorrinolaringologia

Surdez súbita associada ao mergulho

Tiago Manuel Escórcio Pereira

MAIO'2017



FACULDADE DE
MEDICINA
LISBOA

TRABALHO FINAL

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA

Clínica Universitária de Otorrinolaringologia

Surdez súbita associada ao mergulho

Tiago Manuel Escórcio Pereira

Orientado por:

Dr. Marco António Cabrita Simão

MAIO'2017

Resumo

A audição é a capacidade de perceber o som. Todos os dias estamos expostos a milhares de sons distintos, facilitando e catapultando a nossa envolvimento no meio, a aprendizagem, a socialização, o trabalho e a comunicação. É um importante elo de ligação ao mundo exterior, e enriquece-nos multiplamente. Dificilmente nos imaginamos sem esta capacidade mas nem todos podem experienciá-la na sua plenitude.

A surdez é uma deficiência que afeta a personalidade do indivíduo, incapacitando-o de variadas formas. Este déficit, parcial ou total, pode ser congénito ou adquirido, apresentando múltiplas etiologias que são divididas em três tipos: Surdez de Condução, Surdez Neurosensorial e Surdez Mista.

O ouvido, dadas as suas características anatomo-fisiológicas, aliado às condições adversas que se verificam no mergulho, é um órgão muitas vezes lesado nesta prática. Será abordada a Surdez Súbita no mergulho e as suas associações aos diversos distúrbios otológicos que deste advêm.

Abstract

Hearing is the ability to perceive sound. Everyday we are exposed to thousands of different sounds, making it easier for us to integrate into the surrounding environment, learn, socialize, work and communicate. It is an important link to the outside world and enriches us in various ways. We can hardly imagine ourselves without this capacity but not all of us can experience it in its fullness.

Deafness affects one's personality, incapacitating them in many ways. This partial or total deficit can be congenital or acquired, presenting multiple etiologies divided into three types: Conductive, Sensorineural or Mixed Hearing Loss.

The ear, given its anatomo-physiological characteristics, coupled with the adverse conditions in diving, is often injured in this practice. Sudden Hearing Loss in diving and its associations with the various otological disturbances arising from it will be discussed.

Palavras-chave: Surdez súbita; perda auditiva; mergulho; mergulhador; subaquático

Key words: Sudden hearing loss; deafness, diving; diver; underwater

O trabalho final exprime a opinião do autor e não da FML.

Índice

Introdução.....	5
A audição.....	6
Audição em meio aquático	7
Surdez súbita	7
Surdez súbita de condução	8
Surdez súbita neurossensorial	8
Exposições dos mergulhadores.....	10
Pressão	10
Exposição sonora.....	10
Baixas temperaturas	11
Infeções	12
Frac visibilidade e equipamento inadequado	12
Surdez súbita no mergulho	13
Exostoses.....	13
Barotrauma do ouvido médio	14
Barotrauma do ouvido interno	16
Síndrome descompressional do ouvido interno	18
Prevenção de lesões no ouvido associadas ao mergulho	19
Equalização.....	19
Fitness to Dive – Aptidão para o mergulho.....	20
Aptidão para o mergulho em ORL.....	21
Ruído	22
Conclusão	24
Agradecimentos	25
Bibliografia	26

Introdução

Os oceanos cobrem 70% da superfície terrestre e desde cedo que o Homem procurou o acesso ao fundo do mar, quer na busca de pessoas ou objetos, para obter recursos naturais, ou simplesmente por curiosidade. Esta curiosidade não cessou, e hoje em dia o mergulho é uma atividade em contínuo crescendo a nível mundial¹. Outrora centrado em zonas costeiras, a sua popularidade tem vindo a alargar as áreas de prática, nomeadamente para lagos, rios e piscinas², pelo que hoje em dia os distúrbios associados ao mergulho encontram-se em praticamente todos os países. Estima-se que mais de 15 milhões de pessoas pratiquem mergulho recreativo regularmente e que anualmente se façam mais de 250 milhões de mergulhos³. Adicionalmente, existem mergulhadores profissionais, nos mais variados campos como sejam a pesca, indústria petrolífera e de construção, militares, entre outros, que quase diariamente enfrentam os oceanos e todo os riscos associados.

A prática do mergulho, de forma assídua ou esporádica, expõe os mergulhadores a perigos físicos, químicos, biológicos e psicológicos. Está associada a uma série de complicações e lesões muito específicas, sendo as mais comuns as relacionadas com a diferença de pressão atmosférica verificadas no meio aquático⁴. Deste modo, verifica-se uma constância de stress físico aplicado aos ouvidos⁵. Mesmo seguindo à risca as normas de segurança e os protocolos estabelecidos, é impossível anular os riscos associados a esta atividade. Este pode ser dividido em três tipos: 1) o mergulho livre (em apneia), sem recorrer a equipamento de respiração subaquática; 2) o mergulho autónomo (SCUBA diving), em que o mergulhador equipa-se e transporta consigo todo o material necessário à prática e 3) o mergulho dependente, em que o ar é fornecido através da superfície.

A popularidade e contínua adesão ao mergulho aumentou igualmente a procura dos profissionais de saúde, quer anteriormente à prática, para saber se está apto a mergulhar, quer posteriormente, para solucionar as lesões que deste advenham. Os problemas de ouvido são os mais comuns no mergulho, sendo que um estudo feito em 650 mergulhadores mostrou que 64,6% de todos os distúrbios ORL advindos do mergulho são relacionados com o ouvido⁶. Assim, o conhecimento dos vários distúrbios otológicos associados a esta prática é de vital importância para se compreender as causas, prevenções e tratamentos da Surdez Súbita associada ao mergulho.

A audição

A audição é a capacidade de perceber o som. No ser humano, o ouvido responde a frequências na gama de 20Hz a 20kHz, tendo um alcance dinâmico de cerca de 140dB⁷.

O ouvido divide-se em três regiões: o externo, o médio e o interno.

O ouvido externo é formado pelo pavilhão da orelha e pelo canal auditivo externo, que foca o som e o conduz até a membrana timpânica.⁸

O ouvido médio é uma cavidade repleta de ar, separado do ouvido externo pela membrana timpânica. A condução das vibrações sonoras dá-se pelos ossículos (martelo, bigorna e estribo), vibrando em sincronia e levando-as de um meio de menor impedância (ar) para um de maior impedância (líquido). O estribo assenta sobre uma outra membrana, a janela oval, comunicando assim com o ouvido interno. A comunicação com a faringe faz-se através da trompa de Eustáquio.⁸

O ouvido interno (ou labirinto) corresponde ao labirinto membranoso, que contém a endolinfa, e o labirinto ósseo (ou cóclea), que contém a perilinfa. É na cóclea, um tubo estreito repleto de líquido enrolado em espiral que se encontra o órgão de Corti, responsável pela sensação de audição. Aqui, as células ciliadas vibram de acordo com a frequência do som, e a energia mecânica é convertida em sinal elétrico, posteriormente transmitido ao cérebro através do nervo auditivo.⁸

A condução do som por via aérea depende do ouvido externo e do ouvido médio, culminando no ouvido interno. O outro mecanismo de audição é a condução óssea do som, através dos ossos do crânio. A contribuição deste mecanismo de audição na condução por via aérea é mínima, mas mais preponderante em baixas e altas frequências⁹.

Imagem 1 – Esquema do ouvido externo, médio e interno¹⁰.



Audição em meio aquático

A audição subaquática difere da audição no ar na medida em que as propriedades acústicas da água e do ar são diferentes. Ao contrário da propagação do som no ar, onde grande parte da energia sonora incidente é refletida pelo crânio¹¹, o som na água pode propagar-se relativamente livremente pelo corpo humano, uma vez que as propriedades acústicas dos tecidos humanos e da água são semelhantes⁹. À medida que o som se propaga pelos ossos cranianos, este excita os ossículos ou a cóclea, possibilitando a percepção do som independentemente do canal auditivo externo e da membrana timpânica¹². Esta condução óssea foi considerada, durante muitos anos, a única forma de se perceber o som em meio aquático¹³.

No entanto, evidências de que a condução timpânica estaria igualmente implicada na audição em meio aquático surgiram após estudos em que se investigou a capacidade dos mergulhadores localizarem a origem do som¹⁴. No ar, a localização da origem de um som dá-se graças ao atraso na recepção dos sons a cada ouvido, implicando a condução timpânica do mesmo. Outros estudos¹⁵ mostraram que tal é igualmente possível em meio aquático pelo que se demonstrou que a condução timpânica contribui também para a audição na água¹⁶. Assim, a teoria dupla timpânica/condução óssea é hoje em dia a mais aceita.

Surdez súbita

A surdez súbita é um sintoma alarmante e potencialmente uma emergência médica, dependendo da causa. Caracteriza-se por uma perda auditiva que ocorre em minutos, ou que se desenvolve rapidamente ao longo de três dias ou menos. Estas perdas são objetivadas através de uma audiometria de tons puros. Apresenta variadas causas, desde as mais simples e reversíveis às mais complexas e permanentes, e as suas sequelas podem ser devastadoras¹⁷. Esta perda auditiva pode ser dividida em dois tipos: a surdez súbita de condução (SSC) ou a surdez súbita neurossensorial (SNSS).

A história e a anamnese devem ser cuidadosamente colhidas e as investigações as mais apropriadas de modo a discernir entre os dois tipos de surdez. Um paciente que se apresente com perda súbita de audição deve ser prontamente avaliado de forma a dar início ao tratamento pois o tempo aqui é um fator chave. Acufenos e vertigens podem ocorrer quer na SSC quanto na SNSS pelo que não são específicos.

Surdez súbita de condução

A SSC é o tipo mais comum de surdez súbita¹⁷. Verifica-se uma ineficácia ou incapacidade da condução das ondas sonoras no ouvido externo, membrana timpânica ou no ouvido médio. Surge com etiologias mais conhecidas e é muitas vezes facilmente corrigível¹⁸.

As causas mais comuns de SSC incluem a impactação de cerúmen, otite média aguda ou otite externa aguda, traumas no canal auditivo ou ainda traumas na membrana timpânica ou nos ossículos. No primeiro caso, a remoção resolve o problema e nos traumas recorre-se à cirurgia.¹⁷

Surdez súbita neurossensorial

A surdez súbita neurossensorial (SNSS) é definida em termos técnicos, por critérios audiométricos, como uma perda auditiva superior a 30decibéis (dB) em pelo menos três frequências consecutivas¹⁹. Pelo facto de não ser comum existir um registo audiométrico pré-morbilidade, esta perda auditiva é estabelecida em relação ao ouvido contra-lateral, nos casos de perda de audição unilateral²⁰. A SNSS é caracterizada pela diminuição de audição de instalação súbita, num intervalo de tempo de 72h, em um ou ambos os ouvidos. Esta apresentação repentina é descrita pelos doentes como um episódio assustador, em que relatam sensação de ouvido bloqueado e que é acompanhada, por vezes, de acufenos e tonturas.¹⁷

Descrita pela primeira vez em 1944 por DeKleyn, mantém-se a sua etiologia, ainda nos dias de hoje, por esclarecer. Apesar de investigação adequada, a surdez súbita neurossensorial idiopática (SNSI) representa 85%-90%²¹ de todos os casos de SNSS, se bem que muitos destes possam ter etiologia vascular, viral, traumática ou múltipla. Tem uma incidência estimada de 5-20 por 100.000²⁰ pessoas a nível mundial, sem distribuição óbvia entre géneros e com o pico entre os 50-60 anos²². É unilateral na maioria dos casos, sendo que o envolvimento bilateral está presente em cerca de 2% dos casos²⁰.

Em 32-65% dos casos verifica-se recuperação espontânea da SNSS, o que contribui para a menor procura de um profissional de saúde e por conseguinte uma subestimação da sua incidência²⁰. O prognóstico é mais sombrio para pacientes com grau inicial de perda auditiva mais avançado; com idade superior a 60 anos; tempo para início da terapêutica superior a 7 dias e presença de vertigem²³.

Tabela 1 – Etiologia da Surdez Súbita¹⁷.

Table 1. Aetiology of SOHL
Outer ear (conductive hearing loss)
Foreign body
Wax
Otitis externa
Other ear canal pathology (eg. exostoses)
Trauma (syringing)
Middle ear (conductive hearing loss)
Otitis media with effusion
Haemotympanum
Ossicular chain discontinuity
Trauma
Barotrauma
Iatrogenic (post-operative)
Tympanic membrane perforation
Cholesteatoma
Inner ear (sensorineural hearing loss)
Idiopathic
Infective: viral/bacterial (human immunodeficiency virus [HIV], cytomegalovirus [CMV], herpes simplex [HSV], mumps, rubella, syphilis)
Noise induced
Trauma (temporal bone fracture)
Ototoxic drugs
Autoimmune (systemic lupus erythematosus [SLE], granulomatosis with polyangiitis [formerly Wegener], Cogan syndrome, relapsing polychondritis, ulcerative colitis)
Tumour (vestibular schwannoma, leukaemia, myeloma)
Vascular (cerebrovascular disease, sickle cell disease)
Perilymphatic fistula
Barotrauma
Neurological (multiple sclerosis, cerebrovascular accident, migraine)
Other (diabetes mellitus, sarcoidosis)
Non-organic hearing loss

Exposições dos mergulhadores

Os mergulhadores estão expostos a uma série de fatores de risco que podem causar complicações e lesões muito específicas, sobretudo no ouvido. Pode pensar-se que a pressão sentida nas profundezas, causadora de barotrauma, seja a causa comum a todos eles. Contudo, as infecções, os ruídos sub-aquáticos, a fraca visibilidade, o uso de equipamento inadequado e as baixas temperaturas²⁴ entram também na equação.

Pressão

No mundo subaquático, a pressão aumenta com a profundidade, na razão de 1 ATM para cada 10 metros. Este é o primeiro e mais importante fator a ser ultrapassado aquando do mergulho, e ao contrário dos mamíferos marinhos, o ser humano não dispõe dos mecanismos adaptativos para lidar com este aumento de pressão²⁵.

A água possui duas importantes propriedades: 1) Apresenta muito maior densidade que o ar, o que significa que tem mais massa por unidade de volume, pesando mais por unidade de volume também. Assim, à medida que se avança em profundidade, sente-se a pressão nos ouvidos pela força exercida pela água acima; e 2) Não é compressível, o que significa que água sob grande pressão apresenta o mesmo volume que água sob menos pressão²⁶. Assim, está explicado o porquê da pressão ser diretamente proporcional a uma profundidade específica.

De acordo com o princípio de Pascal, a pressão exercida em qualquer ponto num fluido não compressível confinado num espaço restrito transmite-se de igual forma a todos os pontos deste²⁷. Assim, e uma vez que o corpo humano é constituído sobretudo por água, a pressão exercida pela água do mar transmite-se de igual forma, não se verificando lesões diretas nos tecidos. No entanto, por existirem regiões no corpo repletas de ar, a diferença de pressão entre estas e os tecidos envolventes pode dar origem a uma lesão – barotrauma.

Exposição sonora

A exposição sonora subaquática advém de diversas fontes. As marés representam uma pequena contribuição, sendo também responsáveis por algumas variações de pressão. A atividade sísmica e da turbulência enquadram-se também nas pequenas fontes

emissoras de ruído. O tráfego de barcos, por outro lado, já representa maior emissão sonora, sendo que o ruído destes pode fazer sentir-se a mais de 1500km de distância. Os níveis de ruído dependerão, claro está, da volumetria da embarcação, das áreas dos oceanos em que operam e do tipo de atividade dos mesmos. Outro fator dominante é o estado dos mares (ou mais importante ainda, da velocidade do vento)²⁸.

Aliado a todas estas fontes de emissão sonora, temos ainda os ruídos dos próprios mergulhadores (nas comunicações), dos equipamentos de mergulho, e do manuseamento de outros equipamentos utilizados. Um estudo levado a cabo em mergulhadores da indústria petrolífera²⁹ demonstrou que os principais níveis de ruído advinham do respirador e das comunicações, sendo que um outro objetivou ruídos na ordem dos 112dB³⁰. A utilização de jatos de água de alta pressão, brocas pneumáticas e hidráulicas, chaves e martelos, proximidade aos propulsores e hélices das embarcações e explosões são as mais associadas à perda de audição induzida pelo ruído³¹.

Na ausência de barotrauma do ouvido interno ou doença da descompressão do ouvido interno, o ruído parece ser a causa mais importante de perda auditiva em mergulhadores. Esta constatação é de grande importância, uma vez que os ruídos, em certa medida, podem ser evitados³¹. A maioria dos estudos de perda auditiva associada ao mergulho revelam uma associação com a exposição ao ruído ocupacional, pelo que não é possível diferenciar entre os efeitos do trauma acústico, os aumentos de pressão ou as pressões parciais dos gases respiratórios³².

É sabido que a exposição a níveis consideráveis de ruído tem efeitos nefastos na audição humana. Apesar de os níveis de ruído a que um ser humano possa ser sujeito estarem bem definidos no ar, a sensibilidade ao ruído é diferente em condições de altas pressões e de mistura de gases²⁹. A audição em meio aquático difere na medida em que as propriedades da água e do ar são distintas, sendo que na água o som propaga-se livremente pelo corpo humano⁹. Existem ainda poucas pesquisas direcionadas aos níveis de ruído nas circunstâncias do mergulho.

Baixas temperaturas

Os mergulhadores são quase sempre sujeitos a temperaturas baixas. Para além das alterações fisiológicas que daí advêm, ficam mais predispostos a barotrauma do ouvido externo e exostoses, que raramente causa hiopacúsia². O mecanismo para a formação

destas não está muito bem clarificado, podendo dever-se à pouca espessura da pele do canal auditivo, ficando o periósteo mais vulnerável a lesões isquêmicas pelo frio³³, originando hiperémia reativa, proliferação osteoblástica e formação de exostoses³⁴.

Analisando a ocorrência de exostoses de acordo com as latitudes, um estudo demonstrou que para latitudes entre 0-30° S e N, a prevalência das mesmas é muito baixa (<3%), sendo muito superior em latitudes entre os 30-45° S e N, onde se verificam temperaturas mais baixas³⁵. Outros estudos epidemiológicos em comunidades na Nova Zelândia, Austrália, Japão e EUA identificaram prevalência mais elevada de exostoses nas populações expostas a águas frias³⁶. Os dados clínicos e experimentais explorados sustentam fortemente a hipótese causal entre a formação de exostoses auditivas e o mergulho em águas frias.

Infeções

O canal auditivo providencia o ambiente excelente à propagação de bactérias e fungos: é quente, escuro e húmido. A exposição frequente ao ambiente aquático, para além de aprimorar estas condições, leva à alcalinização do canal, criando-se condições para o crescimento bacteriano³⁴. O risco de otite externa é cerca de cinco vezes superior em mergulhadores, em comparação a não mergulhadores, com consequências preocupantes tais como a surdez de condução³³.

Fraca visibilidade e equipamento inadequado

A fraca visibilidade é um problema que os mergulhadores profissionais enfrentam constantemente. Muitas vezes, quer na busca e salvamento, trabalhos de engenharia ou desastres naturais, os trabalhos que não podem esperar não decorrem nas melhores condições³⁷. Já o uso de equipamento inadequado, quer por falta de manutenção ou por negligência, verifica-se ocasionalmente nos mergulhadores recreativos.

Estas circunstâncias são muitas vezes causadoras de acidentes subaquáticos. Para além das ocorrências mais graves, como o afogamento ou incapacidades permanentes, temos também as lesões otológicas, sobretudo por traumas ou rápidas ascensões precipitadas pelo pânico. Um estudo em mergulhadores associou a fraca visibilidade (<4,5 metros) a um aumento da prevalência de barotrauma do ouvido médio severo (40%) em comparação com boas condições de visibilidade (19%)³⁸.

Surdez súbita no mergulho

O ouvido, dadas as suas características anatomo-fisiológicas, é um órgão muitas vezes lesado na prática do mergulho, com vários estudos a associar a perda auditiva a esta prática³¹. Na água, a exposição ao ruído e a grandes variações de pressão é constante, dando origem às lesões “típicas” dos mergulhadores, com 80% destes a referir sintomatologia ORL⁵ e 14,5%³⁹ com episódios de surdez. Qualquer tipo de mergulho pode afetar qualquer parte do ouvido³⁰, pelo que uma abordagem metódica para a avaliação da surdez súbita ajuda a determinar sua causa¹⁷.

Saber que tipos de distúrbios otológicos ocorrem no mergulho e qual a prevalência de cada um deles ajuda-nos a correlacioná-los com o tipo de surdez súbita subjacente. O principal problema nestes estudos é controlar o efeito do envelhecimento e determinar se a variação dos limiares medidos é devido ao mergulho em si, a lesões agudas ou ao ruído. Dos diversos estudos existentes, os resultados divergem. Se nuns, a perda auditiva descrita é severa⁴⁰, noutros as diferenças demonstradas entre mergulhadores e grupos de controlo foram mais subtis^{41,42}. Há ainda estudos que não demonstram quaisquer diferenças entre mergulhadores e a população em geral^{32,43}.

Numa clínica especializada em mergulho, as distribuições de distúrbios otológicos foram as seguintes: 8% com distúrbios no ouvido externo; 46% no ouvido médio e 18% no ouvido interno; 8% com síndrome da descompressão e 3% com vários sintomas⁴⁴. Em seguida são abordados os principais distúrbios otológicos no mergulho, responsáveis por episódios de surdez súbita.

Exostoses

As exostoses do canal auditivo externo são formações tumorais benignas, geralmente bilaterais. A exposição prolongada a atividades em águas frias não só aumenta o risco de desenvolvimento desta condição mas também a gravidade da mesma. Os sintomas incluem retenção de cerúmen, otorreia secundária a otite externa, perda de audição e dor de ouvido^{36,45}.

A perda de audição é por condução. O facto de as exostoses estenosarem o canal auditivo, aliado ao facto de a água promover a impactação de cerúmen, pode levar a uma surdez súbita de condução. As estratégias para o tratamento passam por medidas

conservadoras, como a higiene auricular e antibioterapia. Quando estas medidas se revelam insuficientes, as abordagens cirúrgicas são indicadas³⁶ mas têm sido muito debatidas, uma vez que com o uso das brocas de alta velocidade pode advir surdez súbita neurossensorial devido à transmissão direta do som à cóclea⁴⁶. Um estudo demonstrou que a utilização de uma broca de corte de 2mm poderia gerar um volume de ruído de 128dB⁴⁷, e num outro estudo houve uma constatação de que 37,5% dos pacientes tiveram um declínio auditivo pós-operatório entre a faixa dos 10-15kHz⁴⁸. O uso de osteótomo pode prevenir a SSNS mas o risco de lesão do nervo facial, da membrana timpânica e da articulação temporo-mandibular também levanta preocupações⁴⁹.

Por norma os mergulhadores com exostoses apenas decidem recorrer a um profissional de saúde aquando das complicações auditivas. Num estudo levado a cabo em 59, todos eles mostravam surdez de condução⁵⁰.

Barotrauma ouvido externo

O barotrauma do ouvido externo é raro, ocorrendo sobretudo com o uso de tampões ou de capuzes que não permitam a circulação da água e aprisionem o ar, aquando da descida⁵¹. Podem também acontecer na presença de cerúmen, exostoses ou corpos estranhos, que obstruam o canal auditivo externo, causando congestão dos vasos superficiais, a sua rutura ou a perfuração da membrana timpânica⁴³⁰. O principal sintoma é a dor e pode ocorrer surdez súbita.

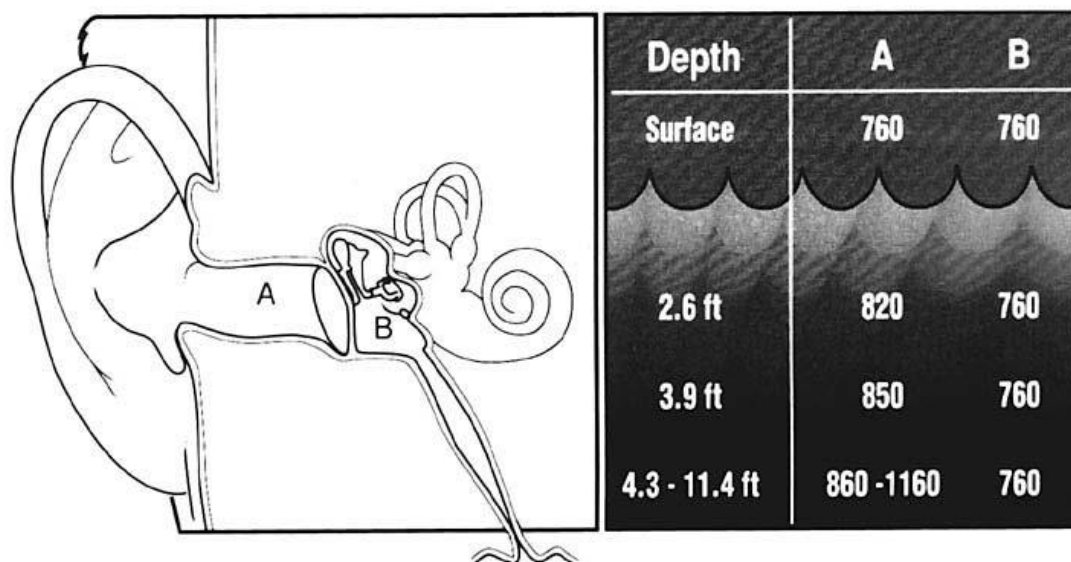
O tratamento passa pela remoção do agente causador do BOE, antibioterapia, analgesia e esteroides tópicos. O regresso ao mergulho é possível após resolução das lesões.

Barotrauma do ouvido médio

O ouvido médio, cavidade repleta de ar, é particularmente sensível às alterações de pressão, vendo o seu volume diminuído à medida que a pressão aumenta. As manobras de equalização permitem a passagem de ar para esta estrutura, mantendo assim as pressões igualadas em ambos os lados. No entanto, a ausência de equalização, quer por infeção do trato respiratório superior, alergias ou anatomia anormal⁵² pode dar origem ao barotrauma assim que haja um diferencial de pressões entre 60-100mmHg entre o ouvido médio e o externo. A partir de uma diferença de 100mmHg⁵³, pode ocorrer rutura da

membrana timpânica. Dor, náuseas, vômitos e vertigens³⁸ são sintomas acompanhantes da surdez súbita de condução causada por esta lesão.

Fig 1 – Mecanismo de barotrauma do ouvido médio³⁸.



À superfície, as pressões no canal auditivo externo (A) e médio (B) são iguais a 760mmHg. À medida que o mergulhador alcança maiores profundidades, a pressão no ouvido externo aumenta. Se o mergulhador não igualar as pressões (p.e., através da manobra de Valsalva), a diferença de pressões de cada lado da membrana timpânica pode atingir os 90mmHg, a uma profundidade de 1,2metros (3,9 ft).

Esta é a lesão mais frequente nos mergulhadores, sendo que um estudo numa população de 103 mergulhadores verificou uma prevalência de 68%, 40% correspondendo a barotrauma moderado (classe I e II) do ouvido médio e 28% a barotrauma severo (classe III e IV) do ouvido médio³⁸. Os sintomas atrás descritos ocorrem quase sempre aquando da descida, sendo muito menos comum na fase final do mergulho (ascendência). O mesmo estudo mostrou que a surdez súbita (de condução) se verificou em 6 dos 27 (22%) mergulhadores com barotrauma severo do ouvido médio (6% do total). O grau de gravidade varia consoante o que se observa na otoscopia, de acordo com a tabela seguinte:

Tabela 2 – Barotrauma do ouvido médio (Classificação de Wallace Teed)⁵³

Classe	Descrição
0	Membrana timpânica normal
1	Hemorragia peri-maleolar
2	Eritema da membrana timpânica
3	Bolhas ou nível aéreo visível
4	Hemotímpano
5	Perfuração da membrana timpânica

Após um episódio destes, é fundamental evitar a entrada de água no ouvido e ser seguido por um especialista em ORL até resolução do quadro. A permeabilidade da Trompa de Eustáquio deve também ser constatada à otoscopia antes do regresso aos mergulhos⁵⁴.

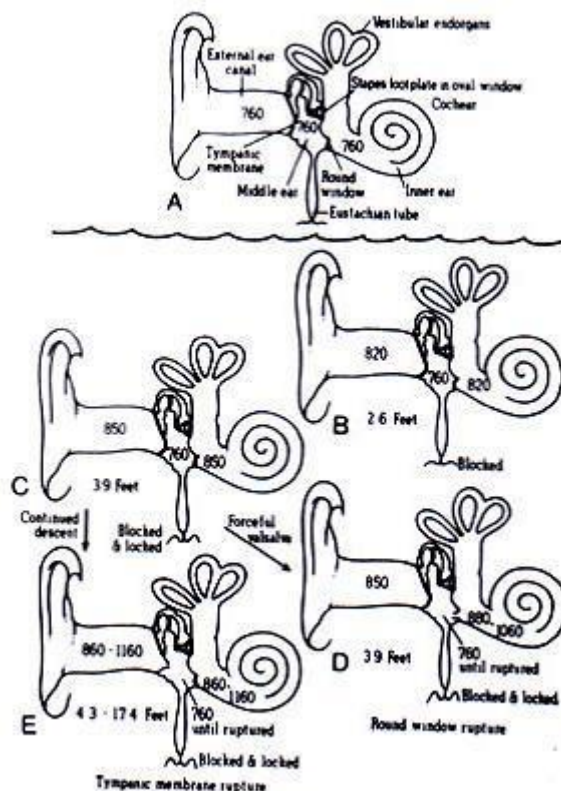
A maioria das perfurações do tímpano resolve-se *per se* em 10-14 dias⁵³, desde que a otorreia esteja controlada e a função Eustáquia normalizada⁵¹. Caso contrário, o doente é sujeito a uma cirurgia reconstrutiva do tímpano: timpanoplastia ou miringoplastia. O tratamento faz-se com descongestionantes e corticoides nasais, analgésicos e anti-histamínicos³⁸ e ainda antibiótico tópico se se verificar otorreia purulenta⁵¹.

Barotrauma do ouvido interno

O barotrauma do ouvido interno constitui um espectro de patologias relacionadas com a pressão no ouvido interno, comumente com antecedentes de barotrauma do ouvido médio^{51,55}. Inclui hemorragia do ouvido interno, a rutura da membrana labiríntica e fístula perilinfática, sendo que estas lesões podem ocorrer simultaneamente ou em separado⁵⁶. A fístula pode ser do tipo explosivo (durante a descida), em que uma equalização ineficaz torna a pressão existente no ouvido médio inferior à do líquido intralabiríntico e uma Valsalva forçada acentua o diferencial de pressões levando à rutura da janela redonda, ou mais raramente da oval. A diferença de pressões necessária situa-se entre os 120-300mmHg. O tipo implosivo ocorre também durante a descida, mas a tentativa de equalização leva à abertura súbita da trompa de Eustáquio, entrando o ar abruptamente no ouvido médio, podendo levar à rutura das janelas. A rutura da membrana labiríntica assemelha-se ao processo explosivo, porém verifica-se uma diferença de pressões entre os líquidos perilinfáticos e endolinfáticos, podendo causar rutura da membrana de

Rassner^{2,53,56}. O tratamento de forma conservadora é a primeira linha de terapia. É recomendado repouso no leito com elevação da cabeceira a 30° e a evicção de atividades que possam aumentar a pressão do LCR pelo facto de poder agravar o vazamento do líquido perilinfático⁵¹. A cirurgia exploratória está indicada em casos de sintomas vestibulares severos, perda auditiva ou ausência de melhoria decorridos 24h⁵¹ a dez dias⁵⁵.

Fig 2 – Fisiopatologia do barotrauma do ouvido interno (A – C – D)²



Diferenças de pressões de 120-300mmHg entre o ouvido médio e o interno pode dar origem à rutura da janela redonda ou oval.

Esta patologia é menos frequente que a do ouvido médio. No entanto, é a forma mais grave de barotrauma pelo seu potencial de dano permanente ao sistema vestibulo-coclear. A gravidade pode variar de perda auditiva neurosensorial leve a SSNS unilateral e vertigem. Os principais sintomas são os acufenos de elevada intensidade, vertigem e a perda de audição, sendo que a irreversibilidade desta depende do grau de lesão do órgão de Corti⁵⁷. Por norma, os mergulhadores referem ter sentido dificuldade na equalização, forçando essa manobra. Contrariamente ao barotraumatismo do ouvido médio, aqui os sintomas podem não ocorrer imediatamente após a lesão, uma vez que no caso de

ocorrência de fístula, somente após a perda de alguma quantidade de perilinfa é que se notam os sintomas⁵⁶. A subsequente surdez súbita neurossensorial é verificada através de exames audiométricos. Num estudo em 19 mergulhadores com barotrauma do ouvido interno, 17% revelaram surdez súbita neurossensorial⁵⁸.

Síndrome descompressional do ouvido interno

A doença da descompressão do ouvido interno é uma patologia pouco frequente e ainda pouco esclarecida em mergulhadores de ar comprimido. Ocorre quando se verifica uma queda brusca da pressão para um nível inferior ao necessário para manter os gases em solução, havendo formação e expansão de bolhas de gás inerte na micro vasculatura e fluidos do ouvido aquando da fase final do mergulho (ascensão à superfície)⁵⁸. O consequente bloqueio da microcirculação venosa da estria vascular, do ligamento espiral e dos canais semicirculares pode resultar em hemorragias e exsudação proteica na cóclea e labirintite fibro-óssea nos espaços do canal semicircular⁵⁹. A formação de bolhas extravasculares nos fluidos do ouvido pode causar danos adicionais como resultado da descontinuidade vascular e das membranas⁶⁰.

É um distúrbio otológico pouco comum, com estudos em mergulhadores experientes a indicarem uma prevalência de 4.4%⁶¹. Como sintomas mais frequentes temos a vertigem, em 75% dos casos, podendo ser o único sintoma em metade das situações. Os acufenos e perda auditiva ocorrem em 15% dos mergulhadores com síndrome descompressional do ouvido interno. Dada a anatomia vascular (hipoplasia da artéria vertebral direita e orientação anatómica do tronco arterial braquiocefálico), o lado direito é mais afetado (em 80% dos casos)⁵⁸⁶²⁶³.

Um estudo levado a cabo em 24 mergulhadores, mostrou que dos mergulhadores que tinham sofrido síndrome descompressional do ouvido interno, 25% revelaram surdez súbita neurossensorial⁵⁸. Um outro, em 34 mergulhadores, mostrou que 40% sofreram SSNS⁶³. A doença da descompressão acarreta um alto risco de danos ao ouvido interno, apesar dos avanços na terapia de descompressão com oxigénio hiperbárico.

Prevenção de lesões no ouvido associadas ao mergulho

As lesões nos ouvidos são o tipo de lesão mais frequente nos mergulhadores. Estas lesões podem, porém, ser evitadas quando se adota certas medidas preventivas, como sejam a equalização apropriada dos ouvidos, o evitar o mergulho quando se está constipado ou com outros congestionamentos e ainda abster-se de qualquer tipo de mergulho quando se é incapaz de equalizar. É de extrema importância saber se se encontra apto ou não para mergulho, devendo para tal recorrer a um ORL ou outro profissional de saúde para se poder avaliar as condições e condicionantes individuais.

É também crucial respeitar as tabelas de mergulho, usadas para se determinar por quanto tempo é seguro permanecer submerso a uma certa profundidade, tanto para o mergulho inicial como para os seguintes. Assim, estas tabelas definem os tempos limite para que se possa fazer um mergulho sem necessidade de paragens de descompressão⁶⁴.

Equalização

Enuncia a Lei de Boyle que a pressão absoluta e o volume de uma certa quantidade de gás confinado são inversamente proporcionais quando temos uma temperatura constante, num sistema fechado². Ora, segundo este princípio, e à medida que o mergulhador vai atingindo maiores profundidades, a pressão vai aumentando, e por conseguinte verifica-se uma redução de volume de ar contido no ouvido médio.

Este aumento de pressão é transmitido através dos fluídos corporais: a pressão no sistema circulatório e no LCR aumentam proporcionalmente à pressão ambiente, resultando num aumento de pressão da janela redonda. Adicionalmente, a membrana timpânica é forçada para dentro⁶⁵. Estas variações pressão-volume causam desconforto e dor, e propiciam a ocorrência de barotrauma. Para compensar este abaulamento da membrana timpânica, equaliza-se ativamente as pressões entre o ouvido médio e o canal auditivo externo, forçando o ar para o ouvido médio através da trompa de Eustáquio. Tal pode ser conseguido através de³⁸:

- Abertura Voluntária das trompas – contraindo os músculos do palato e projetando a mandíbula para a frente
- Manobra de Toynbee – apertando o nariz e engolindo
- Manobra de Valsalva – apertando o nariz e tentando exalar o ar contra os lábios cerrados e o nariz tapado

- Técnica de Lowry – apertando o nariz, tentando exalar o ar contra os lábios cerrados e o nariz tapado e engolindo (combinação de Valsalva e Toynbee)
- Técnica de Edmonds – apertando o nariz, tentando exalar o ar contra os lábios cerrados e o nariz tapado e projetando a mandíbula para a frente

Todas estas técnicas e manobras permitem a abertura das trompas de Eustáquio e a passagem do ar para o ouvido médio.

A Manobra de Valsalva, a mais comumente ensinada e utilizada pelos mergulhadores, apresenta no entanto duas desvantagens, a saber: 1) não ativa os músculos que abrem as trompas de Eustáquio, pelo que poderá ser inútil se as trompas estiverem já bloqueadas pelas diferenças de pressão e 2) exalar contra um nariz obstruído aumenta ainda mais a pressão dos fluídos corporais, incluindo as do ouvido interno, podendo assim levar à rotura da membrana oval e redonda⁶⁶.

Note-se que a partir dos 0,80m de profundidade, caso o mergulhador não equalize as pressões no ouvido médio, a diferença será de cerca de 60mmHg entre este e o canal auditivo externo. Verifica-se assim um estreitamento progressivo das trompas sendo que a partir dos 1,20m de profundidade, a equalização torna-se impossível, e a partir dos 100mmHg de diferencial de pressões a perfuração timpânica é muito mais provável⁶⁷.

Fitness to Dive – Aptidão para o mergulho

A aptidão para mergulhar é a aptidão médica, mental e física de um indivíduo para que possa operar com segurança no ambiente aquático, fazendo uso dos equipamentos e procedimentos de mergulho. Consoante as circunstâncias, esta aptidão pode variar desde uma declaração assinada pelo mergulhador até um exame médico detalhado. Os requisitos para a aptidão para mergulho variam consoante o tipo de mergulho praticado, sendo que os padrões mais elevados são direcionados para os mergulhadores militares, e os menos exigentes para os mergulhadores recreativos². As características individuais que diminuem a capacidade médica, mental e física do indivíduo, tais como má função cardiopulmonar, má condição física e deficiências físicas, podem colocá-lo numa situação de incapacidade temporária ou permanente para mergulho.

Aptidão para o mergulho em ORL

A avaliação da aptidão para mergulhar representa a maioria das consultas em ORL relacionada com o mergulho. Com base nos exames de follow-up e com a experiência crescente no mergulho, mesmo pacientes com histórico de problemas ORL (timpanoplastias, implantes cocleares, mastoidectomia de canal, entre outros) podem ser considerados aptos para mergulhar³⁹.

Assim, deve-se ter em conta o seguinte⁶⁸:

- O indivíduo deve ser capaz de equalizar as pressões em ambos os ouvidos
- Deve obter-se confirmação visual da função Eustáquia
- O canal auditivo deve estar livre de obstrução ou de evidências de infecção. As exostoses não constituem uma contra-indicação desde que não obstruam por completo o canal
- A membrana timpânica deve estar intacta e não atrofica
- A função vestibular deve ser normal
- A audição do indivíduo deverá permitir a compreensão de uma conversa em tom normal
- Deve-se realizar um audiograma caso haja barotrauma do ouvido ou se o indivíduo for sujeito a níveis de ruído exagerados

Contra-indicações:

- Otite média crónica
- Perfuração atical ou marginal posterior
- Cirurgia do estribo, uma vez que o barotrauma pode projetar a prótese para o ouvido interno
- Aticotomia
- Doença de Meniere
- Deformidade do septo nasal que cause má função Eustáquia

Ruído

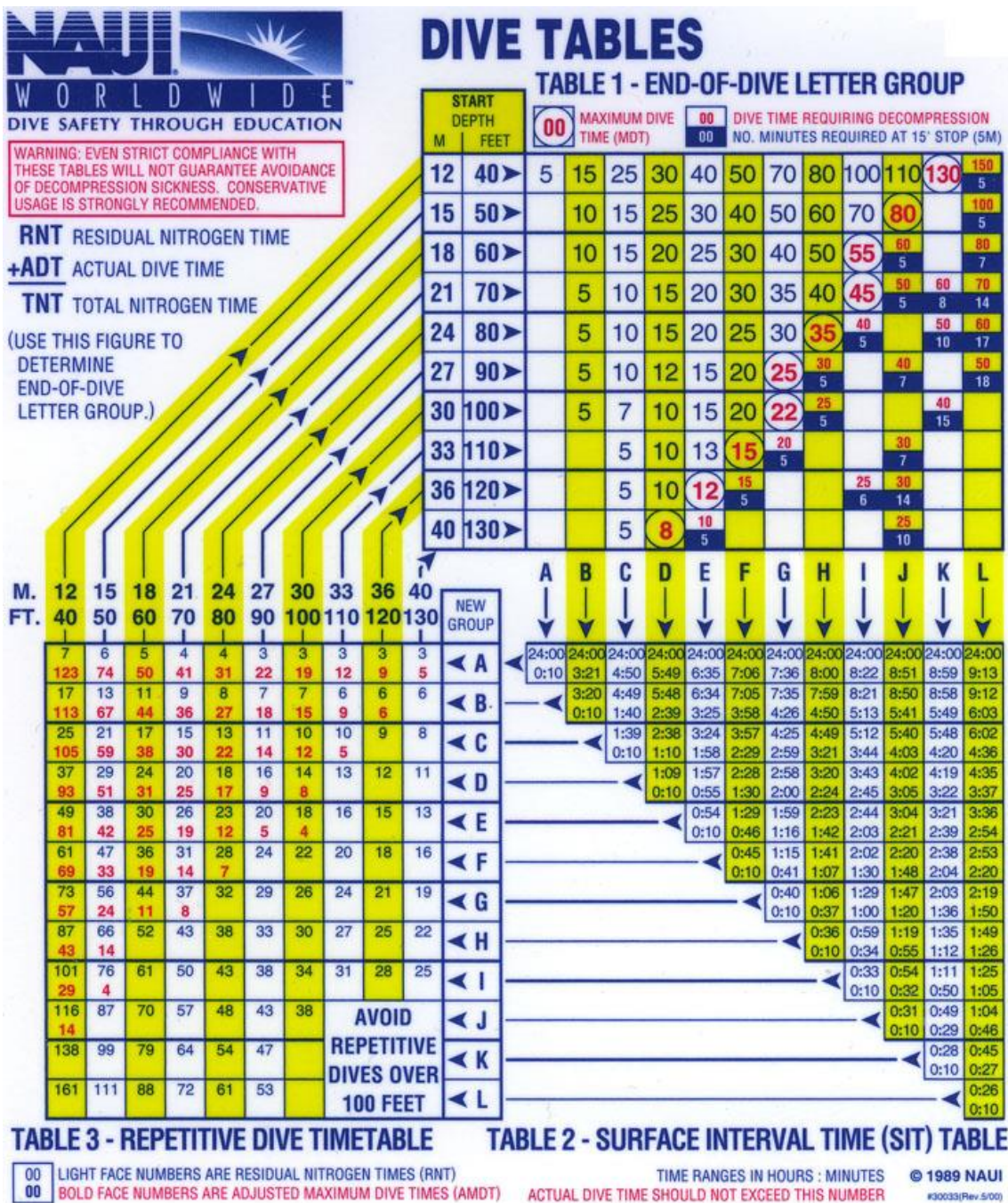
Existe legislação na europa para controlar ou restringir o nível de ruído a que os trabalhadores possam estar sujeitos durante o seu trabalho. Apesar de haver também medidas impostas no sentido de reduzir o ruído marinho⁶⁹, estas não são direcionadas para os mergulhadores, pelo que estão constantemente sujeitos a agressões auditivas, potenciadoras de surdez.

Uma das formas de reduzir a suscetibilidade ao ruído subaquático é utilizando capuzes de mergulho (como os de espuma de neopreno)⁷⁰. Assim, o fator de atenuação de ruído do capuz protege a audição em cerca de 5 a 15 dB⁹. O uso de tampões para os ouvidos, apesar de conferirem uma barreira acústica adicional com atenuações máximas de até 18dB para frequências de 250Hz e até 45dB para frequências mais altas³⁶, são contraindicados no mergulho, caso não sejam ventilados, pelo risco de barotrauma do ouvido externo. Devem ser usados apenas em desportos aquáticos de superfície.

Um outro fator de proteção é o “ouvido molhado” vs “ouvido seco”. Uma vez que a audição é mais sensível no ar do que na água, pressupõe-se que um determinado ruído seja mais prejudicial num ouvido seco do que num ouvido molhado¹⁴. Assim, o uso de um capacete fechado é mais prejudicial em termos auditivos em comparação ao uso de máscara. Por outro lado, o capacete oferece proteção física à cabeça e reduz o risco de desenvolvimento de infeção.

Dado que as principais fontes de ruído derivam do equipamento de mergulho e dos equipamentos utilizados no meio aquático, deve-se investir na substituição ou modificação dos mesmos de modo a reduzir a exposição sonora⁷¹. Também se pode recorrer a sistemas de redução ativos ou de anulação do ruído.

Anexo 1 – Tabela de Mergulho⁶⁴



Conclusão

O mergulho recreativo, comercial ou militar é praticado a nível mundial por milhões de pessoas e tem um crescimento anual estimado de cerca de um milhão de novos praticantes⁵¹. É importante que os profissionais de saúde tenham conhecimentos básicos das patologias associadas ao mergulho, nomeadamente as otológicas. Assim, as queixas auditivas dos mergulhadores, em específico de surdez súbita, devem ser imediatamente reconhecidas e iniciado prontamente o tratamento adequado das condições potencialmente perigosas e irreversíveis advindas do mergulho.

O principal problema enfrentado nos estudos direcionados à surdez no mergulho é controlar o efeito do envelhecimento na audição e determinar se as variações dos limiares medidos se deve ao mergulho em si, a lesões agudas ou ao ruído³¹. Os principais distúrbios causadores de surdez súbita de condução são as exostoses e o barotrauma do ouvido médio, enquanto que os principais distúrbios causadores de surdez súbita neurossensorial são o barotrauma do ouvido médio e interno e o síndrome da descompressão do ouvido interno. Os ruídos sub-aquáticos são também fator preponderante nas perdas auditivas. No entanto, a associação com a exposição ao ruído ocupacional, muitas vezes difícil de quantificar e objetivar, complicam a atribuição de “culpas” e a diferenciação entre os efeitos dos traumas acústicos aquáticos e ocupacionais.

Agradecimentos

A ti.

À família.

Aos amigos.

Ao Dr. Marco Simão.

Ao Prof. Doutor Óscar.

Bibliografia

1. Goplen FK. Effects of diving on hearing and balance Balanselaboratoriet. 2010;(December).
2. Bove AA. Diving medicine. *Am J Respir Crit Care Med*. 2014;189(12):1479-1486. doi:10.1164/rccm.201309-1662CI.
3. Azizi MH. Ear disorders in scuba divers. *Int J Occup Environ Med*. 2011;2(1):20-26.
4. Common Ear Injuries While Diving. DAN. http://www.diversalertnetwork.org/medical/articles/Common_Ear_Injuries_While_Diving. Published 2010.
5. Klingmann C, Plinkert PK. Hörminderungen bei Tauchern. *HNO*. 2005;53(12):1016-1019. doi:10.1007/s00106-005-1332-0.
6. N R. 1001 disorders of the ear, nose and sinuses in scuba divers. *Can J Appl Sport Sci*. 1985;10(2):99-103.
7. Haggard M. *Hearing: An Introduction to Psychological and Physiological Acoustics*. Vol 45.; 1982. doi:10.1136/jnnp.45.12.1175-b.
8. Rouvière H. *Anatomie Humaine.*; 2002.
9. Hse. Review of diver noise exposure. 2005. doi:10.3723/ut.29.021.
10. Ouvido externo, médio e interno. https://media.licdn.com/mpr/mpr/shrinknp_800_800/AAEAAQAAAAAAAAAd9AAAAM2OGM3OTc1LWY2ZTAtdNDdlMi1iNDY2LTNhZGRlZGZmYjBlMA.jpg.
11. Hill M. *Principles of Underwater Sound.*; 1983.
12. David Kastak and Ronald J. Schusterman. Changes in auditory sensitivity with depth in a free-diving California sea lion (*Zalophus californianus*). *J Acoust Soc Am*. 2002;112(329). doi:http://dx.doi.org/10.1121/1.1489438.
13. Norman, D., Phelps R., Wightman F. Some observations on underwater hearing. *Acoust Soc Am*. 1971;50(2):544-548.
14. Parvin S J, Nedwell J R, Thomas A J, Needham K TR. Underwater sound perception by divers: The development of an underwater hearing thresholds curve and +its use in assessing the hazard to divers from waterborne sounds. *Def Res Agency*. 1994.
15. Smith P. Toward a Standard for Hearing Conservation for Underwater and Hyperbaric Environments. *J Aud Res*. 1985;25(4):221-238. doi:3879894.
16. Smith P. Underwater hearing in man: I. Sensitivity. *Nav Submar Med Cent Rep*. 1969;(569).

17. Foden N, Joseph T. Sudden onset hearing loss – causes, investigations and management clinical. 2013;42(9):641-644.
18. Chicago EI of. Sudden Hearing Loss. http://www.chicagoeear.com/MedicalInfo/hearing_loss.html.
19. Shilton H, Hodgson M, Burgess G. Hyperbaric oxygen therapy for sudden sensorineural hearing loss in large vestibular aqueduct syndrome. *J Laryngol Otol*. 2014;128 Suppl(March 2013):S50-4. doi:10.1017/S0022215113001308.
20. Stachler RJ, Chandrasekhar SS, Archer SM, et al. Clinical Practice Guideline: Sudden Hearing Loss. *Otolaryngol -- Head Neck Surg*. 2012;146(3 Suppl):S1-S35. doi:10.1177/0194599812436449.
21. Edizer DT, Celebi O, Hamit B, Baki A, Yigit O. Recovery of Idiopathic Sudden Sensorineural Hearing Loss. *J Int Adv Otol*. 2015;11(2):122-126. doi:10.5152/iao.2015.1227.
22. Barreto MADSC, Ledesma ALL, de Oliveira CACP, Bahmad F. Intratympanic corticosteroid for sudden hearing loss: Does it really work? *Braz J Otorhinolaryngol*. 2016;82(3):353-364. doi:10.1016/j.bjorl.2015.06.007.
23. Hosokawa S, Sugiyama K, Takahashi G, Takebayashi S, Mineta H. Prognostic factors for idiopathic sudden sensorineural hearing loss treated with hyperbaric oxygen therapy and intravenous steroids. *J Laryngol Otol*. 2017;131(1):77-82. doi:10.1017/S0022215116009725.
24. JJ S. Medical aspects of scuba diving. *BMJ*. 1994;308:1483-1488.
25. Bostrom BL, Fahlman A JD. Tracheal compression delays alveolar collapse during deep diving in marine mammals. *Respir Physiol Neurobiol*. 2008;161:298-305.
26. Baxter, D. Schimdt T. The physics of scuba diving. <http://physics.itsbaxter.com/pressure.html>. Published 2003.
27. MAÑ BPG. Diving medicine. *Travei Medicine and Infectious Disease*. 2006;4:238-254. doi:10.1016/j.maid.2005.06.014.
28. Tucholski EJ, Traffic S. Underwater Acoustics and Sonar. SP411 Handouts and Notes. Fall 2006. *Phys Dep US Nav Acad*. 2006;12:11-1-8.
29. 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.
30. E. Natrud; I. OM. Ear damage due to diving. *Department Otolaryngol Univ Hosp Trondll, Norw*. 1979;360:187-189.
31. Goplen FK, Aasen T, Grønning M, Molvær OI, Nordahl SHG. Hearing loss in divers: A 6-year prospective study. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngology*. 2011;268(7):979-985. doi:10.1007/s00405-011-1486-1.

32. Klingmann C, Knauth M, Ries S, Tasman A-J. Hearing Threshold in Sport Divers. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 2004;130:221-225.
33. Wang M-C, Liu C-Y, Shiao A-S, Wang T. Ear problems in swimmers. *J Chin Med Assoc.* 2005;68(8):347-352. doi:10.1016/S1726-4901(09)70174-1.
34. Evens R a, Bardsley B CMV. 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.
35. Kennedy GE. The relationship between auditory exostoses and cold water: A latitudinal analysis. *Am J Phys Anthropol.* 1986;71(4):401-415. doi:10.1002/ajpa.1330710403.
36. Srinivasan J, Reddy VM, Flanagan PM. Audiological implications of earplugs used for the prevention of aural exostoses. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngology.* 2012;269(3):787-790. doi:10.1007/s00405-011-1730-8.
37. Giovagnoli P, Bianco P, Ragusa F, Arduino G, Anzelmo V CN. Safety and health protection of professional divers in the context of the European Diver Technology Committee (EDTC): technical training and diver competence, role of the “examining” physician. *G Ital Med Lav Erg.* 2003;25(3):249-251.
38. Koriwchak MJ, Werkhaven JA. Middle ear barotrauma in scuba divers. *J Wilderness Med.* 1994;5(of Publication: 1994):5 (4) (pp 389--398), 1994. doi:10.1580/0953-9859-5.4.389.
39. Gonnermann A, Dreyhaupt J, Praetorius M, Baumann I, Plinkert PK, Klingmann C. Hals-Nasen-Ohrenärztliche Erkrankungen im Zusammenhang mit dem Sporttauchen [Otorhinolaryngologic disorders in association with scuba diving]. *HNO.* 2008;56(5):519-523. doi:10.1007/s00106-007-1635-4.
40. Edmonds C. Hearing loss with frequent diving (deaf divers). *Undersea Biomed Res.* 1985;12:315-319.
41. Molvaer OI, Lehmann EH. Hearing acuity in professional divers. *Undersea Biomed Res.* 1985;12(3):333-349. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4060339>. Accessed April 24, 2017.
42. Bohnker B, Rovig G, Page J, Philippi A, Butler F, Sack D. Navy hearing conservation program: hearing threshold comparisons to Navy SEALs and divers. *Undersea Hyperb Med.* 2003;30(2):155-162. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12964859>. Accessed April 24, 2017.
43. Hizel SB, Muluk NB, Budak B, Budak G. Does scuba diving cause hearing loss? *J Otolaryngol.* 2007;36(4):247-252. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17942040>. Accessed April 24, 2017.
44. 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.

45. Altuna Mariezkurrena X, Veá Orte JC, Camacho Arrioaga JJ, Algaba Guimer J. Tratamiento quirúrgico de las exóstosis de conducto auditivo externo. *Acta Otorrinolaringológica Española*. 2006;57(6):257-261. <http://acta.otorrinolaringol.esp.medynet.com/normas.htm>.
46. Kozin ED, Remenschneider AK, Shah P V., Reardon E, Lee DJ. Endoscopic transcanal removal of symptomatic external auditory canal exostoses. *Am J Otolaryngol - Head Neck Med Surg*. 2015;36(2):283-286. doi:10.1016/j.amjoto.2014.10.018.
47. Holmquist J, Oleander R HO. Peroperative drill-generated noise levels in ear surgery. *Acta Otolaryngol*. 1979;87:458-460.
48. Doménech , Carulla M TJ. Sensorineural high-frequency hearing loss after drill-generated acoustic trauma in tympanoplasty. *Arch Otorhinolaryngol*. 1989;(246):280-282.
49. Hetzler DG. Osteotome technique for removal of symptomatic ear canal exostoses. *Laryngoscope*. 2007;117(1 Pt 2 Suppl 113):1-14. doi:10.1097/MLG.0b013e31802cbb12.
50. Frese KA, Rudert H, Maune S, Hals- K, Halschirurgie K-. operative Behandlung » Die von Gehörgangsexostosen. 1999:538-543.
51. Glazer TA, Telian SA. Otologic Hazards Related to Scuba Diving. *Sport Heal A Multidiscip Approach*. 2016;8(2):140-144. doi:10.1177/1941738116631524.
52. Lynch JH, Deaton TG. Barotrauma With Extreme Pressures in Sport. *Curr Sports Med Rep*. 2014;13(2):107-112. doi:10.1249/JSR.0000000000000039.
53. Hamilton-Farrell M, Bhattacharyya A. Barotrauma. *Injury*. 2004;35(4):359-370. doi:10.1016/j.injury.2003.08.020.
54. Uzun C, Adali MK, Koten M, et al. Relationship between mastoid pneumatization and middle ear barotrauma in divers. *Laryngoscope*. 2002;112(2):287-291. doi:10.1097/00005537-200202000-00016.
55. Elliot E, DR S. The assessment and management of inner ear barotrauma in divers and recommendations for returning to diving. *Diving Hyperb Med*. 2014;44(4):208-222.
56. JJ H, MF S, HH H. Inner ear barotrauma from scuba diving. *Ear Nose Throat J*. 1999;78(3):181-187.
57. Nakashima T, Kaida M, Yanagita N. Round window membrane rupture and inner ear damage due to barotrauma. *Acta Otolaryngol Suppl*. 1992;493:57-62.
58. Shupak A, Gil A, Nachum Z, Miller S, Gordon CR, Tal D. Inner ear decompression sickness and inner ear barotrauma in recreational divers: a long-term follow-up. *Laryngoscope*. 2003;113(12):2141-2147. doi:10.1097/00005537-200312000-00017.

59. McCormick J, Holland W, Brauer R, Holleman Jr I. Sudden hearing loss due to diving and its prevention with heparin. *Otolaryngol Clin North Am.* 1975;8:417-430.
60. Buhlmann A, Gehring H. Inner ear disorders resulting from inadequate decompression: "vertigo bends". *Lambertsen CJ, ed Underw Physiol V Proc Fifth Symp Underw Physiol Bethesda, MD Fed Am Soc Exp Biol.* 1976:341-347.
61. 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;14(2):83-88. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12825881>. Accessed April 25, 2017.
62. Nachum Z, Shupak a, Spitzer O, Sharoni Z, Doweck I, Gordon CR. Inner ear decompression sickness in sport compressed-air diving. *Laryngoscope.* 2001;111(5):851-856. doi:10.1097/00005537-200105000-00018.
63. Klingmann C. Inner ear decompression sickness in compressed-air diving. *Undersea Hyperb Med.* 39(1):589-594. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22400449>. Accessed April 24, 2017.
64. ScubaDiver. Dive Tables Explained -- NAUI and PADI. http://www.scubadiverinfo.com/2_divetables_nau.html.
65. Harpur SGD. Medical Screening of Sports Divers. 1982;28(October).
66. Modric J. Valsalva Maneuver. <http://www.ehealthstar.com/test/valsalva-maneuver>. Published 2016.
67. Uzun C. Evaluation of Pre-dive Parameters Related to Eustachian Tube Dysfunction for Symptomatic Middle Ear Barotrauma in Divers. *Otol Neurotol.* 2005;26(4):59-64.
68. Assessment M, Divers W, Guidelines G, Assessment T, Organs I. Fitness to Dive Standards. 2003.
69. NOAA. Underwater Noise. 2014;(June). http://www.gc.noaa.gov/gcil_noise.html.
70. Parvin S. Limits for underwater noise exposure of human divers and swimmers. *Subacoustech Underw Res Consult.* <http://www.subacoustech.com/information/downloads/reports/NPLDiverNoisePresentation.pdf>.
71. Hse SE. The noise exposure of working divers. *Heal Saf Exec.* 2003. <http://books.hse.gov.uk/hse/public/saleproduct.jsf?catalogueCode=9780717661251>.