



**INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ**

**MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA**

**BAROTRAUMA E MEDICINA DENTÁRIA**

Trabalho submetido por  
**Damien Victor Georges Fataccy**  
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

**setembro de 2022**





# **INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ**

## **MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA**

### **BAROTRAUMA E MEDICINA DENTÁRIA**

Trabalho submetido por  
**Damien Victor Georges Fataccy**  
para a obtenção do grau de **Mestre** em Medicina Dentária

Trabalho orientado por  
**Professor Doutor Carlos Manuel Zagalo Fernandes Ribeiro**

e coorientado por  
**Mestre Pedro Alexandre Guimarães Ferreira Trancoso**

**setembro de 2022**



# Agradecimentos

Quero agradecer o Professor Doutor Carlos Zagalo por me ter feito a honra de dirigir a minha tese e por seu apoio e o seu ensino.

O Mestre Pedro Trancoso pelo seu apoio e para toda a ajuda que ele me deu para escrevê-la.

Aos professores do júri pela honra que me dão por aceitarem avaliar o meu trabalho.

A todos os professores do curso de medicina dentária por todos estes anos de ensino.

J'aimerais remercier mon grand-père Victor et ma grand-mère Fernande pour tout ce qu'ils ont fait pour nous et pour nous avoir enseigné toute la rigueur et les valeurs propres à notre nom.

À mon papi Georges et ma mamie Pierrette pour votre amour et votre gentillesse.

À mon père qui depuis toujours m'a protégé, guidé et cru en moi, sans qui je n'écrirais pas ces remerciements.

À ma mère pour son amour et sa force, sa protection et son dévouement qui m'ont été donné depuis ma naissance.

À mon oncle Victor et ma tante Brigitte pour leur amour, leur soutien et leur bienveillance.

À mes oncles Franck et Éric ainsi que mes tantes Françoise et Isabelle pour leur amour et leur bienveillance.

À ma sœur, pour son amour, sa protection ainsi que l'exemple qu'elle a toujours été pour moi, que j'aime tant.

À mes cousins, cousines et leurs conjoints respectifs, Sophie, Kevin et Sarah, Thomas, Fanny et Romain, Clément et Inès, Camille et Guillaume, que j'aime de ton mon cœur.

À mes Grolars-Bear, mes frères.

À mon beau-frère Franck pour sa gentillesse, son soutien, je n'aurai pas pu rêver mieux. À sa famille.

À toi Agathe pour ce chemin parcouru ensemble.

À Stéphane et sa famille.

À mon cousin, confrère et colloc Thomas pour l'aide apporté durant ces années d'étude et son amour depuis toujours.

À mon fréro et frère d'arme Arnaud pour son soutien et sa loyauté ainsi qu'à sa femme Dahlia.

À mon fréro et ami d'enfance Kevin ainsi qu'à sa femme Aude, à Cédric et Coralie pour leur soutien et leur gentillesse.

À mes frères d'armes, Ribei, la Tonse , Bébère, Pumba, la Drog, la Chop, la buche, la huill, Triangle, Kohu, Bonnar, Beau-beau, Élo pour votre loyauté et avoir su sans faille protéger mes arrières.

À mes amis et confrères Patrice, Camille, Romain, Nicolas, Phillipe, Charley, Clément, Nassim, Ramzi, Félicien, Nassimus, Juliette, Sarah, Maude.

À ma binôme Rachida pour son soutien et pour avoir su me supporter.

À toutes les personnes que j'ai mentionnées, vous avez fait de moi l'homme que je suis. Cette thèse vous est dédiée.

## Resumo:

No ambiente do mergulho ou da aviação, os profissionais ou praticantes recreativos estão sujeitos a variações bruscas de pressão (hidrostática/atmosférica). Estas variações de pressão são ainda mais importantes para mergulhadores, onde se encontra uma taxa mais elevada de casos de barodontalgia do que em aviões. Estes barotraumas podem comprometer a segurança de mergulhar e voar (1).

A barodontalgia é um sintoma frequentemente experimentado durante o mergulho. É portanto essencial assegurar que as cáries dentárias, e as restaurações infiltradas ou fraturadas sejam tratadas de forma adequada para garantir o conforto e a segurança do mergulhador (2).

Estas restrições barotraumáticas obrigam os médicos dentistas a ter uma abordagem diferente das técnicas convencionais.

No domínio da endodontia, estudos demonstraram que o método de condensação vertical poderia ser a técnica profilática mais adequada em termos de estanquidade os canais radiculares (3).

No domínio da dentisteria, a escolha do material adesivo e restaurador é de primordial importância na prevenção das micro-infiltrações na interface dentina/resina composta (4)

Nas últimas décadas, tem havido um aumento significativo do número de viajantes aéreos, implicando por esse facto que o risco de desenvolver dor dentária durante um voo é muito maior para o público desinformado. No entanto, o campo da barodontalgia aeronáutica é uma área recente da odontologia que tem dificuldade em ser integrada nos programas de medicina dentária actuais (5).

Palavras-chaves: Mergulho; Barotraumas; barodontalgia hiperbárica; dor dentária.





## Abstract:

In the diving or aviation environment, professionals or recreational practitioners are subjected to sudden pressure variations (hydrostatic/atmospheric). These pressure variations are even more important for divers, where a higher rate of barodontalgia cases is found than in aircraft. These barotraumas can compromise the safety of diving and flying (1).

Barodontalgia is a symptom frequently experienced during diving. It is therefore essential to ensure that dental caries, and infiltrated or fractured restorations are treated appropriately to ensure diver comfort and safety (2).

These barotraumatic restrictions force dental practitioners to take a different approach to conventional techniques.

In the domain of endodontics, studies have shown that the vertical condensation method could be the most suitable prophylactic technique in terms of sealing the root canals (3).

In the field of dentistry, the choice of adhesive and restorative material is of primary importance in preventing microleakage at the dentin/resin composite interface (4)

In recent decades, there has been a significant increase in the number of air travellers, implying by this fact that the risk of developing dental pain during a flight is much higher for the uninformed public. However, the field of aeronautical barodontalgia is a recent area of dentistry that has difficulty being integrated into current dental programmes (5).

Keywords: diving; barotrauma; hyperbaric barodontalgia; atmospheric pressure, dental pain.



# Índice geral:

|  |           |
|--|-----------|
| <b>AGRADECIMENTOS</b> .....  | <b>5</b>  |
| <b>RESUMO:</b> .....   | <b>1</b>  |
| <b>ABSTRACT:</b> .....   | <b>3</b>  |
| <b>ÍNDICE GERAL:</b> .....   | <b>5</b>  |
| <b>LISTA DE SIGLAS:</b> .....  | <b>7</b>  |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS:</b> .....  | <b>9</b>  |
| <b>ÍNDICE DE TABELAS:</b> .....  | <b>11</b> |
| <b>INTRODUÇÃO:</b> .....   | <b>13</b> |
| <b>1 GENERALIDADES E PRINCÍPIOS FÍSICOS APLICÁVEIS A AMBIENTES HIPOBÁRICOS E HIPERBÁRICOS:</b> ..... | <b>15</b> |
| <b>1.1 DEFINIÇÃO:</b> .....  | <b>15</b> |
| <b>1.2 PRINCÍPIOS FÍSICOS:</b> .....   | <b>15</b> |
| 1.2.1 A PRESSÃO (12):.....   | 15        |
| 1.2.2 LEI DE BOYLE-MARIOTTE: .....   | 20        |
| 1.2.3 LEI DE DALTON: .....   | 21        |
| 1.2.4 LEI DE HENRY: .....  | 22        |
| <b>2 PRINCÍPIOS FISIOLÓGICOS EM AMBIENTES HIPERBÁRICOS E HIPOBÁRICOS:</b> .....                      | <b>23</b> |
| <b>2.1 COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO NO MERGULHO AUTÓNOMO:</b> .....                                     | <b>23</b> |
| 2.1.1 GENERALIDADES:.....  | 23        |
| 2.1.2 ACIDENTES RELACIONADOS COM A DISSOLUÇÃO DE GASES, PARTICULARMENTE NITROGÉNIO. ....             | 24        |
| 2.1.3 TABELAS DE DESCOMPRESSÃO.....  | 26        |
| <b>2.2 COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO A MÉDIA E ALTA ALTITUDE</b> .....                                   | <b>27</b> |
| 2.2.1 GENERALIDADES:.....  | 27        |
| 2.2.2 RESPOSTA FISIOLÓGICA AO AMBIENTE HIPÓXICO:.....  | 27        |
| 2.2.3 RISCOS FISIOLÓGICOS DE MÁ ACOMODAÇÃO A ALTITUDE E DESCOMPRESSÃO: .....                         | 29        |
| 2.2.4 PRESSURIZAÇÃO CONTROLADA EM AERONAVES (14):.....   | 30        |
| <b>3 GENERALIDADES SOBRE OS BAROTRAUMAS:</b> .....   | <b>33</b> |
| <b>3.1 DEFINIÇÃO:</b> .....  | <b>33</b> |
| <b>3.2 ÁREAS CORPORAIS EM RISCO DE BAROTRAUMA:</b> .....   | <b>35</b> |
| 3.2.1 BAROTRAUMA DOS PULMÕES: .....  | 35        |
| 3.2.2 BAROTRAUMA DO SISTEMA AUDITIVO: .....  | 36        |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| 3.2.3      | BAROTRAUMA DAS VÍSCERAS:.....   | 37        |
| <b>4</b>   | <b><u>RESUMO ANATÓMICO E FISIOLÓGICO DA ESFERA ORAL: .....</u></b>                | <b>39</b> |
| <b>4.1</b> | <b>ANATOMIA SINUSAL: .....</b>  | <b>39</b> |
| 4.1.1      | GENERALIDADE: .....   | 39        |
| 4.1.2      | ANATOMIA DO SEIO MAXILAR: .....   | 40        |
| 4.1.3      | VASCULARIZAÇÃO:.....  | 41        |
| 4.1.4      | INERVAÇÃO: .....  | 42        |
| <b>4.2</b> | <b>ANATOMIA TEMPORO-MANDIBULAR E ZONA AURICULAR: .....</b>                        | <b>42</b> |
| 4.2.1      | GENERALIDADE: .....   | 42        |
| 4.2.2      | VASCULARIZAÇÃO:.....  | 45        |
| 4.2.3      | INERVAÇÃO: .....  | 45        |
| 4.2.4      | ANATOMIA AURICULAR:.....  | 47        |
| <b>4.3</b> | <b>ANATOMIA E FISIOLÓGIA PULPO-DENTÁRIA: .....</b>                                | <b>49</b> |
| 4.3.1      | ANATOMIA DENTÁRIA: .....  | 49        |
| 4.3.2      | HISTOLOGIA PULPAR E VASCULARIZAÇÃO: .....   | 50        |
| 4.3.3      | INERVAÇÃO E PRINCÍPIOS FISIOLÓGICOS DA SENSIBILIDADE POLPA-DENTINA:.....          | 51        |
| <b>5</b>   | <b><u>BAROTRAUMATISMO DENTÁRIO EM AMBIENTES DE ALTA E BAIXA PRESSÃO:.....</u></b> | <b>53</b> |
| <b>5.1</b> | <b>CONTEXTO HISTÓRICO: .....</b>  | <b>53</b> |
| <b>5.2</b> | <b>DEFINIÇÃO DE BAROTRAUMA E BARODONTALGIA: .....</b>                             | <b>53</b> |
| <b>5.3</b> | <b>FISIOPATOGÊNESE DO BAROTRAUMATISMO DENTÁRIO: .....</b>                         | <b>54</b> |
| <b>5.4</b> | <b>ETIOLOGIA E FATORES CONTRIBUTIVOS DA BARODONTALGIA: .....</b>                  | <b>57</b> |
| <b>5.5</b> | <b>DIAGNÓSTICO CLÍNICO E DIFERENCIAL:.....</b>                                    | <b>59</b> |
| <b>5.6</b> | <b>ÁREAS DA MEDICINA DENTÁRIA EM RISCO DE BAROTRAUMA: .....</b>                   | <b>65</b> |
| 5.6.1      | ÁREA DA MEDICINA DENTÁRIA RESTAURATIVA:.....                                      | 65        |
| 5.6.2      | ÁREA DE REABILITAÇÃO ORAL:.....   | 73        |
| 5.6.3      | ÁREA ENDODÔNTICA: .....   | 76        |
| 5.6.4      | UM EXEMPLO DE CASO CLÍNICO (88):.....   | 79        |
| 5.6.5      | ÁREA DA CIRURGIA: .....   | 81        |
|            | <b><u>CONCLUSÃO: .....</u></b>  | <b>89</b> |
|            | <b><u>BIBLIOGRAFIA:.....</u></b>  | <b>91</b> |

## Lista de siglas:

|                   |  |
|-------------------|--|
| ATA               | Atmosphäre, Technische, Absolut                    |
| ATM               | Articulação temporomandibular                      |
| BPpn              | Barotrauma pulmonar de pressão negativa            |
| BPpp              | Barotrauma pulmonar de pressão positiva            |
| CBCT              | Cone beam computed tomography                      |
| CIV               | Ionómero de vidro                                  |
| CIVM              | Cimento de ionómero de vidro modificado com resina |
| DCS               | Decompression Sickness                             |
| FDI               | Federação Dentária Internacional                   |
| IDS               | Immediat dentin sealling                           |
| IED               | Improvised explosive device                        |
| MOD               | Mesio-ocluso-distal                                |
| ORL               | Oro-naso-laríngea                                  |
| Pa                | Pascal   |
| PaCO <sub>2</sub> | Pressão parcial do dióxido de carbono              |
| PEEK              | Polieteretercetona                                 |
| SI:               | Sistema Internacional                              |
| SCUBA             | Self Contained Underwater Breathing Apparatus      |
| RC                | Resina composta                                    |



## Índice de figuras:

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 1: PRESSÃO INDUZIDA PELA RELAÇÃO FORÇA/SUPERFÍCIE ADAPTADO DE (FOSTER 2010), (12).....   | 16 |
| FIGURA 2: : VARIAÇÃO DA PRESSÃO DO AR COM A ALTITUDE ADAPTADO DE (MARIEB E HOEHN 2010), (16).....   | 18 |
| FIGURA 3: : AUMENTO DE PRESSÃO COM PROFUNDIDADE (PRESSURE INCREASES IN SALT WATER., 2016), (20).....  | 19 |
| FIGURA 4: RELAÇÃO ENTRE PRESSÃO, VOLUME E DENSIDADE (GRAVER, 2017), (17). ....  | 21 |
| FIGURA 5: SECÇÃO ANATÓMICA ATRAVÉS DE UM MOLAR MOSTRANDO UMA EXTENSÃO INTER-RADICULAR (1) DO SEIO MAXILAR (2), (GAUDY ET AL., 2011), (44).....                                      | 40 |
| FIGURA 6: DIAGRAMA DA VASCULARIZAÇÃO DO SEIO MAXILAR. DIAGRAMA ADAPTADO DE (VACHER, 2013), (46). ....   | 41 |
| FIGURA 7: REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS DIFERENTES ESTRUTURAS DENTÁRIAS. ADAPTADO DE (ANATOMIE DENTAIRE, 2013), (51).....   | 50 |
| FIGURA 8: BARODONTOCREXIA NO MERGULHO DURANTE A SUBIDA (GUNEPIN ET AL., 2015), (56).....  | 55 |
| FIGURA 9: BARODONTOCREXIA NO MERGULHO DURANTE A DESCIDA (GUNEPIN ET AL., 2015), (56).....   | 55 |
| FIGURA 10: FRACTURA DE DENTE NUMA RESTAURAÇÃO DE AMÁLGAMA MESIO-DISTAL COM CÁRIE SUBJACENTE (GUNEPIN ET AL., 2010), (60). ....  | 68 |
| FIGURA 11: (2A) FRACTURA DA PORÇÃO DISTO-PALATINO (DENTE 17) APÓS BAROTRAUMA COM (2B) PRESENÇA DE CÁRIE SUBJACENTE EXTENSA (GUNEPIN ET AL., 2010), (60).....                        | 68 |
| FIGURA 12: RESULTADOS FOTOGRÁFICOS DA ESTEREOMICROSCOPIA EM 3 DENTES DE CORTE CORONAL-APICAL EXPOSTOS A 20 CICLOS REPETIDOS DE PRESSÃO DE 3 BAR (SAFAI & FARZANEH, 2019), (81)..... | 77 |
| FIGURA 13: (A) FOTOGRAFIA INTRAORAL PRÉ-OPERATÓRIA; (B) SECÇÃO ORTOPANTOMOGRÁFICA PRÉ-OPERATÓRIA (PEKER ET AL., 2009), (88).....  | 80 |

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 14: SECÇÃO DA ORTOPANTOMOGRAFIA PÓS-OPERATÓRIO (PEKER ET AL., 2009), (88).  | 81 |
| FIGURA 15: MECANISMO DE DIFUSÃO DE AR EXTRACORPÓREO EM ESPAÇOS INTERSTICIAIS EM AMBIENTE HIPERBÁRICO LEVANDO AO ENFISEMA FACIAL (VERUNAC, 1973), (80). ..... | 83 |
| FIGURA 16: PRESSÃO SINUSAL "SQUEEZ" DE PRESSÃO NEGATIVA ,ADAPTADO DE (BRANDT, 2004; CHEN ET AL., 2022; MISIROVS & MOHAMAD, 2020; OIBA, 2015), (91-94).....   | 84 |
| FIGURA 17: BAROTRAUMA DO SEIO DE PRESSÃO POSITIVA ADAPTADO DE (BRANDT, 2004; CHEN ET AL., 2022; MISIROVS & MOHAMAD, 2020; OIBA, 2015), (91-94). .....        | 84 |



## Índice de tabelas:

|   |    |
|---|----|
| TABELA 1: : UNIDADE DE PRESSÃO E EQUIVALÊNCIA ADAPTADA DE (INTERNATIONAL BUREAU OF WEIGHTS AND MEASURES, 2006), (13)..... | 17 |
| TABELA 2: : QUESTIONÁRIO CIRCUNSTANCIAL PARA VÍTIMAS DE BAROTRAUMA DENTÁRIO (LUSSI ET AL., 2014), (67).....               | 60 |
| TABELA 3: CLASSIFICAÇÃO DA BARODONTALGIA DIRETA, ADAPTADO DE (JAYASRIKRUPAA, 2020; LUSSI ET AL., 2014), (62,67).....      | 61 |
| TABELA 4: BARODONTALGIA DIRETA VERSUS INDIRETA (DIAGNÓSTICO DIFERENCIAL), ADAPTADO DE (ZADIK & DRUCKER, 2011), (57). .... | 63 |



## Introdução:

As profundezas aquáticas e a altitude são dois ambientes que, devido às suas propriedades físicas, os tornam hostis aos seres humanos. A desejo de aventura do homem nunca deixou de crescer, ao ponto de querer conquistá-los completamente.

O século XX assistiu ao advento desta conquista, tanto no domínio aéreo, com o primeiro voo bem-sucedido de um avião motorizado pelos irmãos Wright em 1903, como no campo do mergulho, com a invenção do escafandro de mergulho pelo Capitão Jacques-Yves Cousteau em 1966, que permitiu a democratização desta atividade tanto profissional como recreativa (6).

A este grande avanço tecnológico foram acrescentados certos problemas fisiológicos e patológicos inerentes a estes ambientes de altas e baixas pressões. De facto, na primeira metade do século XX, os aviadores e as suas aeronaves, cujo desempenhos aumentavam constantemente, aumentando assim as altitudes de voo, começaram a sentir certas dores dentárias durante os seus voos. Tratava-se de aerodontalgia. Só em 1940, com as primeiras incursões submarinas e o aparecimento de dores orais devido a variações de pressão nos mergulhadores, é que os termos "barotrauma" e "barodontalgia" foram adotados (7,8). "Baro" é latim para pressão e "algia" para dor. A barodontalgia é o resultado de barotrauma.

Atualmente, ocorre com menos frequência devido à modernização e pressurização das aeronaves, mas continua a ser um problema (9). Encontra-se mais frequentemente entre as tripulações aéreas militares e mergulhadores (10).

Nas últimas décadas, como as viagens aéreas se tornaram um dos meios de transporte mais utilizados, tanto os passageiros como os membros da tripulação correm um risco maior de eventos barodontálgicos, o que pode comprometer a segurança de um voo. O mesmo se aplica ao crescimento do mergulho recreativo.

Portanto, neste contexto atual, o papel do médico dentista é da maior importância. É da sua responsabilidade fornecer aos doentes informações completas sobre a etiologia desta patologia, mas também ter uma abordagem específica para a prevenção e tratamento deste público específico.

Neste trabalho, abordaremos em primeiro lugar os princípios físico-químicos aplicáveis a estes ambientes de altas e baixas pressões e as suas repercussões fisiológicas. Depois estudaremos a etiologia e o impacto do barotrauma na esfera oral em função das diferentes áreas da medicina dentária que possam ser afetadas. Finalmente, discutiremos a abordagem profilática da prevenção do barotraumatismo dentário.

# 1 Generalidades e princípios físicos aplicáveis a ambientes hipobáricos e hiperbáricos:

## 1.1 Definição:

Quer seja durante um batismo de mergulho ou um mergulho profundo, mas também durante uma expedição de alpinismo, um salto de pára-quedas, uma viagem de avião ou durante uma missão de combate aéreo, o homem pode ser levado a estar em contacto com ambientes com pressões atmosféricas ou hidrostáticas mais ou menos elevadas ao longo da sua vida.

Um ambiente "hiperbárico" é um ambiente onde a pressão ambiente é mais elevada do que a pressão atmosférica. "Hyper" é latim para "acima" e "baros" refere-se ao peso e à gravidade. Pelo contrário, um ambiente "hipobárico" é um ambiente onde a pressão ambiente é mais baixa do que a pressão atmosférica (11).

Mas o que é a pressão, qual o princípio físico por detrás das leis que são essenciais para as atividades subaquáticas e de altitude? Quais são os seus componentes e como podem certos fatores fazê-la variar?

## 1.2 Princípios físicos:

A fim de melhor compreender os processos fisiológicos induzidos pelo meio ambiente, é essencial fornecer certas bases físicas e químicas específicas a estes ambientes.

### 1.2.1 A pressão (12):

A pressão pode ser definida como a relação de uma força aplicada a uma superfície. A direção da força é perpendicular à superfície.

$$\text{Pressão (pascal)} = \frac{\text{Força (Newton)}}{\text{Superfície (m}^2\text{)}}$$

Quanto maior for a força com uma área de contacto menor, maior será a pressão (12).

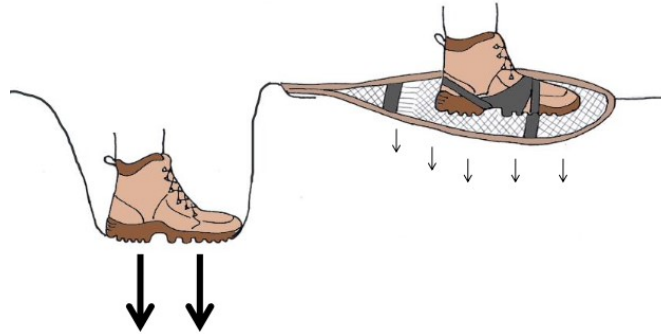


Figura 1: Pressão induzida pela relação força/superfície adaptado de (Foster 2010), (12).

A figura acima ilustra a vantagem de caminhar sobre neve fresca com sapatos de neve em vez de caminhar com sapatos. O peso do caminhante (força) quando distribuído por uma grande área causa menos pressão sobre a neve.

O pascal (Pa) é a unidade de pressão do Sistema Internacional (SI).

$$1 \text{ Pa} = \frac{\text{Força de 1 newton}}{1 \text{ m}^2}$$

### 1.2.1.1 Pressão atmosférica:

Em 1643, graças à sua experiência, Torricelli foi capaz de determinar que a pressão do ar à altitude 0 era igual à pressão duma coluna de mercúrio com 76 centímetros de profundidade. Ele virou um tubo de ensaio cheio de mercúrio (um metal líquido muito pesado) de extremidade aberta para baixo num tanque de mercúrio. Foi criado um vácuo na parte superior do tubo de ensaio. Ao variar a posição do tubo de ensaio, descobriu que a distância entre a superfície do mercúrio em contacto com o vácuo e a superfície do mercúrio em contacto com a pressão atmosférica era constante a 76 cm. Haveria, portanto,

um volume de 76 cm<sup>3</sup> de mercúrio (Hg) cujo peso seria de 10,13 newtons para cada cm<sup>2</sup> da superfície do tanque. Substituindo este metal líquido por água, seriam exercidos 1033cm<sup>3</sup> em cada cm<sup>2</sup>, o que seria equivalente a uma altura de coluna de água de 10,33 metros. Em honra de Torricelli, 1 Torr é a pressão de uma camada de 1mm de mercúrio (Hg) exercida sobre uma superfície de 1cm<sup>2</sup>.

A pressão atmosférica é a pressão exercida ao nível do mar pelo peso total da coluna de ar que compõe a atmosfera terrestre. É designado como tendo um valor de 1 ATA, a abreviatura alemã de "Atmosphäre, Technische, Absolut".

|                      |                                      |
|----------------------|--------------------------------------|
| 1 ATA                | ATA : Atmosfera                      |
| 1013 HPa             | Hpa : HectoPascal                    |
| 101300 Pa            | Pa : Pascal                          |
| 760 mmHg ou 760 Torr | mmHg : milímetro de mercúrio ou Torr |
| 1,013 Bar            | Bar : Pressão barométrica            |

Tabela 1: : Unidade de pressão e equivalência adaptada de (International Bureau of Weights and Measures, 2006), (13).

O ar é uma mistura gasosa. É, portanto, considerado como um fluido. Embora seja muito leve, tem uma massa que está sujeita à força de atração gravitacional, dando-lhe assim uma força devido ao seu peso. Tal como outros gases, os fluidos ocupam todo o espaço em que estão confinados. Quando se aplica pressão a uma mistura gasosa, não há praticamente qualquer resistência da mesma. Diz-se que é compressível (14).

Como consequência, a pressão exercida pelo ar sobre um corpo ao nível do mar será diferente da pressão exercida sobre o mesmo corpo a uma dada altitude. Isto porque a baixas altitudes os elementos químicos no ar estão em maior concentração. Isto é devido ao peso da coluna de ar subjacente que os comprime. Assim, em 1902, após ter efectuado 236 sondagens utilizando balões de sonda atmosférica, Léon-Philippe Teisserenc de Bort registou dados importantes relativos à queda de pressão em função da altitude. Observou que para uma pressão atmosférica de 1023 hPa à altitude 0, cai para 700 hPa a uma altura de 3000 metros, depois a 5500 metros está perto de 500 hPa, a 16 km é de 100 hPa, para ser apenas 10 hPa a uma altitude de 31 Kilómetros. Através da sua investigação, deduziu que para uma altitude total de 800 quilómetros, 50 por cento da atmosfera situa-se entre

0 e 5500 metros de altitude, 90 por cento entre 0 e 16 quilómetros e 99 por cento abaixo de 31 quilómetros (15).

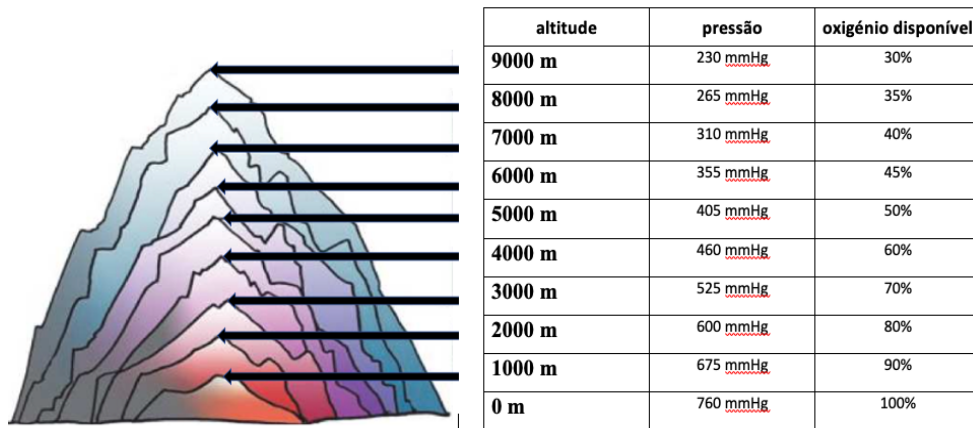


Figura 2: : Variação da pressão do ar com a altitude adaptado de (Marieb e Hoehn 2010), (16).

### 1.2.1.2 Pressão hidrostática:

Esta pressão aplica-se ao meio líquido e mais particularmente à água. "Hydro" vem do grego "Hudor" que significa "água", e "static" do grego "Statikos" que significa "equilíbrio" (12).

Durante a imersão, qualquer corpo imerso em água será submetido a uma pressão hidrostática igual ao peso da coluna de água deslocada. Esta coluna de água é igual à altura entre o corpo imerso e a superfície, ou seja, a interface ar/água (17).

Esta pressão é expressa em "bar", 1 bar de pressão corresponde a 1kg de pressão aplicada a 1cm<sup>2</sup>

$$\text{Pressão hidrostática de 1 bar} = \frac{F}{S} = \frac{\text{Peso da coluna de água de 10 metros}}{\text{Área de 1cm}^2}$$

A pressão hidrostática, geralmente referida como "pressão relativa" ou "pressão barométrica/manométrica", tem a pressão atmosférica como o seu ponto zero. O



batímetro, frequentemente chamado medidor de profundidade, é o instrumento de medição utilizado para determinar a profundidade em relação à pressão relativa (18).

Um mergulhador é sujeito a uma pressão hidrostática cujo valor aumenta 1 bar a cada 10 metros (12).

### 1.2.1.3 Pressão absoluta:

Durante uma imersão, o mergulhador é sujeito tanto à pressão ambiente do meio aquoso (pressão hidrostática) como à pressão atmosférica exercida sobre este meio.

A pressão hidrostática adicionada à pressão atmosférica é chamada de "pressão absoluta".

Isto é expresso em atmosferas e é chamado "ATA" e significa "atmosfera absoluta".

Para calcular a pressão absoluta em ATA quando submersa em água, é necessário dividir o valor da profundidade atual por 10 (19).

Para calcular a pressão absoluta exercida sobre um mergulhador a uma dada profundidade em atmosfera absoluta, dividir a profundidade em metros por 10 (uma vez que cada 10 metros de água do mar exerce 1 pressão atmosférica) e adicionar 1 que corresponde à pressão da atmosfera acima da água (18).

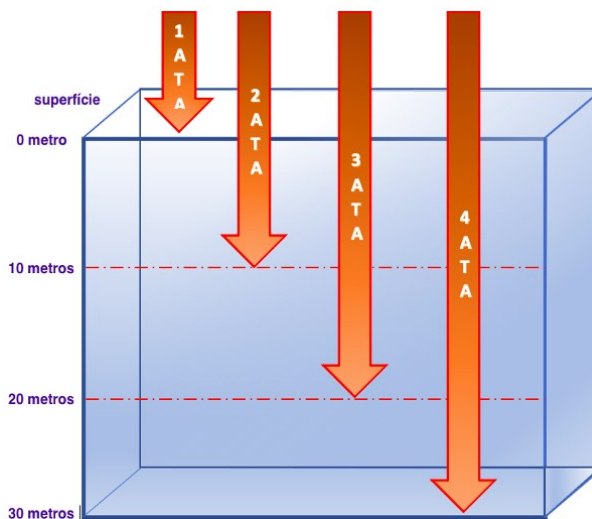


Figura 3: : Aumento de pressão com profundidade (Pressure increases in salt water., 2016), (20).

### 1.2.2 Lei de Boyle-Mariotte:

Esta lei estabelece como ponto de partida que, para um gás confinado num recinto fechado, a temperatura constante, o produto da pressão  $P$  e o volume  $V$  é constante (12). Ou seja, se comprimirmos um corpo estanque e flexível cheio de gás, tal como um balão, o seu volume diminuirá enquanto a pressão no interior do balão aumentará proporcionalmente. Se esta compressão for duplicada, ou seja, se a pressão externa aplicada ao balão for duplicada, o volume do balão e o seu ar serão divididos por dois. O ar ocupará então metade do volume que ocupava inicialmente. Durante esta compressão, a quantidade de gás dentro do balão não se altera. O ar é um fluido e é, portanto, comprimível. Durante a compressão, as moléculas de ar aproximam-se umas das outras sob o efeito da pressão, duplicando assim a densidade do fluido. Assim que as tensões cessam e a pressão aplicada ao balão diminui, o ar comprimido expande-se e ocupa novamente o espaço até recuperar o seu volume original. Durante esta compressão e descompressão, não há perda, a quantidade de fluido não se altera.

Este princípio físico pode ser aplicado durante a imersão. O mergulhador, usando um fato de mergulho, pode evoluir a diferentes profundidades, respirando ar à pressão ambiente. Isto permite que o mergulhador tenha um volume de inspiração pulmonar semelhante ao da superfície. O ar inspirado terá uma densidade proporcional à pressão. Se esta duplicar, a pressão intra-pulmonar duplicará e o mesmo acontecerá com a densidade do ar. Esta lei também se aplica quando a pressão circundante diminui. O fluido num recinto fechado e expansível expande-se à medida que a pressão diminui. Se a pressão for reduzida para metade, o volume ocupado pelo gás é o dobro do que ocupava originalmente (12,18).

Fórmula de Boyle-Mariotte (Foster, 2010):

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = P_n V_n = C$$

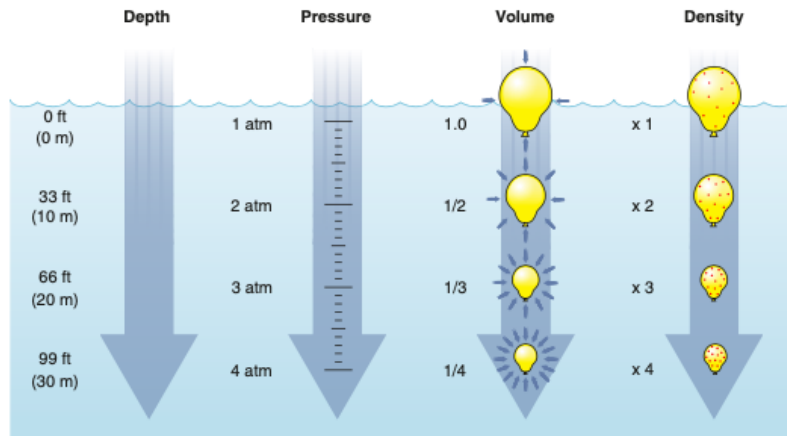


Figura 4: relação entre pressão, volume e densidade (Graver, 2017), (17).

### 1.2.3 Lei de Dalton:

Quer se trate de ar constituído por 79% de azoto e 21% de oxigénio ou qualquer outra mistura gasosa, a pressão que um fluido exerce é na realidade a resultante das pressões exercidas independentemente por cada constituinte gasoso da mistura. Isto é conhecido como a pressão parcial de gases numa mistura (21). A lei de Dalton é baseada na experiência de Berthollet (22). Ele demonstrou que a pressão total de uma mistura gasosa é a soma das pressões parciais dos componentes individuais da mistura.

De acordo com Dalton (1766-1844), a pressão parcial ( $P_p$ ) de um gás é calculada como o produto da pressão total da mistura ( $P_t$ ) e da fração de gás ( $F_i$ ):

Seja:

pressão parcial do gás = pressão total da mistura  $\times$  % do gás.

$$P_p = P_t \times F_i$$

$P_p$ : pressão parcial do gás

$P_t$ : pressão total exercida pela mistura

$F_i$ : fracção do gás na mistura expressa em percentagem

Por analogia, o aumento da pressão ambiente debaixo de água também aumenta as pressões parciais dos gases respiratórios. Se a pressão ambiente duplicar a uma profundidade de 10 m, as pressões parciais também duplicam. A 20 metros abaixo da superfície da água, a pressão ambiente triplicou, o que significa que as pressões parciais também triplicaram.

#### 1.2.4 Lei de Henry:

Esta lei diz respeito à dissolução de gases em líquidos. Afirma que a dissolução de um gás num líquido a uma temperatura constante é proporcional à pressão parcial que o gás exerce sobre o líquido. Cada líquido tem o seu próprio coeficiente de solubilidade. Este princípio físico-químico pode ser aplicado durante a imersão. De facto, ao mergulhar, o corpo está sujeito à pressão do ambiente. Esta pressão também é exercida sobre o ar inalado pelo mergulhador cuja pressão parcial aumenta. Este aumento de pressão promoverá a dissolução do ar nos fluidos corporais (sangue, linfa, fluido celular etc.) por meio de um gradiente de pressão, a fim de atingir um estado de equilíbrio. Estes líquidos serão saturados por este gás. Na subida, este gradiente de pressão é invertido, tornando este fenómeno reversível. Assistimos então a uma dessaturação destes fluidos corporais com gás. Deve-se notar que cada gás e cada líquido tem uma velocidade e quantidade de dissolução diferente (12,17).

## 2 Princípios fisiológicos em ambientes hiperbáricos e hipobáricos:

### 2.1 Comportamento fisiológico no mergulho autónomo:

#### 2.1.1 Generalidades:

Durante um mergulho livre, com um volume constante de ar nos pulmões, o corpo já está sujeito à pressão do ambiente aquático, o que põe em jogo a lei de Boyle-Mariotte. Outros princípios físicos como a Lei de Dalton e Henry serão da maior importância durante o mergulho subaquático. De facto, para poder respirar a estas profundidades, o mergulhador está equipado com um cilindro de mergulho contendo ar comprimido a uma pressão 200 a 300 vezes superior à pressão atmosférica, ou seja, 200-300 bar de pressão. Para poder inalar este gás sem risco, um sistema conhecido como "regulador" ou "SCUBA" (abreviatura em inglês de Self Contained Underwater Breathing Apparatus) foi inventado em 1943 pelo Capitão Cousteau e Emile Gagnant (12).

Este aparelho de respiração consiste num dispositivo de equalização da pressão em duas fases, geralmente referido como "estágio". A primeira fase permite que as altas pressões (200-300 bar) provenientes do tanque de mergulho sejam "relaxadas" a uma pressão dita "média" entre 8 e 10 bar. A segunda fase fornece ao mergulhador ar a uma pressão equivalente à pressão ambiente.

Mas o que acontece fisiologicamente quando um mergulhador imerso inala este ar comprimido? Responderemos a esta pergunta a fim de fornecer uma base para a compreensão dos problemas associados à dissolução de certos elementos gasosos no corpo.

Durante uma imersão, o ar contido no tanque de mergulho é inalado pelo mergulhador para fornecer o oxigénio necessário para a sobrevivência neste ambiente. A interface entre o sistema respiratório e o sistema cardiovascular é o foco destas trocas gasosas.

De acordo com a cronologia da mecânica ventilatória, a inspiração começa com a ativação do complexo tóraco-pulmonar, que é composto pelos pulmões, o tórax, a pleura que liga estes últimos, e as vias respiratórias que asseguram a troca gasosa entre a zona oro-nasolaringea (ORL) e os alvéolos pulmonares. Esta ação é voluntária e é possível graças à sinergia dos músculos inspiratórios, que são: o diafragma, o escaleno, os intercostais externos e os músculos para-esternais. Estes músculos permitem a expansão da caixa torácica e, conseqüentemente, o aumento do volume intrapulmonar. Esta deformação, que leva a uma mudança no volume tóraco-pulmonar, irá, de acordo com a lei de Boyle e Mariotte (12), induzir uma depressão intra-pulmonar com respeito ao meio ambiente. Esta depressão permitirá, através do princípio físico dos gradientes de pressão, a entrada de ar nas vias respiratórias superiores para os pulmões e finalmente para os alvéolos pulmonares (23).

E é nestes alvéolos e mais particularmente na zona alvéolo-capilar que se verifica a absorção dos diferentes componentes da mistura gasosa, tais como oxigénio, dióxido de carbono, azoto, etc.

A pressão parcial no interior dos alvéolos é superior à pressão parcial dos mesmos gases nos capilares sanguíneos. Estes componentes gasosos atravessarão esta barreira fisiológica por meio de um gradiente de pressão. Serão libertados na rede sanguínea da circulação pulmonar, que tem o papel de eliminar e renovar o fornecimento de gases sanguíneos da circulação sistémica através do seu centro nevrálgico, o miocárdio. Durante a expiração, ocorre o padrão oposto. O dióxido de carbono, que é o produto do metabolismo celular, passa através da barreira alvéolo-capilar para o exterior do corpo através do complexo tóraco-pulmonar (24).

### 2.1.2 Acidentes relacionados com a dissolução de gases, particularmente nitrogénio.

As complicações gasosas respiratórias ocorrem principalmente durante mergulhos de diferentes profundidades com longos tempos de imersão. Durante esta fase de

isopressão, as pressões parciais condicionadas pela profundidade atuam sobre o mergulhador durante um período de tempo mais longo (intervalo de exposição),(18). Em princípio, qualquer componente gasoso dito "inerte" pode causar narcose a pressões parciais elevadas. Esta narcose é definida como uma modificação da consciência e do comportamento, assim como uma alteração da função neuromuscular (25). A acção destes gases inertes segue os princípios farmacodinâmicos da regra Meyer-Overtone para a utilização de substâncias anestésicas. De facto, quanto mais lipofílica for uma substância, maior será o seu poder narcótico (26).

A elevada presença de azoto no ar e as suas propriedades como gás inerte tornam-no um gás de risco para o mergulhador. De facto, sendo este gás inerte, não é consumido pelo corpo. Isto pode levar a problemas chamados "doença de descompressão" durante um ciclo de sobre-pressurização do corpo e depois regressar à pressão original durante um mergulho.

Estes acidentes são qualificados como emergências médicas. Ocorrem durante as fases de subida. Os seus efeitos podem persistir por a longo prazo. São a consequência de uma cascata de processos bioquímicos induzidos pela pressão ambiente.

Durante a descida, a pressão parcial dos gases respiratórios aumenta. Isto, de acordo com a lei de Henry, irá induzir uma quantidade crescente de nitrogénio dissolvido no sangue. Neste ponto, existe um diferencial de pressão parcial entre os gases dissolvidos no sangue e os gases dissolvidos no tecido corporal circundante. Este gradiente de concentração e pressão provocará uma maior difusão de nitrogénio no sangue para os tecidos circundantes, que se tornará gradualmente saturado com gases dissolvidos. Esta saturação é influenciada pela pressão a que o mergulhador se desloca (diretamente relacionada com a pressão parcial), mas também pela duração da exposição destes compartimentos corporais a este azoto pressurizado (12,19). Esta acumulação é ainda maior quando o mergulhador está sob esforço (uma vez que há um aumento do fluxo sanguíneo). Alguns compartimentos corporais, tais como músculos ricamente vascularizados saturam e libertam rapidamente o azoto acumulado. No entanto, alguns tecidos, tais como o tecido adiposo, são lentos a saturar e têm um de-saturação lenta. Isto tem o efeito de atrasar a eliminação deste gás inerte pelo complexo tóraco-pulmonar.

Durante a subida, a pressão ambiente diminui, o que inverte o gradiente de pressão parcial entre o azoto dissolvido no sangue e o dissolvido nos outros compartimentos. O processo inverso de difusão ocorre então. O azoto deslocar-se-á dos compartimentos do corpo

(gordura, músculos, etc.) de volta para a corrente sanguínea e atravessará novamente a barreira alvéolo-capilar para ser eliminado pela respiração.

O perigo durante esta fase de inversão dos gradientes de pressão reside na rapidez da diminuição da pressão ambiente. Se a queda de pressão for demasiado brusca (ou seja, o mergulhador sobe demasiado depressa) pode levar a uma sobre-saturação de gases dissolvidos no sangue. O azoto dissolvido não tem tempo para se difundir através da membrana alvéolo-capilar e fica retido no compartimento sanguíneo. Esta supersaturação pode levar à formação de bolhas. Estas bolhas podem aumentar de diâmetro e, através da cavitação e da agregação plaquetária, levar à obstrução parcial ou total dos vasos sanguíneos, essenciais para o bom funcionamento de certos órgãos (12,27).

Esta obstrução dos vasos sanguíneos pode causar dor e uma variedade de patologias, cujos sintomas são semelhantes a acidentes vasculares cerebrais (ou seja, fraqueza súbita num lado do corpo, fala arrastada ou tonturas) ou constipação.

As bolhas de nitrogénio também levam à inflamação resultando edema e dor nos músculos, articulações e tendões. Em função da área afetada, o prognóstico pode ser de risco de vida (28).

### 2.1.3 Tabelas de descompressão

Em 1908, com base no feedback e a fim de prevenir doenças de descompressão, o Dr. John Scott Haldane desenvolveu um conjunto de algoritmos para a Marinha dos EUA. Estes algoritmos tiveram em conta as propriedades de saturação de azoto de cada compartimento do corpo, a fim de estabelecer um protocolo que reduzisse o risco de doença de descompressão durante a subida à superfície. Em 1962, a Marinha Francesa, com base nos algoritmos do Dr. Haldane, criou as primeiras tabelas de descompressão combinando vários algoritmos de descompressão de acordo com os compartimentos do corpo. Na sequência de outros acidentes, estas tabelas denominadas GERS 65 ( Grupo de Estudos e Investigação em espirometria) foram modificadas em 1990 para criar as tabelas actuais que conhecemos como MN90 ( Marinha Nacional 1990),(29,30).

Estas tabelas de mergulho por ar comprimido impõem várias regras a serem respeitadas durante um mergulho, tais como(31):



- Máximo de dois mergulhos por 24 horas
- A velocidade de subida deve situar-se entre os 15 e os 17 metros por minuto.
- Entre cada paragem, a velocidade de subida não deve exceder os 6 metros por minuto.
- Não são permitidos mergulhos para além dos 60 metros.

## 2.2 Comportamento fisiológico a média e alta altitude

### 2.2.1 Generalidades:

Seja a média ou alta altitude, a queda da pressão atmosférica expõe o corpo humano a vários constrangimentos físicos. De facto, como vimos anteriormente, quanto mais alto se sobe, mais baixa é a pressão atmosférica dentro da coluna de ar (32). De acordo com a lei de Dalton, esta diminuição é acompanhada por uma queda na pressão parcial dos componentes do gás atmosférico. O ar é, portanto, menos denso. Esta diminuição da densidade provoca uma diminuição da concentração de oxigénio no ar. Diz-se que este ambiente é "hipóxico". Para além destes factores, a temperatura diminui com a altitude. A cada mil metros, a temperatura cai 6,5 graus Celsius. Há também um aumento na taxa de radiação ultravioleta de 4% a cada 300 metros e uma diminuição na taxa de higrometria (33). Esta cascata de fenómenos físicos leva o corpo humano a implementar vários mecanismos de adaptação fisiológica que iremos discutir nas partes seguintes.

### 2.2.2 Resposta fisiológica ao ambiente hipóxico:

Durante um voo de avião ou uma subida rápida nas montanhas (por exemplo, num teleférico), o corpo humano é sujeito a uma rápida diminuição da concentração de oxigénio no ar. O principal efeito deste súbito esgotamento de oxigénio é estimular recetores sensíveis ao dióxido de carbono, oxigénio e pH. Estes recetores estão

localizados na área carotídea, que é uma área de alto fluxo sanguíneo. São chamados quimiorreceptores. Esta estimulação provocará reações fisiológicas de tipo ventilatório e cardíaco que estão intimamente ligadas. Esta fase é chamada fase de acomodação (34).

A nível ventilatório, a diminuição da pressão parcial de oxigénio provocará (35):

- Uma hipoventilação alveolar, que é o resultado de um défice na rotação dos componentes de gás ventilatório utilizados para manter a pressão parcial do dióxido de carbono ( $\text{PaCO}_2$ ). Este défice pode ser explicado por uma diminuição da difusão de gás na interface alvéolo-capilar.
- Uma disfunção da relação ventilação/perfusão. Isto significa que na região alvéolo-capilar, o sangue circula demasiado depressa através dos capilares sanguíneos. Isto é devido ao aumento do débito cardíaco. Isto resulta numa diminuição do intervalo de exposição na interface alvéolo-capilar, entre o sangue carregado de  $\text{CO}_2$  de um lado e os alvéolos ricos em oxigénio do outro. A qualidade da troca de gás é então alterada.
- A circulação geral do sangue será também afectada por esta súbita alteração da pressão atmosférica. A queda da pressão parcial de  $\text{O}_2$  levará a uma diminuição da saturação de oxigénio da hemoglobina sanguínea e a um aumento da concentração de  $\text{CO}_2$ . Há também um aumento da viscosidade do sangue. Isto provoca um aumento da pressão arterial que é o resultado da desidratação do corpo. Esta desidratação é devida à diminuição da humidade ambiente.

Estes mecanismos reacionais, devido à hipoxia, irão promover um aumento da frequência respiratória. Isto provoca uma hiperventilação reflexiva cujo objetivo é limitar a diminuição da pressão do oxigénio alveolar ( $\text{PAO}_2$ ) bem como a pressão arterial do oxigénio ( $\text{PaO}_2$ ). Este aumento da frequência respiratória será acompanhado por um aumento da frequência cardíaca a fim de eliminar o  $\text{CO}_2$  que anteriormente estava em excesso. Isto causa hipocapnia. Esta hipocapnia modificará o pH do sangue, o que provoca uma alcalose. Esta alcalose é compensada por um aumento da excreção de bicarbonato a nível renal para permitir o retorno a um pH sanguíneo normal (33,36).

### 2.2.3 Riscos fisiológicos de má acomodação a altitude e descompressão:

A subida rápida num avião não pressurizado ou a subida rápida nas montanhas é um factor de ocorrência de episódios de hipoxia aguda e de início da "doença de descompressão".

De facto, se tomarmos como exemplo o caso de um piloto a voar numa aeronave não pressurizada, o súbito aumento da altitude de voo provocará uma súbita queda na pressão atmosférica ambiente, bem como a pressão parcial dos elementos gasosos que compõem o ar. Esta entrada súbita num ambiente hipobárico activa vários processos fisiológicos que explicámos anteriormente. Estes processos podem, dependendo da velocidade de ascensão, do tempo de exposição e das sensibilidades fisiológicas individuais, causar ataques de hipoxia aguda.

Em função da gravidade destes ataques, os sintomas podem variar. A hiperventilação, como resultado de alcalose respiratória com hipocapnia e dispneia, pode causar vasoconstrição das artérias cerebrais. Isto impede uma boa irrigação do cérebro (34,37).

A hipoxia não é o único risco a ser considerado durante uma ascensão. Tal como nas subidas no mergulho, a fase de dessaturação do azoto dissolvido nos compartimentos do corpo tem lugar quando a pressão ambiente é reduzida. Este processo de dessaturação fisiológica segue o mesmo procedimento que o aplicado no mergulho autónomo durante a fase de subida a uma velocidade controlada. A taxa de ascensão desempenha um papel fundamental no desenvolvimento da doença de descompressão conhecido como "DCS" (em inglês: decompression sickness). de facto, quando o corpo é exposto a uma alteração súbita da pressão (por exemplo, durante a subida rápida de uma aeronave não pressurizada à altitude), o azoto dissolvido no corpo deixa os seus compartimentos. Se esta saída destes compartimentos biológicos for feita demasiado depressa (um gradiente de pressão demasiado grande), é provável que se formem bolhas de gás em diferentes áreas do corpo. Isto leva a uma variedade de sintomas e sinais clínicos. O sintoma mais comum é uma dor tipo articular « pain-only bends ».

Os sintomas de DCS são classificados em duas categorias. É feita uma distinção entre o DCS Tipo I, que diz respeito aos sintomas articulares, musculares e cutâneos, e o DCS Tipo II, que diz respeito aos sintomas neurológicos, vasculares e pulmonares (38,39).

A reversibilidade e a gravidade destes sintomas dependerão da rapidez com que o piloto ou mergulhador e a tripulação reagirem. De facto, quando os sintomas aparecem, é aconselhável realizar uma repressurização de emergência. Ou seja, a acção a tomar (para um piloto) será descer em altitude para evitar a formação de outras bolhas de gás e aterrar o mais depressa possível. Uma recompressão numa câmara hiperbárica deve ser considerada no caso do DCS tipo II. Geralmente, para um mergulhador, estes sintomas aparecem uma vez de volta ao barco.

A recompressão numa câmara hiperbárica é acompanhada por uma oxigenoterapia a 100%, a fim de ajudar a eliminação do azoto supersaturado (27,39).

Como resultado de investigações recentes sobre o DCS de altitude, verificou-se que a oxigenoterapia a 100% (durante 30 minutos antes de um voo acima dos 5000 metros), seguida de 100% de oxigenação (durante o voo), reduz significativamente o risco de desenvolvimento do DCS (38).

#### 2.2.4 Pressurização controlada em aeronaves (14):

Como regra, os aviões têm uma altitude de voo elevada. Há duas razões para isto. A primeira é que quanto mais alto um avião voa, menos combustível consome. A segunda é que a maioria dos eventos meteorológicos ocorre a baixas altitudes. A fim de evitar turbulências e tempestades, as aeronaves são forçadas a voar a grandes altitudes acima dos 2400 metros. A fim de voar em altitudes mais elevadas, a aeronave deve ser pressurizada.

Num sistema típico de pressurização, a cabine, o compartimento de voo e os compartimentos de bagagem estão integrados numa unidade selada capaz de manter o ar a uma pressão superior à pressão externa. Nos aviões alimentados por motores de turbina, o ar comprimido pelo motor é utilizado para pressurizar a cabine. O ar é expulso da fuselagem através de um dispositivo chamado válvula de descompressão. Ao regular a

saída de ar, a válvula de decompressão permite uma constante entrada de ar na área pressurizada.

Um sistema de pressurização mantém geralmente uma pressão de cabina equivalente a 8.000 pés, ou 2.500 metros, que é a altitude máxima de cruzeiro de uma aeronave não pressurizada. Isto evita mudanças rápidas na altitude da cabine que podem ser desconfortáveis ou causar ferimentos aos passageiros e tripulação. Além disso, a pressurização da cabine do avião é necessária para proteger os ocupantes da hipoxia. Numa cabine pressurizada, os ocupantes podem ser transportados confortavelmente e em segurança durante longos períodos se a altitude da cabine for mantida a 8.000 pés ou menos. A esta altitude, a utilização de equipamento de oxigénio não é necessária.

Tomemos o exemplo de um avião que voa a uma altitude de 28.000 pés, ou 8.500 metros. A esta altitude, a pressão atmosférica é de 330 hPa. Contudo, sabemos que a pressão standard da cabina é equivalente a uma altitude de 8.000 pés, ou 750 hPa. Para compensar este diferencial de pressão, o ar será injectado a uma pressão de 420 hPa na cabina pressurizada para atingir a pressão padrão equivalente a 8.000 pés.

Uma falha no sistema de pressurização ou na integridade da própria aeronave resultará em:

- Uma despressurização do compartimento de passageiros com riscos de hipoxia e barotrauma para os passageiros e tripulação.
- Uma despressurização rápida, dita “explosiva”, com um elevado risco de barotrauma.



## 3 Generalidades sobre os barotraumas:

### 3.1 Definição:

Barotrauma é um acidente devido a mudanças bruscas na pressão ambiente numa cavidade aerea com baixa deformabilidade (12). A lei Boyle-Mariotte é a principal causa deste efeito físico. Este acidente pode ocorrer em qualquer ambiente sujeito a mudanças rápidas de pressão com amplitudes elevadas.

#### Princípios mecânicos do barotrauma:

O corpo humano contém uma variedade de cavidades ou espaços fechados, tais como: seios nasais, cavidade timpânica, pulmões (especialmente os alvéolos pulmonares), estômago, etc.

As forças exercidas pela pressão aplicada às paredes de uma cavidade quase não deformável podem causar danos a essa cavidade.

Existem dois tipos de barotrauma, um chama-se "barotrauma de pressão positiva" e o outro "barotrauma de pressão negativa" (12,18,40).

O barotrauma de pressão negativa resulta da sucção central que ocorre quando a pressão no interior de uma cavidade é inferior à pressão ambiente. Isto cria uma depressão, também conhecido como o "efeito de vácuo" na cavidade. Dependendo da gravidade, isto pode levar à ruptura das paredes desta cavidade ou à lesão dos elementos anatómicos que a compõem. Isto é conhecido como barotrauma implosivo.

O barotrauma de pressão positiva ocorre quando a pressão dentro de uma cavidade de ar é mais elevada do que a do ambiente circundante. De facto, tomando o exemplo de um mergulhador ascendente, existe uma alta pressão dentro das suas cavidades corporais. Se houver um problema de equilíbrio de pressão entre estas cavidades e o ambiente externo, ou seja, se o ar pressurizado não puder escapar, cria-se uma sobrepressão que pode danificar a estrutura da cavidade. Isto é conhecido como barotrauma explosivo.

Como vimos anteriormente, os mergulhadores em ambientes subaquáticos, bem como os pilotos e os seus passageiros, são suscetíveis de serem afetados por este tipo de acidentes.

Contudo, existe outro público, talvez um pouco mais específico, que merece uma atenção especial. Estes são os indivíduos suscetíveis de ser sujeito aos chamados efeitos de "blast" (41).

#### O "Blast":

Mais conhecida como "onda de choque", o "blast" é uma onda de sobrepressão estática (onda Friedlander). Define-se como um aumento súbito, quase instantâneo e muito breve da pressão atmosférica, seguido de uma diminuição exponencial dessa pressão. É chamada uma onda de pressão estática porque não é acompanhada por qualquer movimento de gás. Durante uma explosão ao ar livre, são identificadas duas fases. A primeira é uma fase de sobrepressão positiva e a segunda é uma fase de subpressão negativa que se segue imediatamente à primeira. A segunda fase tem uma amplitude muito pequena, mas uma duração mais longa do que a fase de supressão positiva (41).

A capacidade de perturbação desta onda dependerá das suas propriedades, tais como:

- A sua amplitude, que corresponde ao valor do gradiente de sobrepressão  $\Delta P$ , também chamado Pico de Pressão, que é expresso em kPa ou psi.
- A duração da fase de sobrepressão  $t_0$  em milissegundos (ms), que é o tempo de aplicação da onda.
- O tempo para atingir a pressão máxima,  $\Delta t$  (geralmente menos de 1 microssegundo). A taxa de aumento da pressão está dependente da relação  $\Delta t/\Delta t$ .

Uma vez que o ar é um meio compressível, a velocidade de propagação da onda a partir do seu epicentro é de 300 m.s-1. Devido à natureza do meio, esta onda será muito rapidamente amortecida. De facto, observou-se que quando foi efetuado um tiro de morteiro de 81mm, o pico de pressão na vizinhança imediata (1 metro) era de 1300 kPa, enquanto a 2 metros, era de apenas 280 kPa (41).

Compreendemos, portanto, que a natureza do meio desempenhará um papel considerável na velocidade de propagação da onda, mas também no seu amortecimento. Para um meio aquoso, cuja densidade é 800 vezes maior e 10.000 vezes menos compressível do que a do ar, a velocidade de propagação de uma onda de choque é equivalente à do som na



água, ou seja, 1500 m.s-1. O seu amortecimento será muito menos marcado, e a onda continuará perigosa a uma maior distância (41).

O "blast" é, portanto, um risco não negligenciável no exercício de certas profissões, tais como:

- Explosão de minas, onde o pirotécnico tem de utilizar cargas explosivas de alta intensidade.
- A profissão militar em que o soldado em operações externas pode ser confrontado com ataques terroristas através da utilização bombas artesanais IED (improvised explosive device) e, conseqüentemente, estar sujeito aos seus efeitos (42).
- A profissão de operador de morteiro/sniper, onde o soldado é obrigado a usar armas de grande calibre que podem gerar ondas de choque prejudiciais quando disparadas (42).

## 3.2 Áreas corporais em risco de barotrauma:

### 3.2.1 Barotrauma dos pulmões:

O barotrauma pulmonar é o barotrauma mais comum encontrado no mergulho com escafandro. Define-se como danos estruturais nos pulmões causados pela expansão ou compressão do ar nos alvéolos pulmonares. Este acidente pode ocorrer durante as fases de ascensão. Isto é conhecido como barotrauma pulmonar de pressão positiva (BPpp). Também pode ocorrer durante a descida. A isto chama-se barotrauma pulmonar de pressão negativa (BPpn) (12,18).

A BPpp deve-se aos efeitos da lei de Boyle Mariotte, tal como discutido acima. Durante o mergulho, o mergulhador tem ar nos seus pulmões a uma pressão aproximadamente igual à do ambiente circundante. Durante a fase de ascensão, a pressão hidrostática diminui e o ar nos pulmões expande-se (Figura 5). Como regra geral, esta expansão de gás não tem qualquer consequência se o mergulhador exala continuamente durante a subida. No entanto, um acontecimento imprevisto (pânico, câimbra muscular, etc.) pode fazer com que o mergulhador pare conscientemente de respirar. Um processo

obstrutivo inconsciente como a água que entra na via aérea pode causar laringoespasmó e levar a um bloqueio respiratório. Nesses casos, os gases pulmonares em constante expansão já não podem escapar. Se esta obstrução persistir e a ascensão ainda estiver em curso, o resultado é um aumento do volume de ar intra-alveolar que pode levar ao rasgamento do alvéolo. Esta laceração do tecido, subjacente à pleura, pode induzir um pneumotórax, que no pior dos casos pode ser letal. Outras complicações podem surgir, tais como ruptura do parênquima alveolar próximo do hilo pulmonar, que pode levar a enfisema subcutâneo no aspeto mediastinal do pulmão.

Pode ocorrer um risco de embolia gasosa, com possível DCS como consequência, se houver rupturas concomitantes das veias pulmonares. Estas rupturas levam ao livre acesso ao ar que pode alcançar o átrio esquerdo do miocárdio e depois ser reinjectado em direção à periferia (18).

### 3.2.2 Barotrauma do sistema auditivo:

Barotrauma do ouvido é o barotrauma mais frequentemente experimentado no mergulho e em altitude, à frente do dos pulmões. Mais de metade de todos os mergulhadores (30-60%) já sofreram com este tipo de barotrauma, mesmo que apenas uma vez. A etologia desta lesão é variada. É frequentemente visto em praticantes iniciantes que têm dificuldades com as técnicas de equilíbrio de pressão. As áreas do sistema auditivo que podem ser afectadas são: o ouvido médio e interno (43).

Barotrauma do ouvido médio ocorre quando há uma incapacidade do mergulhador para igualizar as pressões entre a cavidade timpânica e o ouvido externo. Esta equalização da pressão depende em parte da tuba auditiva (ou trompa de Eustáquio) que liga o ouvido médio à nasofaringe e atua como uma válvula de alívio da pressão do ouvido médio. Este tubo auditivo é, por natureza, muito estreito. Um aumento da pressão externa durante uma submersão pode ser suficiente para causar um colapso que já não permite a passagem de ar através do corpo. O risco para o mergulhador pode ser a retração do tímpano com dores agudas. Se o fenómeno persistir e a diferença de pressão entre o ouvido interno e externo continuar a aumentar, isto pode levar a uma ruptura da membrana do tímpano. O súbito desaparecimento da dor é um sinal muito significativo (43).

Este fenómeno de colapso é também familiar para os aviadores. De facto, durante a Segunda Guerra Mundial, os pilotos de aviões “Stuka” que tinham experiência em técnicas de queda livre eram propensos a episódios barotraumáticos do ouvido médio. Portanto, em 1939, H. Frenzel elaborou uma técnica de equilíbrio de pressão sem mãos para evitar este tipo de barotrauma. Esta técnica consiste em fechar o nariz como no método de Valsalva, geralmente com um clipe nasal. Ao contrário do método de Valsalva, o aumento da pressão intra-oral não se deve a um esforço de expiração, mas sim à pressão da língua e dos músculos do pavimento bucal contra o palato (40).

Barotrauma do ouvido interno envolvendo o aparelho vestibulococlear está intimamente relacionado com o barotrauma que afeta o ouvido médio. De facto, na maioria dos casos, os barotraumas do ouvido médio não estão confinados a este compartimento. Em muitos casos, o sistema vestibulococlear é também afetado. As consequências podem variar desde ligeiras perturbações a disfunções permanentes do equilíbrio e da audição (43).

### 3.2.3 Barotrauma das vísceras:

Os barotraumas gastrointestinais são os barotraumas menos comuns. Afectam tanto mergulhadores, pilotos e alpinistas. No mergulho, este tipo de barotrauma pode ser causado quer pela ingestão de água do mar que, através de um processo de fermentação, provoca o aparecimento de gases digestivos, quer pela ingestão de bebidas gaseificadas antes da imersão ou da subida de altitude (para um piloto de avião, por exemplo), (12). Durante episódios digestivos barotraumáticos, o mergulhador sentirá dor abdominal durante a subida, tal como o piloto ou o alpinista que sentirá a mesma dor durante a fase de subida. De facto, de acordo com a lei de Boyle-Mariotte, quanto mais a pressão diminui, mais o volume aumenta no sistema digestivo, que é considerado como uma cavidade aérea expansível. Esta dilatação dos gases gástricos traduz-se em dor abdominal, que é geralmente acompanhada por mioespasmo (12).



## 4 Resumo anatómico e fisiológico da esfera oral:

### 4.1 Anatomia sinusal:

#### 4.1.1 Generalidade:

O seio maxilar, também conhecido como antro de Highmore, forma uma cavidade pneumática no interior do osso maxilar. É ligado à cavidade nasal pelo óstio maxilar. A sua cavidade é revestida com epitélio respiratório. Morfologicamente, o seio maxilar assemelha-se a uma grande cavidade piramidal quadrangular. A embriogénese desta cavidade começa às 16 semanas in utero a partir do viscerocrânio. Esta premissa da cavidade, que se encontra na superfície superior do maxilar, está localizada abaixo do pavimento orbital. Ele continuará a crescer durante os primeiros 15 anos de vida. O seu crescimento será contíguo ao dos germes dentários.

O tamanho dos seios nasais varia muito de indivíduo para indivíduo. A simetria dos seios nasais na mesma pessoa também pode variar. As grandes cavidades sinusais têm frequentemente recessos no pavimento do seio que podem estar intimamente ligados às raízes dos dentes. Esta proximidade pode ser uma fonte de dor dentária (Figura 12). O volume médio de um seio é de cerca de  $12 \text{ cm}^3$ , mas isto pode variar de 5 a  $20 \text{ cm}^3$ , dependendo do indivíduo. Os seios nasais podem ter uma variedade de configurações. As cavidades podem ser regulares ou irregulares com potenciais septos (44).



Figura 5: Secção anatómica através de um molar mostrando uma extensão inter-radicular (1) do seio maxilar (2), (Gaudy et al., 2011), (44).

#### 4.1.2 Anatomia do seio maxilar:

Dentro do maxilar, cinco paredes compõem o seio maxilar (44):

- A parede anterior ou (ântero-lateral): corresponde à face jugal e tem forma trapezoidal com um vértice inferior. É mais espesso na sua parte inferior e tende a tornar-se mais fino quanto mais se sobe em direção à borda orbital inferior.
- A parede posterior ou (pósterio-lateral): Tem forma quadrangular e separa as fossas infra temporais e pterígo-palatinas. Esta parede corresponde à tuberosidade maxilar. Contém o pedículo alveolar posterior-superior que é um suporte para os molares superiores.
- A parede superior: Corresponde a quase todo o piso orbital. É fino. É atravessada pelo canal orbital, bem como pelo sulco.
- A parede medial: Ocupa a metade inferior da cavidade nasal na sua parte inferior e está relacionada com o osso etmoidal na sua parte superior. Inclui o óstio nasal que comunica diretamente com o meato médio.

- A parede inferior ou (piso sinusal): forma uma goteira alongada na direção ântero-posterior, seguindo a crista alveolar. Está em frente dos ápices dentários.

### 4.1.3 Vascularização:

A vascularização do seio maxilar é assegurada pelas artérias provenientes da ramificação da artéria maxilar interna, ela própria proveniente da artéria carótida externa. Uma vez atravessado o forame pterigo-palatino, a artéria maxilar torna-se a artéria esfenopalatina.

Esta artéria termina na cavidade nasal e dá origem às artérias laterais posteriores e septais posteriores. Através de várias anastomoses, estas artérias terminais permitem uma vascularização completa do seio maxilar (44,45).

A drenagem venosa da parte posterior do seio maxilar é assegurada pela veia maxilar, enquanto a da parte anterior é assegurada pela veia facial (45).

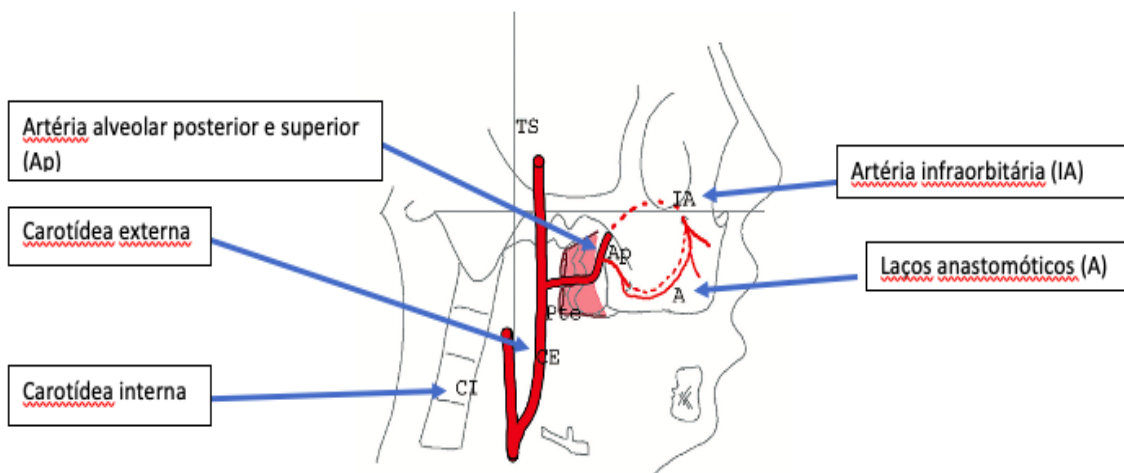


Figura 6: Diagrama da vascularização do seio maxilar. Diagrama adaptado de (Vacher, 2013), (46).

#### 4.1.4 Inervação:

A região do seio maxilar é inervada por dois ramos do nervo trigémeo (V), (45,46). Durante o seu percurso, o **nervo maxilar** (V<sub>2</sub>) torna-se sucessivamente o nervo esfeno palatino e o nervo infraorbitário. Tem origem na extremidade convexa do gânglio trigémeo entre o nervo oftálmico e o nervo mandibular. Após passar o buraco redondo e atravessar a fossa pterigomaxilar, segue-se a goteira e o canal infraorbitário para finalmente passar o buraco infra orbitário. Durante o seu curso, inerva diferentes regiões, tais como:

- A região medial do seio maxilar, escavada por ramos do nervo pterígio-palatino.
- A região ântero-lateral, interiorizada pelo nervo infra orbital.
- A região posterior, interiorizada pelo nervo palatino maior.

O **nervo mandibular** (V<sub>3</sub>) tem origem no bordo convexo do gânglio do trigémeo. O seu ramo sensitivo inerva a parte póstero-lateral do seio maxilar.

## 4.2 Anatomia temporo-mandibular e zona auricular:

### 4.2.1 Generalidade:

A região temporomandibular é constituída por dois ossos, a mandíbula e o osso temporal. Liga a mandíbula e o maxilar através da articulação temporomandibular. Esta articulação tem uma grande mobilidade e pode ser considerada como uma diartrose e uma bi-côndilo-menisco-artrose conjugada (45,47). Esta articulação permite à mandíbula realizar vários tipos de movimentos tais como sucção, fonação, deglutição e mastigação (47).

A proximidade da região temporomandibular à região auricular obriga-nos a fornecer alguns lembretes anatómicos sobre esta última. De facto, as zonas maxilares, bem como a região temporo-auricular, podem ser uma fonte de barotrauma, que discutiremos no próximo capítulo.



### **A mandíbula (45):**

É o único osso móvel na cabeça. É composto por um corpo e duas porções laterais chamadas "ramos mandibulares" simetricamente opostas. A mandíbula suporta toda a dentição inferior.

O corpo da mandíbula tem a forma de ferradura, com a arcada dentária localizada no seu bordo superior. Tem um bordo medial e lateral em cada lado e um bordo inferior.

A parte anterior do lado lateral tem uma crista mediana que se estende para baixo até à protuberância do queixo.

Na porção antero-mediana, são visíveis duas depressões chamadas fossas digástricas, onde os músculos com o mesmo nome têm inserção.

No bordo medial, a linha mielo-hioídea está presente ao longo de todo o seu comprimento, onde o músculo milo hióideo é inserido.

O ramo mandibular tem dois lados, lateral e medial, quatro arestas e quatro ângulos:

- O músculo masséter é inserido no lado lateral.
- No lado medial é inserido o músculo pterigóideo medial.
- No côndilo é inserido o músculo pterigóideo externo.
- No processo coronoide, o músculo temporal é inserido.

### **O osso temporal (45):**

Este osso craniano é considerado como sendo o osso mais complexo do corpo humano. É um osso uniforme e articula-se com os ossos parietal, occipital, malar, esfenóide e mandibular. Este osso tem quatro porções distintas que são:

- A porção escamosa: que se assemelha à válvula de certas conchas, daí o seu nome. Esta porção tem dois lados. Um deles, o lado exocraniano, é convexo, liso e faz parte da fossa temporal. O processo zigomático, que projecta para o exterior e para a frente, divide esta parte em duas partes: uma vertical, superior ou temporal, e a outra horizontal, menor, inferior, também chamada basilar (45).

- A região mastoide: Está situada na parte póstero-inferior do osso temporal, atrás do meato acústico externo. Os dois terços posteriores desta porção são derivados da base do rochedo e o terço anterior da parte escamosa do osso temporal. Esta região tem duas faces, exo cranial e endo cranial, bem como um bordo circunferencial (45).

- A região timpânica: Esta está situada anterior e inferior à região mastoide. É formado por um anel timpânico que se junta à rocha timpânica e circunscreve o meato acústico externo (45).

- A porção petro-tipânica ou Rochedo: é uma porção muito irregular. Tem a forma de uma pirâmide quadrangular com uma base, um vértice, quatro faces e quatro arestas. A base é dirigida para o exterior e funde-se com a região mastoide. A face anterior está relacionada com o lobo temporal do cérebro, mostra atrás do vértice a impressão do gânglio trigémeo de Gasser. A superfície posterior está ligada com o cerebelo e tem a abertura do meato acústico interno na sua parte intermédia. No lado inferior, o processo estiloide é uma extensão óssea pontiaguda, a zona de inserção de vários ligamentos e músculos (45).

### **O osso maxilar (45):**

É um osso par e está integrado ao maciço facial. É também o maior osso da face. Encontra-se abaixo das cavidades orbitais, fora das cavidades nasais e acima da cavidade oral da qual faz parte. É articulado com o osso frontal, etmoidal, lacrimal, malar, a outra maxila do lado oposto, a corneta inferior e o osso palatino. Há várias partes deste osso (45):

- O corpo: que tem uma forma piramidal com quatro faces. Na face anterior, podemos distinguir, na sua porção superior, um canal infra orbital que se abre para o buraco com o mesmo nome. Inferiormente, podemos observar a eminência canina e outras elevações que correspondem às raízes dos dentes. A superfície orbital forma a maior parte do chão orbital. A superfície infra temporal, separada da superfície anterior pelo processo zigomático, forma a parede anterior da fossa temporal. Na parte póstero-inferior desta face, pode-se distinguir a tuberosidade maxilar, acima da qual se encontra a abertura dos

canais alveolares para os nervos com o mesmo nome. Finalmente, distingue-se a superfície nasal onde se encontra o hiato maxilar, o que dá acesso ao seio maxilar.

- O processo zigomático: que se projeta de forma superior e tem duas faces. O lado nasal é dividido pela crista etmoidal e o lado lateral da crista lacrimal anterior.
- O processo alveolar: que é côncavo, apresenta alvéolos dentários para a implantação das raízes dentárias. Estes alvéolos dentários são divididos em septos intra alveolares.
- Processo palatino: articula-se com o seu homólogo do lado oposto. Forma o chão da cavidade nasal e a abóbada palatina. A superfície inferior é côncava. Um canal pode ser visto na borda lateral onde correm os nervos e vasos palatinos maiores.

#### 4.2.2 Vascularização:

##### **Mandibular:**

A vascularização da mandíbula tem a sua origem na artéria carótida externa. Isto dá origem a dois ramos colaterais: a artéria maxilar e a artéria facial.

A artéria maxilar divide-se em vários ramos, incluindo a artéria alveolar inferior, que por sua vez dá origem aos ramos dentários, queixo, mio-hioide, etc (45).

##### **Região temporomandibular:**

O osso temporal é irrigado pelas artérias temporais profundas, anteriores e posteriores, que surgem da artéria maxilar e seguem um curso ascendente entre o músculo temporal e o pericrânio. A irrigação é também fornecida pela artéria temporal superficial, que é um dos ramos da artéria carótida externa, e corre em frente do trago e atrás da articulação temporomandibular (45).

#### 4.2.3 Inervação:

##### **Mandibular:**

A inervação da mandíbula é feita através do quinto par craniano chamado o nervo trigêmeo. Este nervo ramifica-se em três ramos principais (ramo V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub> e V<sub>3</sub>) incluindo o nervo V<sub>3</sub>, responsável pela inervação sensitiva da hemi arcada dentária e gengival, bem

como a motricidade para os músculos mastigatórios (45). Antes de entrar no forâmen mentoniano, o nervo mandibular separa-se do nervo lingual com o qual cria as anastomoses. Uma vez no canal mandibular, o percurso do nervo é marcado por uma trifurcação em dois terços dos casos (48).

Depois de passar pelo canal mandibular, entra no orifício do queixo onde se divide em dois ramos, o nervo mentoniano e o nervo incisivo. A terceira furcação dá origem ao nervo alveolar posterior que percorre o canal retro molar e é responsável pela inervação dos molares e pré-molares (48).

### **Região temporomandibular:**

Esta área é inervada pelo nervo aurículo temporal, que é o ramo sensitivo do nervo mandibular, ele próprio originário do quinto par de nervos cranianos. Embora inervando a parte anterior e medial da articulação temporomandibular (ATM), os seus principais locais de inervação são a parte posterior e externa da ATM. A inervação da área externa da articulação é feita através do ramo temporal posterior profundo (47).

A inervação motora da atm é feita através dos ramos do nervo mandibular. Depois de atravessar o forame oval, este nervo divide-se em diferentes ramos, tais como:

- Os nervos temporais anteriores, médios e posteriores profundos;
- Dois ramos cada um inervando uma cabeça do músculo pterigóideo lateral;
- O nervo massetérico inervando o músculo com o mesmo nome.

Um dos ramos do nervo mandibular tem uma porção comum que inerva o músculo pterigóideo medial, o tensor do véu e o tímpano tensor. Existe assim uma interligação entre o ouvido médio e a área temporomandibular através desta porção comum. Um espasmo muscular transmitido pelo ramo mandibular pode causar, através das suas ramificações, distúrbios da trompa de Eustáquio que podem ter repercussões no ouvido médio, mas também espasmos musculares dos músculos mastigatórios. Este processo patológico pode ser bilateral (46).

#### 4.2.4 Anatomia auricular:

O ouvido é o órgão dedicado à audição e ao equilíbrio. É composto por três compartimentos distintos. Na sua porção externa situa-se o compartimento do ouvido externo, na sua porção média está circunscrita o ouvido médio e finalmente a sua porção interna que alberga o ouvido interno (45,49).

##### **A orelha externa:**

Esta porção tem como objetivo amplificar e transmitir estímulos acústicos, mas também proteger o ouvido médio. Consiste de um pavilhão auricular, também chamado de aurícula. Um canal cartilaginoso, também conhecido como o meato acústico externo, abre-se para esta aurícula, que está ligada lateralmente à cabeça. É delimitada na sua extremidade interna pelo tímpano, uma verdadeira barreira entre a orelha externa e a orelha média (45).

A inervação do pavilhão da orelha é transportada em (49):

- A sua porção superficial pelo nervo auricular posterior, mas também por um dos ramos do terceiro ramo do nervo trigémeo (V3), o nervo aurículo temporal.
- A sua porção profunda por ramos do décimo par de nervos cranianos (nervo vago) e do nervo facial (VII).

A inervação do meato acústico deve-se principalmente ao nervo aurículo temporal, um ramo colateral do nervo mandibular (V3), mas também ao nervo auricular, um ramo do nervo vago (X) (49).

##### **Ouvido médio:**

O ouvido médio comunica com a região mastoide na parte de trás e a região nasofaringe na parte da frente através do canal auditivo. A sua função é transmitir vibrações do tímpano através da cavidade do ouvido médio para a cavidade adjacente, o ouvido interno. Isto é conseguido pela acção de três ossos pequenos, interdependentes, mas móveis que são colocados entre o tímpano e o ouvido interno. Estes ossos são o martelo (ligado ao tímpano), a bigorna (ligada ao martelo pela articulação sinovial) e o

estribo (ligado à bigorna e à janela vestibular lateral [janela oval] do ouvido interno pela articulação sinovial)(45,49).

O canal auditivo, ou trompa de Eustáquio, liga o ouvido médio à nasofaringe e permite a equalização da pressão em ambos os lados da membrana timpânica. A sua abertura no ouvido médio é na parede anterior. Entra na nasofaringe anterior, para dentro e para baixo, logo atrás do meato inferior. É constituída por duas partes: a parte óssea (a terceira mais próxima do ouvido médio) e a parte cartilaginosa (os dois terços restantes),(49).

A orelha média é inervada pelo plexo timpânico. Isto inerva a membrana mucosa da parede e o conteúdo do ouvido médio, bem como a cavidade mastoide e a trompa de Eustáquio. É constituído pelo nervo timpânico, ramos do nervo glossofaríngeo (IX) e ramos do plexo carotídeo interno (49).

### **Ouvido interno:**

Este compartimento é composto por diferentes compartimentos ósseos que formam cavidades (o labirinto ósseo). Estas cavidades contêm vários canais e sacos membranosos (labirinto membranoso) nos quais circula a perilinfa (um fluido com uma composição semelhante à do líquido cefalorraquidiano). Todas estas cavidades estão localizadas na parte do petroso do osso temporal entre o ouvido médio e o meato acústico interno.

Dentro desta estrutura óssea existem dois complexos (45,49):

- O labirinto vestibular que é o órgão proprioceptivo envolvido na execução espacial dos movimentos corporais, bem como na manutenção postural da cabeça.
- O labirinto coclear que é o órgão utilizado para recolher as ondas acústicas transmitidas pelo tímpano e depois refletidas pelos ossículos timpânicos para a janela vestibular e finalmente para a cóclea.

A inervação do ouvido interno deve-se em parte ao nervo vestibulococlear (VIII) que transporta as fibras aferentes da audição (a cóclea) e o equilíbrio (o vestíbulo). Penetra na superfície lateral do tronco cerebral, entre a ponte e bolbo raquidiano, após deixar o osso temporal através do canal auditivo interno e atravessar a fossa craniana posterior. Está também intimamente ligado ao sétimo par de nervos cranianos (nervo facial) ao passar através do canal auditivo interno do osso temporal. Durante esta viagem através do osso temporal, o nervo facial e os seus ramos estão directamente ligados ao ouvido interno e médio (49).

## 4.3 Anatomia e fisiologia pulpo-dentária:

### 4.3.1 Anatomia dentária:

O ser humano adulto possui duas arcadas dentárias, cada uma possuindo dezasseis dentes. Cada hemi-arcada tem oito dentes, incluindo três dentes posteriores: os molares, dois pré-molares, um canino e dois incisivos (centrais e laterais). Cada órgão dentário compõe-se de três tecidos mineralizados, esmalte dentário, dentina e cimento, que estão envolvidos na formação da sua estrutura rígida. No entanto, ainda há um tecido mole envolvido na vitalidade, sensibilidade e desenvolvimento do dente: a polpa dentária (45,50).

#### Tecidos mineralizados (50):

- Esmalte dentário (Figura 17): é um tecido com um elevado conteúdo de cristais de hidroxiapatita. É considerado o tecido mais mineralizado do corpo humano.
- Cimento (Figura 17): é um tecido conjuntivo avascular com uma mineralização semelhante à dos ossos do corpo. Envolve a superfície exterior da raiz e fornece ancoragem radicular para as fibras do ligamento periodontal (PL).
- Dentina (Figura 17): apresenta um tecido conjuntivo avascular com uma dureza que se encontra entre o esmalte e o osso. É coberto pelo esmalte na sua porção coronal e pelo cimento na sua porção radicular. Na sua porção interna cobre a polpa (cameral e radicular). Este tecido é atravessado por uma multiplicidade de túbulos dentinários que servem de vectores para a transmissão de estímulos térmicos, vibratórios e barométricos à polpa. Ao contrário do esmalte, ao longo da vida há uma produção contínua de dentina que invade gradualmente o espaço da polpa.

#### Tecido mole (50):

- A polpa (Figura 17): está dentro destes três estratos minerais. É composto por vasos sanguíneos, vasos linfáticos e nervos que se estendem desde a câmara pulpar até a extremidade radicular através do forâmen apical. A polpa desempenha um papel na produção de dentina e na regeneração da mesma em

caso de lesões de carie. É também um recetor sensorial essencial para a deteção de qualquer estímulo que possa afetar a integridade estrutural do dente.

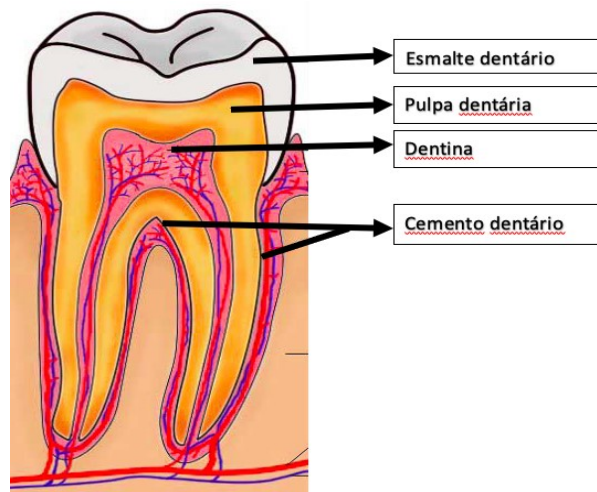


Figura 7: Representação esquemática das diferentes estruturas dentárias. Adaptado de (Anatomie dentaire, 2013), (51).

#### 4.3.2 Histologia pulpar e vascularização:

A pulpa dentária é composta por uma variedade de elementos celulares específicos ou externos a este tecido. Entre eles estão os odontoblastos, que são células diferenciadas originárias da crista neural e cuja presença é endémica à pulpa dentária. Estão localizados na periferia da pulpa, em contacto com a dentina. Os odontoblastos são células polarizadas, o seu corpo está localizado na pulpa enquanto as suas extensões se estendem para além da pulpa dentaria e projetam-se para os túbulos dentinários (52).

A vascularização pulpar é dita terminal. É feito por meio de vasos sanguíneos que entram e saem através do forâmen apical. Em alguns casos, dois vasos sanguíneos com o diâmetro de uma arteríola, cerca de 150 microns, podem atravessar o forame apical, passando os nervos sensoriais e simpáticos. Os vasos sanguíneos acessórios mais pequenos podem passar através de forâmenes secundários e penetrar na raiz. Depois de atravessarem o forâmen apical, as arteríolas viajam para a câmara da pulpa onde se ramificam em ramos laterais cujo papel é irrigar a zona sub-odontoblástica. À medida que



mais alto na câmara de pulpar, mais ramos haverá para criar uma densa rede capilar de sangue.

Estudos têm demonstrado a existência de anastomoses arteriais que ligam diretamente os sistemas arterial e venoso e cujo papel é regular a pressão dentro desta microcirculação pulpar (52,53).

### 4.3.3 Inervação e princípios fisiológicos da sensibilidade polpa-dentina:

A inervação da polpa dentária é constituída por dois tipos diferentes de fibras nervosas. As primeiras, as fibras nervosas sensitivas, são fibras eferentes e desempenham um papel na resposta à dor. A segunda, fibras nervosas simpáticas, fazem parte do sistema nervoso autónomo e estão envolvidas na homeostase do sangue. Têm também um papel importante na resposta inflamatória da polpa (53).

As fibras nervosas sensoriais terminam no limite polpa-dentina e mesmo na dentina. Formam uma rede densa chamada Raschkov plexus.

A dentina é atravessada por túbulos com um diâmetro médio de 2,5 microns desde a câmara da polpa até ao esmalte. A densidade média de túbulos por milímetro quadrado é de 30.000, o que pode variar dependendo da localidade e das diferenças na composição estrutural dos dentes em cada indivíduo. Em geral, o número de túbulos dentinários e o seu diâmetro diminui progressivamente desde a junção polpa-dentina até à junção esmalte-dentina (53).

Devido à presença destes túbulos, a junção amelo-dentinária pode ser uma área propensa à entrada de estímulos prejudiciais que podem levar a sensibilidades dentárias. Este é particularmente o caso quando esta área é exposta as agressões erosivas-abrasivas que expõem ainda mais os túbulos dentinários. Embora reconhecido pela comunidade científica, o mecanismo fisiológico da sensibilidade não foi claramente elucidado (53,54).

Existem diferentes conceitos de sensibilidade dentária:

- Processo hidrodinâmico: o rápido deslocamento de volumes de fluido dentinário na sequência de estimulação mecânica leva à deformação da polpa. Isto, segundo

Brännström e Asström (1972), provoca a ativação de fibras nervosas de tipo A (mecano sensíveis). Esta estimulação nociceptiva será proporcional ao nível de abrasão-erosão da superfície dentária (54).

- Processo odontoblástico: o odontoblasto, que se estende através do túbulo dentinário, é considerado como uma célula recetora sensitiva capaz de transmitir estímulos aplicados à dentina para terminações nervosas pulparem em estreito contacto com ela (54).

## 5 Barotraumatismo dentário em ambientes de alta e baixa pressão:

### 5.1 Contexto histórico:

Os primeiros casos de barotrauma que afetaram a zona oral e mais particularmente os dentes foram revelados pela primeira vez na década de 1940 em pilotos de caça. Isto foi referido como aerodontalgia (9,10). Este termo referia-se à dor dentária a que os pilotos poderiam estar sujeitos durante o combate aéreo, onde as variações de altitude envolviam grandes variações de pressão. Foi apenas nos últimos anos, com o crescimento do mergulho submarino, que este mesmo tipo de problema foi encontrado nos mergulhadores. Aerodontalgia recebeu então o nome de "Barodontalgia" em referência às pressões barométricas e hidrostáticas (7-9).

No mergulho autónomo, a ocorrência de barotrauma é muito mais plausível e frequente devido às grandes variações de pressão a que os mergulhadores estão sujeitos. Em altitude, as variações de pressão terão um delta máximo de "1" atmosfera, ou seja, 1 bar, o que as torna mais raras, especialmente porque as cabines para voos civis são pressurizadas (55). A maior parte dos dados disponíveis provém da investigação militar porque os pilotos civis manobram mais lentamente e em situações menos extremas do que os seus colegas militares. Como tal, são menos propensos a experimentar estes sintomas devido às rápidas mudanças da pressão atmosférica.

### 5.2 Definição de barotrauma e barodontalgia:

Como explicado anteriormente, o barotrauma é um acidente causado por alterações súbitas na pressão ambiente numa cavidade de ar. Isto leva a danos estruturais na cavidade, bem como nos tecidos que a compõem (12,56). No caso da esfera oral, pode tratar-se dos dentes, seios maxilares ou quaisquer outras áreas que possam ter cavidades patológicas ou fisiológicas. A nível dentário, as variações de pressão são suscetíveis de

afetar a fisiologia da polpa bem como a área periodontal e levar a uma dor chamada barodontalgia.

O termo barodontalgia refere-se à dor dentária “odontalgia”, induzida por pressão “baro”, não é uma condição patológica em si mesma, é a manifestação clínica de barotrauma associada à patologia oral dentro de um ou mais dentes sintomáticos ou assintomáticos. No entanto, a barodontalgia pode ser expressa sem barotrauma associado, nos casos em que, por exemplo, a pressão exerceria stress sobre as estruturas periodontais (periodonto) já sujeitas a patologia.(9,10,55).

A barodontalgia pode ocorrer na presença de patologias orais envolvendo: cárie dentária, restaurações protéticas e dentárias defeituosas, necrose e inflamação pulpar, bolsas periodontais, bem como periodontite apical.

Existe, portanto, uma relação estreita entre barotrauma e barodontalgia. Desenvolveremos isto na secção seguinte.

### 5.3 Fisiopatogénese do barotraumatismo dentário:

O barotraumatismo dentário é a consequência do stress barométrico aplicado a uma estrutura dentária oca. As consequências podem traduzir-se em uma fratura do dente, fratura da restauração (ambas serão chamadas fratura do dente), uma redução da retenção de uma restauração protética, compressão dos órgãos da polpa. Estes danos podem ser acompanhados por dores dentárias (7,57).

A explosão ou fratura de uma parte dentária é chamada "barodontocrexia" ou "odontocrexia". Ocorre devido à libertação ou retenção accidental de bolhas de ar dentro e sob uma restauração dentária como resultado de um procedimento dentário, protético ou endodôntico. Este barotrauma não é necessariamente acompanhado de dor.

No mergulho autónomo, o barodontocrexia ocorre mais frequentemente na subida. Isto porque o ar inspirado sob pressão durante a imersão é susceptível de se infiltrar através de microfissuras (Figura 18a). Na subida, o gás aprisionado na cavidade expande-se. Se esta expansão for demasiado grande, pode causar uma fractura dentária (Figura 18b); (56).

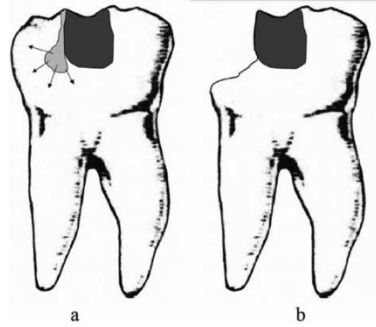


Figura 8: barodontocrexia no mergulho durante a subida (Gunepin et al., 2015), (56).

Contudo, embora muito mais rara, a barodontocrexia pode ocorrer na descida. Isto normalmente diz respeito a restaurações dentárias de baixa resistência tais como restaurações temporárias, mas também cáries dentárias (cariosas e não cariadas) subjacentes a uma restauração. Durante a descida, a pressão do ambiente circundante pode ser suficientemente elevada para exercer um stress mecânico capaz de esmagar a restauração dentária. A contracção do ar (pressão negativa) retido sob a restauração também desempenha um papel importante na criação de um vácuo dentro da cavidade.

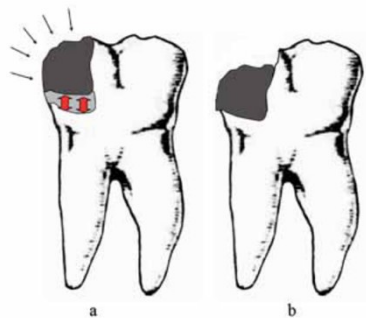


Figura 9: barodontocrexia no mergulho durante a descida Gunepin et al., 2015), (56).

Num estudo *in vitro*, Calder e Ramsey correlacionaram a ocorrência de barodontocrexia durante o mergulho com uma patologia oral existente. Descobriram que apenas dentes com preenchimentos defeituosos ou recidiva de cáries poderiam ser afectados pela exposição regular a alterações de pressão. Até hoje, apenas um episódio de fractura de um dente saudável num ambiente hiperbárico foi relatado (58).

A fratura dentária é uma lesão rara na área do mergulho. De facto, num estudo conduzido por Jagger e Shah de duzentos mergulhadores de quatro centros de mergulho no norte da Austrália, menos de 1% dos mergulhadores relataram ter sofrido uma fratura dentária (59). No entanto, a barodontocrexia pode causar dor e desconforto ao mergulhador. Em alguns casos, quando um fragmento de dente ou restauração é ingerida como resultado de uma explosão dentária, a segurança do mergulhador durante a imersão pode estar ameaçada. Isto também se aplica aos pilotos que possam estar sujeitos a este tipo de barotrauma. É portanto essencial que o médico dentista conheça a etiologia da barodontocrexia a fim de a prevenir (56,58,60).

A outra consequência do barotrauma pode ser o desajuste de um elemento protético de um dente. Por exemplo, ao cimentar uma coroa, a natureza do material de cimentação e a sua capacidade de suportar variações de pressão repetidas desempenhará um papel decisivo na manutenção da estanquicidade entre a parte protética e o dente. Um cimento mal ajustado ou mal aplicado pode reter microbolhas de ar, que por sua vez estão sujeitas a variações de pressão, fazendo com que o cimento se torne frágil (4,56,61).

A barosinusite pode ser considerada como um barotrauma dentário indireto. No mergulho autónomo, ocorre mais frequentemente durante a descida quando o seio maxilar está sujeito a pressão negativa. Este fenómeno de vácuo pode causar sensibilidades dentárias e mesmo dor, dependendo da proximidade dos recessos maxilares aos ápices dentários (7,44,57,62).

Por fim, a barodontalgia pode ser uma consequência direta do barotraumatismo dentário (1,56,63).

## 5.4 Etiologia e fatores contributivos da barodontalgia:

### **Etiologia:**

A etiologia da barodontalgia tem sido estudada há muito tempo. Embora a pressão de ar fosse o factor original conhecido, o mecanismo pelo qual ocorre a dor de dentes tem sido discutido há mais de 60 anos.

Desde 1940, foram apresentadas várias hipóteses sobre a ocorrência de episódios do barodontálgicos. De acordo com Kollmann, três hipóteses importantes podem explicar este fenómeno (64,65):

- Ativação de nociceptores devido à compressão ou expansão de bolhas de gás presas na dentina sob uma restauração ou ao nível radicular sob uma obturação.
- Ativação de nociceptores na região do pavimento do seio maxilar que, por condução, induzem o aparecimento de dores dentárias na área subjacente.
- Ativação de células nociceptivas no seio de uma polpa dentária patológica.

As duas últimas hipóteses são as mais plausíveis para Kollmann. De facto, esta correlação entre a patologia dentária subjacente e a barodontalgia é apoiada por provas histológicas. Estas evidências sugerem que a inflamação pulpar crónica persiste mesmo com uma fina camada de dentina cobrindo a polpa; por exemplo, em preparações de cavidades profundas (65).

Seja no mundo do mergulho ou da aviação, existe uma velha ideia de que o ar numa cavidade hermeticamente fechada criada quando uma restauração dentária é incorretamente preenchida poderia expandir-se e causar dor durante a subida. Isto nunca foi provado. Além disso, a experiência de Devoe e Morley (1945) refutou esta lenda. Esta experiência consistiu na criação de uma cavidade acima da câmara pulpar em oito pacientes, que tinha sido preparada com antecedência, a fim de colocar uma pastilha de algodão não compactada, supostamente contendo ar. Esta cavidade foi então selada com

um material de obturação colocado sobre o algodão. Todos os oito pacientes foram expostos a grande altitude e não mostraram sinais de dor (9).

Atualmente, não existe consenso que permitem explicar os processos inerentes à patogénese barodontalgia. Contudo, existe um consenso na comunidade científica de que a polpa saudável não é afetada por alterações nas pressões barométricas (9,64).

### **Fatores contributivos:**

A ocorrência de barodontalgia está intimamente relacionada com um ambiente oral propenso a (7,9,64):

- Certas patologias de lesões de cárie que podem ou não afetar a polpa dentária; focos infecciosos peri-radulares; periodontite etc.
- Negligência na manutenção da higiene oral ou falhas terapêuticas de procedimentos endodônticos parcialmente realizados, mas também de procedimentos dentários que envolvam o recomeço carioso pós-preenchimento etc.
- Patologias parafuncionais como o "bruxismo", que podem afetar a integridade de estruturas dentárias previamente restauradas.

Embora a comunidade científica não tenha até agora encontrado qualquer consenso sobre as hipóteses para explicar os mecanismos fisiopatológicos da barodontalgia, eles concordam que um episódio de barodontalgia é desencadeado por pelo menos dois fatores presentes ao mesmo tempo. Estes fatores são: variação da pressão e um ambiente oral predisponente (9,66):

A barodontalgia está também intimamente relacionada com as variações de pressão:

Em pilotos, um estudo conduzido pelo Dr. Gonzalez Santiago e pelo Dr. Bullón-Fernández em 506 pacientes da tripulação aérea militar, mostrou que a maioria dos episódios barodontais encontrados foram relatados em altitudes entre 900 e 7500 metros. Os dentes maxilares posteriores foram mais frequentemente afetados (50%) em comparação com os da arcada inferior (37,5%), com uma predominância do primeiro molar superior. Em 79% dos casos, a dor é aguda e em 76,9% dos casos é localizada.



Tende a diminuir ou cessar no regresso a uma altitude entre 900 e 3000 metros ou após a aterragem. No entanto, foi relatado que em 61% dos casos, esta dor pode persistir quando causada por doença periodontal.

Nos mergulhadores, a dor dentária associada a alterações de pressão é mais suscetível de afetar os dentes maxilares. A barodontalgia causada por alterações de pressão positiva nos seios maxilares causa dores dentárias na descida, enquanto que a barodontalgia puramente dentária é mais frequentemente exacerbada na subida à superfície (64).

E é relacionada com um terreno intra-oral já afetado pela patologia (56,66).

## 5.5 Diagnóstico clínico e diferencial:

### **Diagnóstico clínico:**

A maioria dos estudos concorda que os sinais clínicos de barotrauma são barodontorexia, barodontalgia e perda de retenção de elementos protéticos fixos (1,3,56,61).

Durante uma consulta, o médico dentista pode ter que ver um paciente que sofreu de barotrauma durante um voo ou durante um mergulho. No entanto, é quase impossível reproduzir as condições de pressão necessárias para desencadear um barotrauma dentário no consultório dentário tradicional. Neste caso, o médico será obrigado a realizar uma história clínica e um exame clínico completo e metuculoso, mas também a utilizar um questionário circunstancial. O objetivo é estabelecer um diagnóstico que permita localizar o dente ou dentes afetados e traçar a etiologia do barotrauma.

Seja na aviação civil e militar ou no mergulho militar e recreativo, estudos sobre a prevalência e etiologia do barotrauma estabeleceram protocolos de investigação (sob a forma de questionários) para permitir ao dentista o acesso à informação essencial necessária para ajudar a fazer o diagnóstico mais fiável possível (59,67).

Durante a investigação, o dentista irá focar as suas perguntas sobre (ver Figura 20):

- os antecedentes clínicos do paciente
- Últimos tratamentos dentários e a sua natureza
- Problemas buco-dentários atuais (para além do barotrauma)

- O contexto em que o barotrauma ocorreu
- Tipo de sintomas
- A característica do sintoma
- A localização da área afetada

| Dental problems following dives and operations   | Barotrauma or other pain in the head area (excluding teeth)   |
|--|---|
| Which ones? <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Shooting pain</li> <li><input type="checkbox"/> Pulsating pain</li> <li><input type="checkbox"/> Pressure pain</li> <li><input type="checkbox"/> Loss of tooth fragment</li> <li><input type="checkbox"/> Loss of crown/filling</li> </ul> | Where? <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Mouth</li> <li><input type="checkbox"/> Nose/paranasal sinuses</li> <li><input type="checkbox"/> Ears</li> <li><input type="checkbox"/> Eyes</li> <li><input type="checkbox"/> Upper airway</li> </ul> |
| Material of reconstruction? <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Amalgam</li> <li><input type="checkbox"/> Resin</li> <li><input type="checkbox"/> Crown</li> </ul>   | Type of pain? <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Shooting pain</li> <li><input type="checkbox"/> Pulsating pain</li> <li><input type="checkbox"/> Pressure pain</li> </ul>   |
| Where did the tooth injury happen? <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Posterior teeth</li> <li><input type="checkbox"/> Front teeth</li> </ul>  | When did this happen? <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Upon a rise in pressure</li> <li><input type="checkbox"/> Upon a decrease in pressure</li> <li><input type="checkbox"/> Following the dive or operation</li> </ul>                      |
| <b>Problems associated with mouthpiece</b>   | Once or several times? <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Once</li> <li><input type="checkbox"/> Several times</li> <li><input type="checkbox"/> At every dive or operation</li> </ul>   |
| Which ones? <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Pain</li> <li><input type="checkbox"/> Inflammation</li> <li><input type="checkbox"/> Temporomandibular articular troubles</li> <li><input type="checkbox"/> Aphthae</li> </ul>  | Did pain persist? <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Yes</li> <li><input type="checkbox"/> No</li> </ul>   |

Tabela 2: : *Questionário Circunstancial para vítimas de barotrauma dentário (Lussi et al., 2014), (67).*

No caso da barodontorexia, a maioria dos episódios de barotrauma ocorre durante a ascensão.

No entanto, em algumas circunstâncias, durante uma inspiração poderosa e sob pressão negativa, uma restauração temporária pode ser aspirada e ingerida pelo mergulhador ou piloto. No exame intra-oral o dente afetado pode ter uma fratura (ou fraturas) visível(eis) na sua porção coronal. Em alguns casos, a fratura não é visível, ou porque a área está abaixo da linha da gengiva, ou porque a lesão não é visível a olho nu ou porque o paciente referiu um dente errado. Neste caso, será necessária uma radiografia de controlo retro alveolar para assegurar a integridade estrutural do dente (56,60).

No caso de próteses fixas, a perda de retenção após um barotrauma é muito facilmente detectável na boca. De facto, durante o interrogatório, o paciente pode alegar ter deglutido um corpo estranho. Neste caso, durante o exame intra-oral, a parte protética (coroa/sobreposição/inlay, etc.) estará em falta. Noutros casos, pode ser observado um desajuste da parte protética. Existem outras situações em que a perda ou total desajuste de um elemento protético fixo segue-se ao barodontorexia. Será necessário um exame

radiológico adicional (retro alveolar e ortopantomografia) para determinar a natureza e extensão da lesão (56,60,68).

No que diz respeito à barodontalgia, se um paciente relatar ter sofrido um episódio de dor dentária durante um voo/mergulho, o dentista deve presumir que um barotrauma dentário está presente. Neste caso, deve ser realizado um historial médico completo e completo e um exame dentário.

Atualmente, existe uma classificação de barodontalgia "direta" que é reconhecida e aceite pela Federação Dentária Internacional (FDI). Foi desenvolvido por Ferjentsik e Aker em 1982 e correlaciona as causas e sintomas da barodontalgia em quatro classes (62,65):

| Classificação | Causas                 | Sintomas  |
|---------------|------------------------|---|
| I             | Pulpite irreversível   | Dor aguda durante alguns segundos quando a pressão aumenta. |
| II            | Pulpite reversível     | Dor contínua e pulsante quando a pressão aumenta.           |
| III           | Necrose pulpar         | Dor contínua e pulsante quando a pressão diminua.           |
| IV            | Patologias periapicais | Dor forte e persistente quando a pressão diminua e aumenta. |

Tabela 3: Classificação da barodontalgia direta, adaptado de (Jayasrikrupaa, 2020; Lussi et al., 2014), (62,67).

A Barodontalgia está dividida em dois grupos. Por um lado, temos a barodontalgia direta dividida em quatro classes cuja causa é puramente dentária. Por outro lado, a barodontalgia indireta refere-se ao barotrauma da área oro facial como a barosinusite e a barotite, que podem induzir dor dentária (Figura 22).

O desafio para o médico é estabelecer um diagnóstico preciso que irá indicar a patologia responsável pela barodontalgia. Contudo, a dificuldade será, por exemplo, identificar o dente afetado entre vários dentes restaurados ou endodonticamente tratados (principais suspeitos) ou avaliar a proximidade patológica de uma estrutura anatómica adjacente, tal como os recessos do seio maxilar. Tudo isto num consultório ordinário sem a capacidade física de reproduzir condições barométricas, um factor chave para o início da

barodontalgia. De facto, um estudo conduzido por Zadik e Chapnick (2007) na Força Aérea Israelita sobre a tripulação aérea mostrou que 14,8% dos casos de barodontalgia permaneceram por diagnosticar devido à falta de capacidade de os reproduzir em contexto clínico. Outro estudo realizado por Al-Hajri e Al-Madi (2006) sobre mergulhadores e pilotos sauditas encontrou uma recorrência de 25% da doença barodontálgica na área afetada.

Para além da anamnese, a atenção do médico estará centrada na pesquisa de possíveis restaurações defeituosas, cárie recorrente (cárie secundária) e patologia periodontal. Ele também deve excluir qualquer barosinusite e barotite que possa ser a causa de barodontalgia indireta. A fim de refinar a sua investigação, ele pode utilizar certas ferramentas de diagnóstico à sua disposição, tais como: o teste de vitalidade, radiologia (retro alveolar, panorâmica dentária, cone beam, etc.).

Atualmente, certas estruturas têm câmaras hiperbáricas que, sob certas condições, podem simular as condições barométricas que conduzem ao aparecimento da barodontalgia desejada. Estes métodos são caros e são geralmente destinados a pilotos civis/militares e mergulhadores. A sua aptidão operacional pode ser questionada se o diagnóstico da patologia causal não for feito (Jayasrikrupaa 2020; Lussi et al. 2014, 2014; Sahu et al. 2020; Zadik e Drucker 2011) (7,57,62,67).

|                                    | Barodontalgia directa   | Barodontalgia indirecta  |
|------------------------------------|---|--|
| <b>Patologia causal</b>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pulpite com/sem patologia periapical</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Barosinusite, barotite do ouvido médio.</li> </ul>  |
| <b>Contexto de ocorrência</b>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Durante a subida.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Durante a descida (com persistência pós mergulho).</li> </ul>   |
| <b>Sintomas</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pulpite reversível ou polpa necrótica com dor aguda e pulsátil.</li> <li>• Púlpito irreversível: dor aguda.</li> <li>• Patologia peri-radicular: dor forte e persistente.</li> </ul>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dores de dentes na área dos pré-molares superiores.</li> </ul>  |
| <b>História clínica</b>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamento dentário recente.</li> <li>• Episódio da sensibilidade dentária. (Quente, frio, bebidas doces, percussão/palpação).</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• História da sinusite</li> <li>• Histórico de infecção das vias aéreas superiores.</li> </ul>              |
| <b>Resultados do exame clínico</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Presença de cáries dentárias extensas.</li> <li>• Restauração defeituosa com cáries secundárias.</li> <li>• Resultado positivo do teste frio/percussão/palpação.</li> </ul>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dor à palpação do seio maxilar.</li> <li>• Dor sinusal na súbita mudança de posição da cabeça.</li> </ul> |
| <b>Relatório radiológico</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proximidade de uma lesão cariosa ou de uma restauração na frente da polpa.</li> <li>• Radio transparência peri radicular.</li> <li>• Obturação incompleta do canal radicular.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Radio opacidade no seio maxilar (presença de líquido).</li> </ul>   |

Tabela 4: Barodontalgia directa versus indirecta (diagnóstico diferencial), adaptado de (Zadik & Drucker, 2011), (57).

### Diagnóstico diferencial:

Durante as viagens aéreas ou mergulho, a barodontalgia indirecta não é a única causa de dor dentária. Outros fatores extrínsecos e intrínsecos podem falsear o diagnóstico clínico. Estes incluem:

- A temperatura do ambiente, mas também a temperatura dos gases inalados que podem causar dores dentárias. Em altitude, a cada 1000 pés (300 metros) a temperatura cai 2 graus Celsius. Um estudo de Harvey (1943) estabeleceu que uma temperatura inferior a 12 graus Celsius poderia induzir dor dentária. A queda súbita da temperatura na cavidade oral devido à inalação de gás de respiração pressurizado também pode causar dores dentárias. O mesmo se aplica a temperatura da água ao mergulhar (8).

- As vibrações bem como a aceleração da máquina durante um voo são suscetíveis de estimular células nociceptivas na polpa e induzir dor dentária (63).
- Um erro nos procedimentos de voo ou protocolo de mergulho envolvendo uma queda súbita na pressão pode levar a uma rápida dessaturação dos gases dissolvidos no sangue. Se isto ocorrer na área peri-dentária, pode levar a uma diminuição do fluxo sanguíneo nos vasos sanguíneos que rodeiam a região apical dos dentes. Isto pode levar a sintomas geralmente associados à osteonecrose disbárica, mas nestes casos localizados aos dentes, tais como necrose apical ou hemorragia peri apical.  
Estas embolias gasosas são difíceis de detetar porque as bolhas de ar não são detetáveis através das ferramentas radiográficas à disposição do médico (8).
- As perturbações parafuncionais da articulação temporomandibular são induzidas pelo uso repetido do bocal usado para segurar o regulador de mergulho na boca. Estes podem, se não estiverem devidamente adaptados à anatomia oral do mergulhador, levar a dores na ATM que podem subsequentemente irradiar para os dentes. Além disso, durante um mergulho, a temperatura da água arrefece o rosto do mergulhador e conseqüentemente entorpece os músculos responsáveis por segurar o bocal na boca. Isto resulta no desconforto do mergulhador levando a uma mordida excessiva do bocal. Isto pode levar a fraturas dentárias, que neste caso não estão relacionadas com o barotraumatismo dentário. Atualmente, existem bocais adaptados à morfologia oral do mergulhador, que permitem ao mergulhador manter o regulador na boca sem ter de fazer qualquer esforço e assim preservar a ATM e os dentes de qualquer trauma.

## 5.6 Áreas da medicina dentária em risco de barotrauma:

Em medicina dentária, a gestão do barotrauma inscreve-se numa abordagem que combina a medicina dentária geral com as especificidades das variações de pressão. Atualmente, não existe nenhum consenso ou orientação oficial nacional ou internacional sobre este assunto. No entanto, vários estudos conduzidos por autores científicos nas últimas duas décadas tornaram possível padronizar e excluir o uso de certas técnicas e materiais. Estes estudos foram realizados quase exclusivamente sobre pessoal militar (pilotos e mergulhadores) e pessoal da aviação civil. O objetivo destes estudos foi estabelecer protocolos de tratamento para este tipo de pessoal. No entanto, atualmente, estes estudos ainda representam quase todos as fontes disponíveis para os dentistas que possam ser confrontados com este problema.

### 5.6.1 Área da medicina dentária restaurativa:

#### 5.6.1.1 *Etiologia:*

Como já vimos anteriormente, a fratura dentária pode resultar quer na fratura de uma restauração dentária quer na fratura do próprio odonte. Os casos clínicos relatados pela Zadik e os vários estudos in-vitro realizados sobre o assunto realçam a recorrência de certos fatores que predisõem a este tipo de barotrauma dentário.

De facto, na maioria dos casos, foram observadas fissuras e fendas no esmalte e/ou nas restaurações. Do mesmo modo, a recorrência de cáries sob restaurações tem sido observada.

Num contexto ordinário, com um paciente não sujeito a ambientes tão extremos, uma falha na estanqueidade relacionada com a recidiva da cárie implica um risco relativamente baixo de fratura dentária. Contudo, a associação destas lesões com um ambiente sujeito a grandes variações de pressão aumenta significativamente o risco de fratura dentária (60,69).

No decurso de uma restauração dentária, a obtenção de uma boa adesão (química ou mecânica) entre as interfaces: material de restauração/dentina e material de restauração/esmalte será um factor decisivo para a estanquicidade da restauração coronal. Isto irá determinar não só o sucesso do tratamento, mas também a sua longevidade.

Uma fuga começa com um espaço entre o tecido dentário e o material, o que facilita a penetração e a passagem dos componentes bacterianos. Um espaço de 2 microns é suficiente para permitir a entrada de componentes iatrogénicos que podem contaminar a interface. O produto de degradação destes componentes bacterianos leva à produção de enzimas e toxinas que podem criar um foco infeccioso sob a restauração. O risco é que estas toxinas se difundam através dos túbulos dentinários e causem uma resposta inflamatória da polpa. Pode esperar-se a ocorrência de pulpíte com o risco de necrose da polpa se a infecção progredir para a polpa (70).

As diferentes pesquisas conduzidas por Zadik, Gunepin e Mocquot destacam a responsabilidade do material restaurador quando um dente restaurado está sujeito a perda de estanquicidade. Isto porque cada material restaurador tem as suas próprias propriedades químicas e mecânicas, assim como protocolos de aplicação distintos. Cada material terá uma resposta diferente para os estímulos barométricos que lhe são aplicados. Isto irá afetar a integridade marginal da restauração.

### **O amálgama:**

Actualmente proibida em vários países da União Europeia devido ao seu elevado teor de mercúrio, a amálgama de mercúrio tem sido considerada há muito tempo o material de enchimento de eleição na odontologia restaurativa. Isto é devido à longevidade e estanquicidade marginal das restaurações, bem como aos seus baixos custos de aplicação. As vantagens terapêuticas da amálgama são devidas à presença de sais de cobre, que lhe conferem propriedades bactericidas e antissépticas.

A retenção de amálgama dentro de uma cavidade é chamada "micromecânica". De facto, depois de ter removido a totalidade do tecido cariado, o dente é preparado de forma a permitir a colocação e a retenção da amálgama a tempo. Esta preparação da cavidade consiste em criar uma base cavitária mais ampla para dar à cavidade uma forma trapezoidal. A amálgama é então compactada nesta cavidade, o que tem o efeito de a reter mecanicamente. Dez anos depois, as suas propriedades mecânicas e de selagem são ainda melhoradas, de modo que a recorrência de cáries é muito rara (71).



Contudo, de acordo com Zadik e Gunepin, a maioria dos casos de fratura dentária observados em pilotos e mergulhadores foram o resultado de uma restauração da amálgama da cavidade. Eles conseguiram examinar vários dentes de ambos os grupos. Eles relataram ouvir uma espécie de som de "rachar" no dente, com ou sem dor barodontálgica. Na maioria dos casos, uma fratura era clinicamente visível, quer na restauração da amálgama quer numa das paredes da cavidade. De facto, estes autores relatam que este tipo de fratura pode ser devido a:

- A contração do material num ambiente frio. De facto, experiências *in vitro* mostraram que as temperaturas frias podem causar amálgama a encolher 2,5 vezes mais do que o esmalte dos dentes (55). Na sua pesquisa sobre o impacto da temperatura nos dentes dos aviadores, Harvey (1943) descobriu que uma temperatura entre -30 e -40 graus Celsius só causou uma diminuição máxima para 22,8 graus Celsius nos caninos mandibulares e uma temperatura superior a 22,8 graus na área molar. Ele deduziu, portanto, que uma bebida fria teria mais probabilidades de diminuir a temperatura intra-oral do que um voo a grande altitude e que, portanto, esta contracção da amálgama não deveria ser mais frequente no piloto do que numa pessoa normal. É compreensível, portanto, que a temperatura possa desempenhar um papel na estabilidade dimensional da amálgama ao criar um hiato na interface amálgama/esmalte que permite a entrada de ar e bactérias. Nestas circunstâncias, é de esperar recidivas de cárie. Contudo, parece improvável que este seja um factor dominante no mecanismo da fractura dentária (55,60,69).
- O mal ajuste na colocação da amálgama durante a sua compactação pode ser a causa de uma fraqueza na selagem da interface amálgama/esmalte. Esta fuga marginal da restauração pode relacionar o ambiente intraoral com uma bolha de ar presa sob a restauração (devido a uma compactação insuficiente) ou a um chão de cavidades inadequadamente preparado (cáries residuais). Os ciclos de mergulho ou de voo repetidos podem, com o tempo, agravar a integridade estrutural da restauração, pondo-a em risco de fractura. Num estudo de caso de barontocrexia em pilotos e mergulhadores militares israelitas, Courtesy e Zadik foram capazes de demonstrar a correlação recorrente entre uma falha do selo marginal pós-tratamento e uma recidiva de cárie subjacente na restauração da amálgama (M Gunepin et al. 2010).

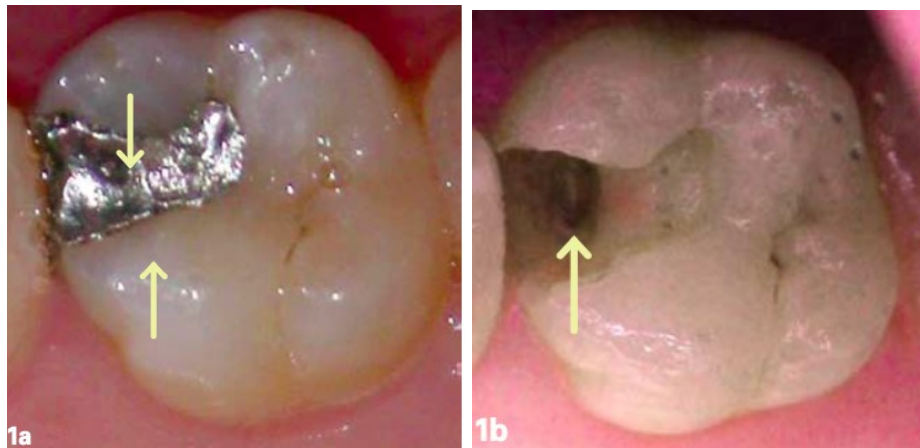


Figura 10: Fractura de dente numa restauração de amálgama mesio-distal com cárie subjacente (Gunepin et al., 2010), (60).

Na figura :10, a fotografia 1a do molar superior (dente 26) mostra-nos uma fratura numa restauração de amálgama méso-distal (indicada pelas setas). Após a remoção da amálgama, a figura 1.b mostra a presença de uma cárie subjacente à restauração.

- A anatomia da própria cavidade. Riethe e Gunter descobriram que as paredes convergentes das restaurações das cavidades de amálgama poderiam ser responsáveis pela fratura do próprio dente se as bolhas de ar se infiltrassem e expandissem sob a restauração. Uma vez que a bolha de ar não se pode difundir passivamente através da abertura na interface amálgama/esmalte, irá aplicar tensões laterais crescentes até atingir o limite de resistência mecânica do esmalte e causar a fratura (Fig. 23), (72).



Figura 11: (2a) Fractura da porção disto-palatino (dente 17) após barotrauma com (2b) presença de cárie subjacente extensa (Gunepin et al., 2010), (60).

- Resistência à fractura de amálgama a ciclos repetidos de exposição à pressão. Em 2018, um estudo para comparar o impacto da pressão sobre a resistência à fractura e micro fugas de amálgama e restaurações de resina composta produziu resultados significativos. Shafigh e colegas realizaram uma experiência com 60 pré-molares superiores saudáveis e repartiu-os em dois grupos. O primeiro grupo suportou restaurações de amálgama mesio-ocluso-distal (MOD) e o segundo grupo suportou restaurações de resina composta (MOD). Cada grupo foi dividido em 3 subgrupos, o primeiro simulando condições de mergulho hiperbáricas a 10 metros (2 bar), o segundo simulando condições de voo hipobáricas a 5500 metros (0,5 bar) e o último foi o grupo de controlo simulando condições normobáricas (1 bar). Descobriram que ciclos repetidos de pressão hiperbárica tinham o efeito de prejudicar a resistência à fractura de ambos os materiais. No entanto, o score de resistência à fractura das restaurações de resina composta foi significativamente maior do que a amálgama (69).

### **Resinas compostas:**

Em 1960, na sequência das exigências estéticas e sanitárias do mundo médico, que até então tinha considerado a amálgama como o gold standard na restauração dentária, surgiu um novo tipo de material restaurador: as resinas compostas. Estas são esteticamente mais agradáveis do que amálgamas e destinam-se a substituir outras resinas tais como as resinas acrílicas, consideradas menos satisfatórias.

As resinas compostas (RC) são compostas por uma matriz de resina orgânica e um reforço de carga, unidos por silano, um agente de ligação organo-mineral (73).

Hoje em dia, as resinas compostas são normalmente usadas na medicina dentária. Isto deve-se à sua facilidade de aplicação, propriedades mecânicas e qualidades estéticas que permitem ao médico oferecer uma vasta gama de cores.

No entanto, as resinas compostas têm várias desvantagens que sob condições de pressão semelhantes às encontradas no mergulho podem levar a um risco de barotrauma. Em primeiro lugar, nós temos :

- O efeito da contracção da fase orgânica durante a fase de polimerização. Esta polimerização pode resultar em taxas de contracção do material restaurador que vão de 2 a 3,5% para algumas resinas. Estas taxas são suficientemente significativas para induzir uma fraqueza no selo da interface RC/esmalte/dentina. Deve-se notar que o volume de contração de uma camada RC será proporcional ao seu volume inicial. Existe o risco do médico aumentar camadas demasiado grossas e que isto fará com que a restauração encolha demasiado. Uma RC com uma carga elevada tenderá a reduzir a taxa de contracção da RC (73).
- A profundidade da camada de incremento da RC. De facto, tem sido demonstrado que a fotopolimerização diminui significativamente com a profundidade. A uma profundidade de 4 mm, é dividido por cinco. É portanto compreensível que a fotopolimerização de uma camada demasiado espessa possa conduzir a defeitos de polimerização nas camadas mais profundas da restauração. Isto pode levar a fracturas da restauração devido a fraquezas na base. Mas, também pode desencadear sensibilidades devido à alta concentração de monómeros (não fotopolimerizados) no fundo da restauração que podem irritar a polpa e aumentar os factores irritantes já presentes tais como: cáries dentárias, irritação mecânica durante a preparação da cavidade (73).
- A viscosidade da RC pode ser um factor de falha na sua aplicação no fundo da base da cavidade (má adaptação da RC à morfologia da cavidade).
- O sistema adesivo utilizado, que tem um papel decisivo na adesão química na interface restauração/dentina. A aplicação incorrecta devido ao condicionamento ácido incompleto, por exemplo, pode levar ao risco de infiltração de fluido de polpa na interface dentina/RC (4,74).
- A resistência à pressão de cada RC desempenha um papel importante no risco de fractura, mas também na integridade das margens da restauração. Esta resistência mecânica depende da percentagem da matriz orgânica e da sua carga (4,73).

### 5.6.1.2 *Método terapêutico e prevenção:*

Na sequência de um barotrauma envolvendo um episódio de dor ou odontocrexia (com ou sem barodontalgia), o médico dentista deve remover o material restaurador (se ainda estiver presente) e higienizar a área subjacente à restauração, tendo o cuidado de remover o tecido cariado secundário.

É importante lembrar que em pacientes que estão regularmente expostos a tais ambientes, qualquer suspeita de cárie recorrente sob uma restauração, ou qualquer dúvida sobre a integridade de uma restauração assintomática, deve ser tratada preventivamente pelo dentista.

Há já alguns anos que existe uma técnica de preparação da cavidade que consiste na curetagem seletiva da área cariada, deixando uma fina camada de justapolpa não curada, para que esta camada possa mais tarde evoluir para a dentina terciária. No entanto, Schwendicke e Dörfer descobriram que a dentina sujeita ao recrescimento de cáries foi desproteïnizada e tornou-se mais porosa. Este excesso de porosidade reduz a sua capacidade de adesão durante a fase de selagem dos túbulos dentinários. Por conseguinte, tal técnica realizada em doentes sujeitos a grandes variações de pressão deve ser evitada (4).

A aplicação ou não de uma base protetora justa-pulpar está aberta ao debate. De facto, alguns autores defendem a aplicação de um material de proteção pulpar indireta, como o cimento de ionómero de vidro (CIV). Isto tem a particularidade de aderir quimicamente à dentina por meio de ligações iónicas. Não são necessários sistemas mecânicos de retenção ou adesivos, o que aumenta a estanquicidade e longevidade da restauração a longo prazo. Além disso, tem a vantagem de ser um excelente isolante térmico, o que é importante num ambiente subaquático ou aéreo onde as baixas temperaturas podem causar barodontalgia (8). Outros autores recomendam não aplicar uma base cavitária com CIV. De facto, a camada híbrida formada durante a selagem da dentina pela aplicação de um sistema IDS (immediat dentin sealling) seria suficiente para isolar a polpa de qualquer estímulo térmico nociceptivo. No entanto, foi demonstrado que os sistemas de 3 passos "etch and rinse" com IDS são mais eficazes na selagem a longo prazo dos túbulos dentinários do que os sistemas self-etch (74,75).

No entanto, todos os autores concordam que o uso da proteção indireta da polpa com hidróxido de cálcio não é recomendado para pacientes envolvidos neste tipo de atividade, dada a sua fraca capacidade mecânica e adesiva e a sua longevidade.

A proteção pulpar direta também não é recomendada para mergulhadores e aviadores. O risco de recorrência e barodontalgia é demasiado elevado (65).

No que diz respeito à escolha pelo dentista do material restaurador entre amálgama e resina composta para restaurações diretas, as restaurações adesivas parecem ser a primeira escolha porque a amálgama não adere à dentina ou ao esmalte. No entanto, ao tomar uma decisão, não podemos recomendar restaurações de amálgama sobre resinas compostas porque nenhum estudo comparou ainda as taxas de micro-fugas entre a dentina/amalgama e as interfaces dentina/composto em condições de alta pressão. Os únicos resultados disponíveis são aqueles realizados em condições normobáricas e são contraditórios.

No entanto, se o dentista optar por uma restauração direta da resina composta, a adição de um cimento de ionómero de vidro na interface resina/dentina compensaria a reação de contração da resina composta. De facto, as suas qualidades de adesão espontânea à dentina por quelação asseguram uma melhor retenção da restauração. No entanto, o CIV tem um ponto fraco. É sensível à desidratação. De facto, durante o mergulho ou voo a alta altitude num ambiente oral, sujeito a um fornecimento constante de ar pressurizado inalado, o teor de humidade diminui acentuadamente. Contudo, um estudo conduzido por Simmons et al. sobre cimentos de ionómero de vidro mostrou que a aplicação de um verniz protetor à base de fluoreto de sódio a 5% oferecia uma boa protecção ao CIV contra a desidratação enquanto melhorava as suas propriedades antimicrobianas (76). Portanto, é fortemente recomendado que seja aplicado ao CIV nas margens das restaurações de resina composta em pacientes mergulhadores ou pilotos (4). Uma camada justaposta de resina fluida sobre a base do CIV também pode proporcionar um bom espalhamento.

No caso de uma obturação em amálgama num doente mergulhador, uma preparação da cavidade baseada em óxido de zinco eugenol seria vantajosa e reduziria grandemente a ocorrência de barodontalgia. De facto, o eugenol tem propriedades sedativas no órgão de polpa e o eugenol de óxido de zinco favorece a produção de dentina terciária (65).

Embora nenhum estudo tenha ainda provado a sua eficácia, alguns autores acham interessante a ideia de uma restauração de amálgama colada.

Até hoje, os autores concordam que em pacientes que são mergulhadores ou pilotos e têm de tratar cáries extensas com uma grande preparação cavitária, são recomendadas restaurações indiretas com materiais cerâmicos. Estes materiais oferecem alta

estabilidade dimensional e alta resistência mecânica, assim como as resinas compostas. De facto, quanto maior for a restauração composta, maior será o risco de defeitos futuro (4,57,65).

Durante o processo por colagem das restaurações indiretas com uma resina fluida, é aconselhável aplicar uma camada de glicerina na superfície da margem da restauração, para permitir uma polimerização adequada da resina de cimentação (4)

## 5.6.2 Área de reabilitação oral:

### 5.6.2.1 *Etiologia:*

Vários estudos até à data demonstraram que a pressão barométrica durante o mergulho ou em altitude tem um efeito deletério na retenção e selagem de próteses fixas (68,77,78). Isto é devido a vários fatores.

Em primeiro lugar, temos os cimentos que, dependendo da sua natureza e protocolo de aplicação, serão mais ou menos sensíveis a ciclos repetidos de variação de pressão. A maioria dos estudos realizados até agora focaram-se em três tipos de cimentos: Fosfato de zinco, cimento de ionómero de vidro e resina composta fluida.

A primeira investigação sobre este assunto foi realizada em dois estudos sucessivos em 1997 e 1999 por Lyons et al.

No primeiro estudo, Lyons et al. visavam investigar o efeito da pressão ambiental em diferentes agentes de cimentação (tais como fosfato de zinco, CIV e RC fluida) sobre as coroas fundidas. Nesta experiência, 60 coroas foram cimentadas em 60 pré-molares. Para este efeito, os 60 pré-molares foram divididos em 3 grupos de 20 pré-molares cada. Cada grupo recebeu um agente de cimentação diferente: 20 com fosfato de zinco, 20 com CIV e 20 com RC fluida. Cada grupo foi então sujeito a 15 ciclos de pressão que variaram de 0 a 3 bar, respetivamente. Após estes ciclos, foi realizado um teste de tracção para expulsar as coroas nos três grupos de selantes. Os resultados mostraram que o cimento de fosfato de zinco tinha uma baixa resistência à tracção. Embora tenha tido um melhor desempenho, o CIV também tinha uma baixa resistência à tracção. A resina composta não mostrou qualquer fraqueza de tracção após ter sido sujeita a ciclos de pressão (78).

No seu segundo estudo, Lyon et al. investigaram a influência de um ambiente hiperbárico na micro infiltração e retenção de coroas. Neste estudo, diferentes dentes foram selecionados para receber coroas cimentadas com os mesmos agentes seladores que na primeira experiência. Estes dentes foram então sujeitos a 15 ciclos de pressão simulando um mergulho a 30 metros (4 bar). Uma verificação de micro-fugas e testes de resistência à tração foram então realizados em cada coroa. Os resultados mostraram que o fosfato de zinco e as coroas cimentadas com CIV tinham uma alta taxa de micro infiltração com baixa resistência à desinserção no teste de tração. É de notar que o fosfato de zinco teve os piores resultados. No entanto, não foi detectada nenhuma micro infiltração nas coroas cimentadas com RC e elas não mostraram nenhuma fraqueza no teste de tração (79).

Foram propostas várias explicações para explicar a micro infiltração durante a selagem das coroas de fosfato de zinco. De facto, as suas propriedades físico-químicas parecem dar-lhe uma baixa resistência a ciclos de pressão repetidos. Isto pode ser explicado pela sua fraca capacidade de suportar ciclos de contração de volume, mas também de suportar o stress mecânico compressivo induzido pela pressão. Contudo, parece que a preparação manual do fosfato de zinco pode desempenhar um papel considerável na formação de micro-bolhas de ar. Estas microbolhas de ar incorporadas no cimento podem ter uma tendência para se expandir e contrair, o que, como resultado de ciclos de pressão repetidos, pode levar a uma perda de estanquicidade ou mesmo ao descolamento da coroa (77,79).

Outro estudo foi conduzido por Kielbassa e colegas sobre a influência de um ambiente hipobárico (simulando condições de voo) na retenção de coroas de óxido de zircónio (maquinadas usando uma fresadora CAD/CAM) cimentadas em implantes de liga de titânio. Os agentes de cimentação estudados foram: cimento de fosfato de zinco misturado à mão, cimento de fosfato de zinco auto misturado e cimento de ionómero de vidro modificado com resina (CIVM). Para cada grupo, as coroas foram divididas num grupo de controlo de pressão ambiente e num grupo de trabalho de pressão simulada. Os resultados mostraram que em doentes susceptíveis a serem expostos a este tipo de pressão, a cimentação de coroas com cimento de fosfato de zinco misturado à mão poderia ter consequências deletérias na retenção de coroas suportadas por implantes de óxido de zircónio, em comparação com o cimento de fosfato de zinco auto misturado e o CIVM, que não apresentava qualquer alteração estrutural e dimensional, especialmente o CIVM.



Parece que a preparação ou condicionamento das peças protéticas pode ser a causa de fraqueza na retenção de próteses sujeitas a ciclos repetidos de variação de pressão. De facto, um estudo foi conduzido por Ozkan e colegas para investigar a resistência de uma resina composta ligada a um material protético que tinha sido submetido a vários tratamentos de superfície, a forças de cisalhamento e tração em condições hiperbáricas e hipobáricas. O material escolhido para este estudo foi o polieterecetona (PEEK). PEEK é um dos materiais da nova geração de materiais dentários. É um membro da família dos polímeros de alta performance e é conhecido pelas suas propriedades mecânicas e químicas. É cada vez mais utilizado em implantologia e próteses fixas. O estudo mostrou que o PEEK sem tratamento de superfície teve maus resultados em testes de cisalhamento e de tração. O mesmo se aplicava aos materiais de PEEK que tinham sido jateados à superfície. Os materiais PEEK que tinham sido tratados à superfície com ácido sulfúrico tiveram um bom resultado (61).

#### 5.6.2.2 *Método terapêutico e prevenção:*

Durante uma consulta, o dentista deve procurar instabilidade e cáries secundárias que possam desenvolver-se sob peças protéticas na boca do paciente. Isto é especialmente importante para os pacientes que estão sujeitos a variações de pressão. A fractura ou desalojamento da prótese e/ou do dente do pilar pode causar problemas que põem em risco a vida do mergulhador ou do paciente aviador.

Na sequência de barotrauma ou numa consulta de controlo, na presença de cárie subjacente ou quando se perde uma restauração dentária indireta, o dentista, após verificar o estado da polpa, removerá a parte protética e eliminará todo o tecido cariioso. Um sistema adesivo com o uso de um IDS será aplicado antes de uma reconstrução pré-prostética, se necessário (74,75).

O foco está no material de cimentação da parte protética para assegurar uma cimentação marginal ótima e uma longevidade da restauração.

Os autores concordam que é preferível usar um cimento de cimentação de resina composta. De facto, este material, graças à sua facilidade de penetração nos túbulos dentinários, oferece boas propriedades mecânicas e uma boa estanquicidade. No entanto, foi demonstrado ao PEEK que um tratamento de superfície excessivo com ácido sulfúrico pode criar porosidades demasiado profundas, limitando assim a penetração dos tags de

resina. Isto resulta no aprisionamento de microbolhas de ar no fundo dos poros do revestimento superficial da peça protética, que são suscetíveis a mudanças de pressão e assim induzem uma perda de estanquicidade na interface resina/PEEK (61).

Apesar da maioria dos estudos concordar que o cimento de fosfato de zinco misturado à mão não é adequado para a cimentação de coroas de óxido de zircónio maquinadas, um estudo recente mostrou que a fraqueza deste material reside mais no seu método de aplicação do que nas suas propriedades. De facto, Kielbassa e Müller foram capazes de mostrar que um cimento de fosfato de zinco auto-misturado livre de quaisquer bolhas de ar acidentais tinha uma maior resistência à tracção do que os CIVs modificados com resina. Isto pode ser de interesse quando se procuram forças de retenção elevadas (68).

Um cimento de selagem à base de ionómero de vidro modificado com resina também pode ser considerado para pacientes que possam estar expostos a tais ambientes. Embora este tipo de material tenha menores forças de retenção nas coroas de óxido de zircónio, parece não estar sujeito ao risco de incorporar bolhas de ar durante a manipulação manual e não é vulnerável a condições de alta e baixa pressão (68).

### 5.6.3 Área endodôntica:

#### 5.6.3.1 *Etiologia:*

O procedimento endodôntico é um passo delicado para o dentista. O seu sucesso reside na remoção total do tecido canalar infectado durante a desinfecção e instrumentação dos canais radiculares. Mas, também, na realização de uma obturação em conformidade com a anatomia da raiz com o objetivo de a tornar estanque a qualquer passagem de fluido externo em direção à zona peri apical. Este sucesso terapêutico é ainda mais importante para mergulhadores ou pilotos militares, pois pode ter um impacto na segurança e no sucesso da sua missão.

Estudos sobre este assunto relatam que a maioria dos casos de falha endodôntica neste tipo de pessoal resultam clinicamente em patologias peri apicais, enfisema subcutâneo e por vezes até mesmo fraturas radiculares (8,55).

Vários fatores podem ser responsáveis por falhas endodônticas:

- Uma má exploração do canal radicular ou a não obturação de um canal radicular pode, em caso de infiltração na margem de uma restauração coronal, permitir a entrada de bolhas de ar sob pressão que podem ficar presas na área periapical e causar necrose do periósteo (80). Outros casos relatam a perda do tratamento provisório intracanal entre duas fases do tratamento endodôntico, o que resulta na passagem de bolhas de ar e conteúdos infetados intracanal para a área periapical (8,55).
- O método de obturação é considerado como um factor determinante na estanquicidade do canal radicular. Em 2019, foi realizado um estudo pela Safai e colegas sobre as microinfiltrações induzidas por pressão em diferentes métodos de obturação de canais radiculares. A experiência foi conduzida em 135 dentes mono radiculares instrumentados com o mesmo sistema rotativo Mtwo. Eles foram então divididos em 3 grupos. O primeiro grupo recebeu um método de obturação com cone único e selante Endoseal MTA. O segundo grupo recebeu o método de condensação lateral de obturação com cimento de resina AH26 e o terceiro grupo foi obturação por condensação vertical com o mesmo selante (AH26). Cada grupo foi dividido em 3 subgrupos. Um foi submetido a uma pressão de 1 bar (normobárico), o segundo a 2 bar e o terceiro a 3 bar. O tempo de exposição foi de 20 ciclos de 120 minutos repartidos por um mês. Na sequência desta experiência, as amostras de cada grupo foram submetidas a um teste de microfugas com 2% de azul de metileno. Os resultados mostraram que os grupos que foram submetidos ao método de condensação lateral e de obturação de cone único registaram uma taxa de micro-fugas significativamente mais elevada do que o grupo que foi submetido ao método de condensação vertical (3).

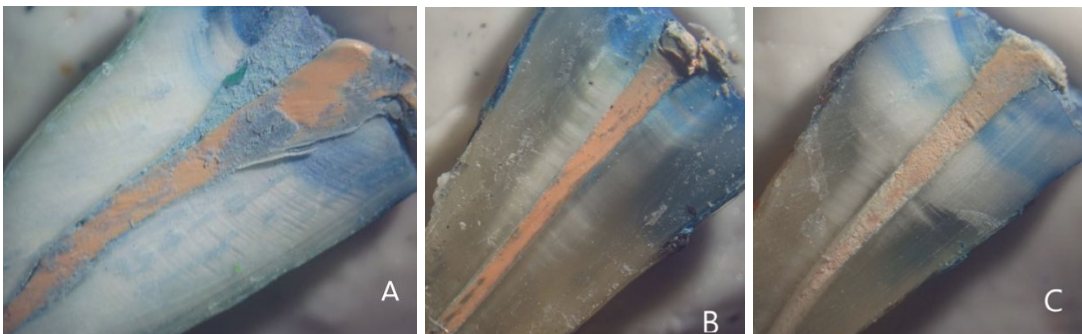


Figura 12: Resultados fotográficos da estereomicroscopia em 3 dentes de corte coronal-apical expostos a 20 ciclos repetidos de pressão de 3 bar (Safai & Farzaneh, 2019), (81).

Na figura acima, o dente na foto (A) foi submetido a um método de obturação de cone único, foto (B): método de condensação lateral e foto (C): método de condensação vertical. As áreas azuis representam a infiltração do azul de metileno.

- O material de obturação dos orifícios dos canais radiculares pode estar envolvido na perda da estanquidade radicular. O estudo da See e colegas destaca a porosidade do material de obturação temporária de hidróxido de cálcio em testes de pressão.

#### 5.6.3.2 *Método terapêutico e prevenção:*

Durante uma consulta e na presença deste público específico, o dentista deve estar atento para detetar qualquer dano pulpar envolvendo pulpíte irreversível ou necrose pulpar (82).

Como vimos anteriormente, um canal desobstruído pode ser uma fonte de enfisema localizado e mesmo de acidente de descompressão no caso da difusão de microbolhas de ar na corrente sanguínea (80). Por esta razão, o dentista deve prestar especial atenção à procura de canais desobstruídos na presença de um dente já endodônciado, ou à sua deteção no caso de endodontia futura. Nestes casos, e se os recursos materiais o permitirem, o uso de um microscópio cirúrgico ou lupa pode ser uma vantagem indispensável.

O médico dentista também se deve aplicar na remodelação tridimensional do canal radicular, respeitando os protocolos específicos para cada sistema de instrumentação, a fim de maximizar a selagem da obturação (81).

A técnica de obturação por condensação vertical quente e o método de obturação pré-aquecido de guta-percha (gutta-fusion por exemplo) deve ser preferido ao método de obturação por condensação lateral fria. De facto, vários estudos demonstraram que, ao contrário do método de condensação lateral fria, o método de obturação vertical quente reduz muito o risco de formação de microbolhas durante a obturação do canal radicular (81,83).

Além disso, foi relatado que uma pequena bola devido ao excesso de cimento endodôntico no ápice promove uma melhor vedação do canal radicular (84).

Entre as diferentes fases do tratamento endodôntico, deve ser evitado o uso de bolinha de algodão entre o enchimento do canal radicular e a restauração provisória. Isto porque a bola de algodão pode prender ar na câmara da polpa e, portanto, aumentar o risco de fractura da restauração temporária e mesmo do dente. Portanto, o uso do algodão deve ser limitado à entrada dos canais radiculares (85).

O ideal seria que o paciente se abstinhasse de mergulhar até que o procedimento endodôntico estivesse concluído. Contudo, no caso de mergulhadores e pilotos militares, os imperativos da sua profissão obriga-os a continuar. Neste caso, o dentista terá de assegurar que o material de obturação temporário está bem-adaptado à cavidade, a fim de garantir a máxima estanquicidade. Recomenda-se que estes pacientes sejam ensinados a reconhecer visualmente um potencial defeito de superfície na restauração temporária para prevenir o barotrauma.

No caso de exposição à polpa, a proteção direta da polpa deve ser evitada. Estudos demonstraram que o ambiente hiperbárico pode ter um efeito deletério na regeneração da polpa (86).

Se o tratamento convencional do canal radicular não for possível, a ressecção apical deve ser considerada a fim de obter um bom selamento. Se isto não for possível, o dentista terá de recorrer a exodontia (87).

#### 5.6.4 Um exemplo de caso clínico (88):

Num estudo sobre fraturas dentárias no ambiente hiperbárico, Peker et al. relatam o caso de um mergulhador amador de 40 anos que foi ao departamento de odontologia da Faculdade de Ancara (Turquia) numa emergência. Ele queixou-se de ter três dentes com restaurações fraturadas e desalojadas. Durante a história, o paciente declarou que um dentista o tinha tratado três anos antes, colocando três restaurações de amálgama nos dentes afetados e que desde então tinha experimentado dores durante os seus mergulhos de lazer. Ele então afirmou que durante um mergulho (27-35 metros) ligeiramente mais profundo do que os seus mergulhos habituais, ao longo de uma parede (wall dive), ele

ouviu um som de "rachar" e sentiu que tinha perdido duas das suas amálgamas de restauração. Ele disse que tinha de manter as suas restaurações debaixo da língua para evitar engoli-las até voltar à superfície.

Foi realizado um exame clínico. Durante o exame intra-oral o médico descobriu que as respetivas restaurações coronais dos pré-molares superiores (14 e 15) estavam em falta e que a restauração da amálgama do seu primeiro molar inferior (46) apresentava fraturas. Durante os testes de vitalidade, os dentes 14 e 15 responderam negativamente aos estímulos elétricos e estavam não vitais. O molar inferior respondeu positivamente ao teste elétrico e foi vital. Nos pré-molares afetados, os médicos notaram uma grande quantidade de dentina cariada nas cavidades onde a amálgama estava presente. Durante o exame radiográfico, foram observadas áreas radio transparentes na ortopantomografia em frente dos respetivos ápices dos dentes 14 e 15, indicando uma patologia periapical. Eles também distinguiram, à distal ao molar inferior, uma cárie interproximal no dente vizinho (89).

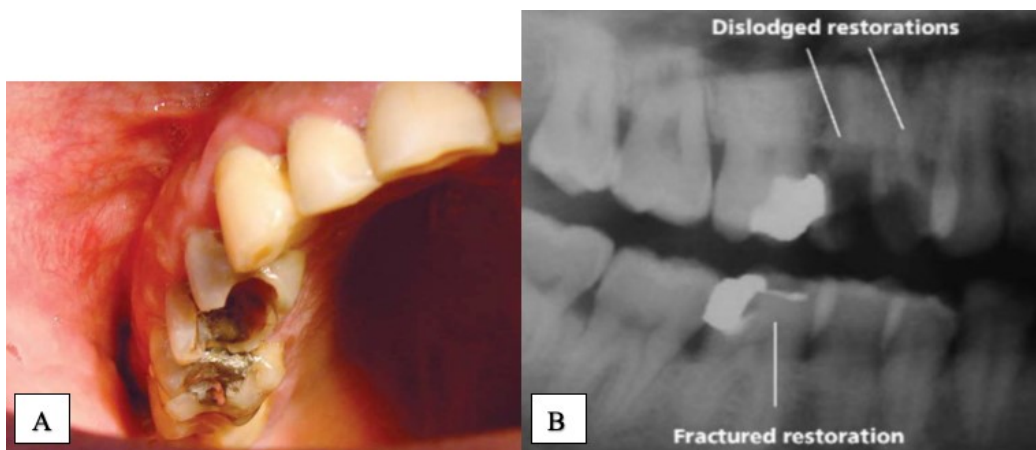


Figura 13: (A) Fotografia intraoral pré-operatória; (B) Secção ortopantomográfica pré-operatória (Peker et al., 2009), (88).

O protocolo terapêutico foi o seguinte para os pré-molares 14 e 15:

Primeiro, o médico removeu todos os tecidos cariados em ambos os pré-molares. O respectivo tratamento endodôntico dos dentes 14 e 15 foi então decidido. Os dentes foram preenchidos com gutta percha e um selante de resina epóxi. Foi então decidido restaurar o dente 15 com amálgama. O dente 14 tinha demasiada destruição coronal, por isso foi decidido colocar um núcleo e depois reabilitá-lo com uma coroa metalo-cerâmica cimentada com resina composta.

O protocolo terapêutico foi o seguinte para os molares 46 e 47:

Uma curetagem do tecido cariado foi realizada nos molares afetados. Foi então decidido restaurar os dentes 46 e 47 com restaurações de amálgama.



*Figura 14: Secção da ortopantomografia pós-operatório (Peker et al., 2009), (88).*

Follow-up pós-operatório:

Na visita de controlo de 4 meses, os dentes ainda estavam assintomáticos e não mostravam recuperação da cárie. O paciente não relatou qualquer barodontalgia pós-operatória.

## 5.6.5 área da cirurgia:

### 5.6.5.1 *Etiologia:*

Durante uma consulta, o dentista pode ver pacientes que sofreram barotrauma em áreas adjacentes à região intra-oral, com repercussões para esta última. Ele também pode ser confrontado com complicações pós-cirúrgicas exacerbadas ou diretamente induzidas pelo ambiente (hiperbárico e hipobárico).

### **Enfisema facial subcutâneo:**

O enfisema subcutâneo facial é definido como a intrusão accidental de ar sob pressão nos tecidos intersticiais do rosto. Caracteriza-se clinicamente por edema de tecidos moles. Este inchaço pode ser localizado ou difuso. À palpação, "crepitações" devido ao ar preso são frequentemente notadas (80,90).

Embora bastante raro, vários factores podem induzir enfisema facial. De facto, durante o tratamento endodôntico, o uso de instrumentos rotativos que geram altas pressões de ar ou o uso de sprays de ar comprimido na entrada dos canais radiculares são suscetíveis de permitir a passagem de microbolhas de ar na área periapical (90). Se isto ocorrer num paciente que é mergulhador, piloto ou mesmo uma pessoa que planeia um voo comercial, existe o risco de que estas bolhas de ar, uma vez estabelecidas, sejam sujeitas a alterações de pressão e possam difundir-se para o tecido celular periapical, afrouxando os espaços intersticiais.

Outros estudos científicos relatam o caso de um submarinista que apresentou edema agudo do lado direito do rosto durante diferentes mergulhos. Foi feita uma história e no exame clínico notou-se que a cúspide do seu pré-molar superior direito estava ausente e tinha o seu canal radicular exposto. Foi feito um exame mais aprofundado sobre este dente. O dentista foi capaz de inserir uma lima endodôntica sem causar qualquer dor ao paciente. Uma vez passado o apex e feito contacto com o tecido periapical, foi sentida uma dor severa. A posição da lima foi confirmada por radiografia retro alveolar. Os médicos então levantaram a hipótese de que devido à alta pressão ambiente dentro de um submarino profundo, o ar pressurizado inspirado pelo paciente tinha conseguido filtrar através do canal radicular até ao tecido periapical. As microbolhas de ar foram então capazes de se difundir através do osso da cavidade oral em direção ao pescoço e à face superior até se tornarem visíveis e incapacitantes. O enfisema facial devido à permeabilidade da raiz foi então diagnosticado (80).

Outros casos relatam a ocorrência de enfisema facial durante mergulhos pós tratamentos endodônticos como resultado de um canal radicular esquecido ou inadequadamente preenchido (8).



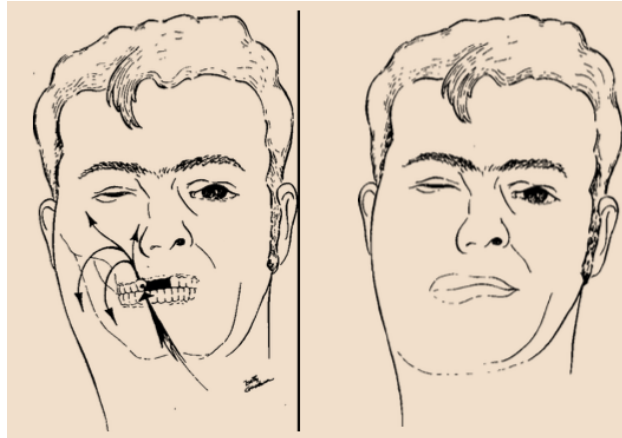


Figura 15: Mecanismo de difusão de ar extracorpóreo em espaços intersticiais em ambiente hiperbárico levando ao enfisema facial (Verunac, 1973), (80).

### **Barosinusite maxilar:**

A barosinusite ou aerosinusite é causada por dificuldades ou incapacidade dos seios nasais para equilibrar a sua pressão interna com a pressão do ambiente circundante. Embora menos comuns, cerca de 19-29% dos casos, os seios maxilares são, juntamente com os seios frontal e etmoide, o local destes barotraumas.

Existem dois tipos de mecanismos que podem levar à barosinusite (91–93):

A primeira é durante a subida do avião ou durante um regresso à superfície depois de um mergulho. De facto, o ar nos seios tenderá a dilatar. Num seio saudável, este aumento de pressão não tem qualquer consequência pois existe uma equalização automática da pressão entre a cavidade oral e o seio através do óstio sinusal. Num seio patológico com uma mucosa inflamada ou uma anomalia anatómica, o ar em expansão é comprimido ao longo da mucosa que reveste a parede do seio.

A segunda ocorre durante a descida. Num seio maxilar patológico, a pressão intrasinusal não pode ser equilibrada. O aumento da pressão do meio cria uma diminuição do volume de gás no interior do seio. Isto causa uma tração centrípeta sobre a mucosa que reveste a parede sinusal.

Esta cavidade sinusal é altamente inervada. De facto, o ramo maxilar (V2) do quinto par de nervos cranianos inerva a região dos seios nasais. Este ramo, que dá origem ao nervo infra orbital, divide-se em vários ramos, alguns dos quais no interior da região da arcada

dentária superior (através do plexo alveolar superior), mas também a região labial superior, tais como;

- O nervo alveolar superior, posterior e médio
- O nervo alveolar anterior superior

Assim, as forças centríptas aplicadas à parede do seio (área infra orbital) podem causar a ruptura da membrana de Schneider que cobre a fina placa óssea da parede maxilar. Isto pode resultar em neurapraxia por pressão negativa, que se manifesta por edema na bainha do nervo exposto. Os sintomas clínicos comuns são dormência do nariz médio, bochecha e lábio superior. Os danos no nervo maxilar também podem irradiar os seus ramos e causar barodontalgia dentária na área dos pré-molares superiores e primeiros molares.

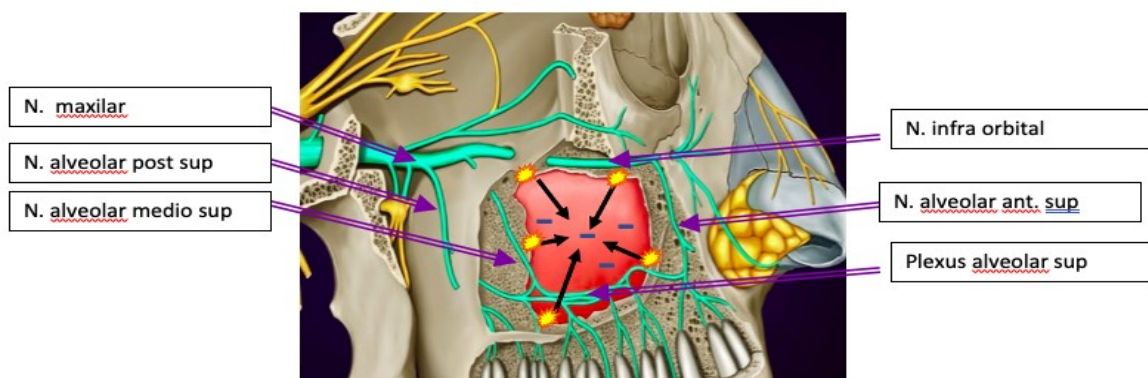


Figura 16: Pressão sinusal "squeeze" de pressão negativa ,adaptado de (Brandt, 2004; Chen et al., 2022; Misirovs & Mohamad, 2020; Oiba, 2015), (91–94).

A neurapraxia isquêmica de pressão positiva ocorre durante a compressão da mucosa sinusal quando há obstrução das veias que drenam o nervo exposto.

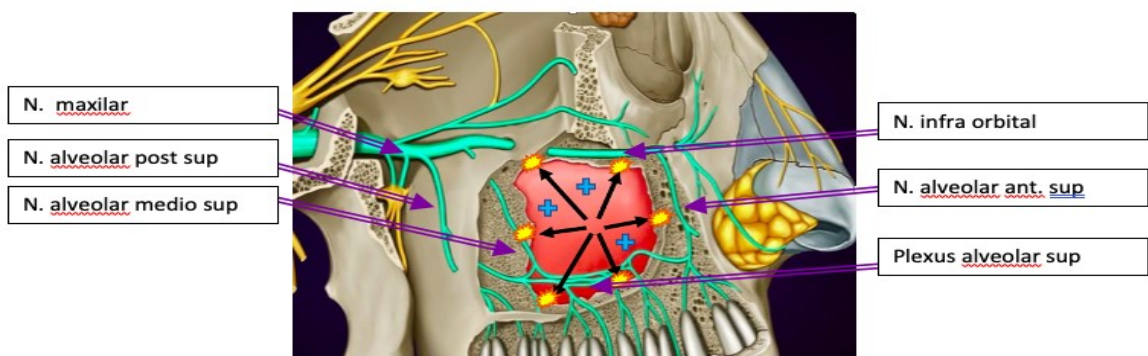


Figura 17: Barotrauma do seio de pressão positiva adaptado de (Brandt, 2004; Chen et al., 2022; Misirovs & Mohamad, 2020; Oiba, 2015), (91–94).

Nas suas pesquisas, Zadik e Gunepin relatam que a barosinusite também pode ser causada pela comunicação oro-antral após a exodontia do pré-molar superior e do molar (57,95,96).

### **Otite baro traumática:**

Durante um mergulho ou voo, a pressão exercida pelo ambiente (no caso do mergulho) bem como a exercida na trompa de Eustáquio durante a manobra de Valsalva pode criar compressão o nervo facial. Isto ocorre na porção do nervo facial que corre ao longo do ouvido médio. Esta compressão pode levar a uma neurapraxia compressiva isquêmica do nervo facial. Nós sabemos que um dos ramos do nervo mandibular tem uma porção comum com o nervo facial. Esta porção comum inerva o músculo pterigoide medial, o tensor do véu e o tensor do tímpano (49,97). Portanto, há relatos de paralisia unilateral ao nível da área jugal e lábio superior, da mandíbula durante episódios de otite baro traumática (91,98).

Este mecanismo patológico também pode afetar os passageiros em voos comerciais na maioria dos casos durante a fase de aterragem e pressurização da aeronave, mas também durante a fase de descolagem (99).

#### *5.6.5.2 Método terapêutico e prevenção:*

No caso de lidar com pacientes que são suscetíveis de serem expostos a grandes variações de pressão, o dentista deve prestar especial atenção aos tratamentos cirúrgicos passados e futuros. O dentista deve informar o doente sobre o período durante o qual ele ou ela não será exposto ao ambiente.

No caso de enfisema facial subcutâneo induzido pela permeabilidade periapical, o médico deve contra-indicar o paciente de nova exposição ao ambiente até que o paciente tenha iniciado o tratamento endodôntico. Os medicamentos anti-inflamatórios podem ajudar na resolução do edema. Em alguns casos, se o tratamento endodôntico não for viável ou se os imperativos profissionais exigirem que o paciente seja exposto ao ambiente a curto prazo (por exemplo, partida em missão), então a exodontia pode ser considerada (55,80).

Se o enfisema for devido a um procedimento endodôntico previamente realizado, o médico terá de desobstruir o dente se o enfisema for devido a uma obturação não estanque e iniciar novamente o tratamento endodôntico.

Se o enfisema for devido à penetração de microbolhas de ar durante a terapia endodôntica, não é necessário nenhum procedimento terapêutico. Os autores concordam que, na maioria dos casos, o mecanismo patológico é reversível. No entanto, a crioterapia e os medicamentos anti-inflamatórios parecem ajudar. Em casos raros, a terapia antibiótica pode ser considerada, embora a sua aplicação continue a ser debatida (80,90).

No caso de barodontalgia induzida pela barosinusite, o dentista desaconselhará o mergulho ou o voo durante a duração da inflamação. Se a inflamação persistir por mais de 24 horas após o mergulho, uma prescrição de esteroides tópicos ou orais e descongestionantes pode ser indicada.

Uma radiografia CBCT (cone beam computed tomography) pode ser realizada para identificar quaisquer proximidades patológicas entre os recessos sinuais e os ápices dentários dos pré-molares e molares superiores, bem como para identificar quaisquer lesões na parede do seio maxilar. O encaminhamento para um otorrinolaringologista pode ser considerado se o paciente necessitar de cirurgia endoscópica funcional dos seios maxilares para voltar às atividades (92,93).

No caso de um procedimento de exodontia envolvendo comunicação entre a cavidade intra-oral e o seio maxilar, o médico terá de selar cirurgicamente o local antes de qualquer outra exposição ao ambiente (57,95).

No caso da barodontalgia induzida por barotite do ouvido médio, o médico deve contraindicar qualquer exposição ao meio durante o período de inflamação. Nenhum tratamento é indicado neste caso, uma vez que o fenómeno parece ser reversível. Se ocorrerem mais episódios, o dentista deve encaminhar o doente para uma consulta otorrinolaringológica.

Em razão da sua sólida ancoragem devido à osteo-integração, os implantes não são suscetíveis de serem afetados por variações de pressão envolvendo o princípio "Boyle e Mariotte". Portanto, não há contra-indicação ou risco particular para pacientes com implantes quando expostos a ambientes hiperbáricos e hipobáricos. No entanto, tanto o

dentista como o paciente devem assegurar que a coroa suportada por implantes está devidamente fixada para que não possam ser criados espaços vazios (91).

O FDI contra-indica o mergulho e voos comerciais (pressurizados) durante 24 horas após a cirurgia que requer anestesia local e durante 7 dias após tratamento cirúrgico (64).



## Conclusão:

Hoje em dia, a prática do mergulho e o domínio do ambiente aéreo já não está limitado a um pequeno grupo de apaixonados e profissionais. Todos os anos, cada vez mais pessoas estão envolvidas em atividades de lazer a risco. O mesmo se aplica às viagens aéreas, que estão a aumentar em número. Embora tenha havido grandes avanços tecnológicos que reduziram significativamente os riscos associados à descompressão, este público inexperiente, que até agora nunca esteve, na sua maioria, exposto a ambientes de alta e baixa pressão, está a tornar-se vulnerável a quaisquer patologias induzidas por estes ambientes. De facto, a complexidade anatómica da esfera oral torna-a sujeita a variações súbitas de pressão e torna-a um alvo de eleição para a ocorrência de barotrauma.

Portanto, é dever do médico dentista ter um mínimo de conhecimentos teóricos sobre as potenciais repercussões fisiológicas inerentes a estes ambientes.

Atualmente, embora tenha havido um aumento significativo das pesquisas, a etiologia e os mecanismos do barotrauma dentário ainda não são bem compreendidos. No entanto, a barodontalgia parece ser o sinal clínico mais frequentemente referido nas vítimas de barotrauma dentário. Tem sido referido e classificado pela Federação Dentária Internacional como tendo mecanismos complexos de ocorrência que dependem do estado fisiológico intra-oral e variam entre indivíduos. Embora a harmonização internacional de prevenção e tratamento esteja em curso, ela está inteiramente dependente do avanço da investigação sobre o assunto.

Por fim, todos os médicos dentistas devem preocupar-se com a medicina dentária desportiva. Isto faz parte da sua capacidade profissional. Nenhum médico pode prever com que tipo de emergência dentária ele terá de lidar. No entanto, para o público em geral e para as estruturas desportivas, parece indispensável fornecer informações sobre os conhecimentos básicos dos riscos fisiológicos envolvidos nas atividades desportivas e organizar controlos periódicos para os desportistas. A segurança e o bem-estar são da responsabilidade de todos.





## Bibliografia:

1. Nakdimon I, Zadik Y. Barodontalgia Among Aircrew and Divers. *Aerospace Medicine and Human Performance*. 1 de fevereiro de 2019;90(2):128–31.
2. Ranna V, Malmstrom H, Yunker M, Feng C, Gajendra S. Prevalence of dental problems in recreational SCUBA divers: a pilot survey. *Br Dent J*. novembro de 2016;221(9):577–81.
3. Safai P, Farzaneh B, Fekrazad R. The effects of pressure in vitro on three methods of root canal obturation. *Diving Hyperb Med*. 31 de março de 2019;49(1):16–20.
4. Mocquot C, Cabrera A, Colon P, Bosco J, Grosogeat B, Pradelle-Plasse N. Effect of a hyperbaric environment (diving conditions) on adhesive restorations: an in vitro study. *Br Dent J*. setembro de 2017;223(5):347–51.
5. Kajol S, Sindhu R, Sunayana M, Prabu D, Raj M, Bharathwaj V. Aviation Dentistry: is it an Unexplored Field of Dentistry? A Cross-Sectional Study. *JAerosp Technol Manag*. 5 de junho de 2020;(12):2420.
6. Coëtmeur D, Briens E, Dassonville J, Vergne M. *Revue Maladies Respiratoire, Asthme et plongée*. 2001;18:375.
7. Sahu N, Naik D, Sahu S, Sahu KK. Barodontalgia: Dental Implications at High Altitudes. *Indian Journal of Forensic Medicine & Toxicolog*. 2020;14(4):5.
8. Zadik Y. Aviation dentistry: current concepts and practice. *Br Dent J*. 2009;206(1):11–6.
9. Dr Maity I, Dr Goel P. Barodontalgia : The Dental Distress—An Overview. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH*. 2015;4(2277).
10. Laval-Meunier F, Bertran PE, Arrivé E, Paris JF, Monteil M, Nguyen S, et al. Frequency of Barodontalgia Among Military or Civilian Pilots and Aircrew Members. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. 1 de outubro de 2013;84(10):1055–60.
11. Bert P. *La pression barométrique- recherche de physique expérimentale*. G.Masson. 1875.
12. Foster P. *La plongée sous-marine, l’adaptation de l’organisme et ses limites*. EDP Sciences. 2010.
13. International Bureau of Weights and Measures. *The International System of Units (SI)*. 2006.
14. FA Administration. *Pilot’s handbook of aeronautical knowledge*. Aviation Supplies&Academics. Newcastle, WA; 2016.

15. Chalon JP. *PRESSION ATMOSPHERIQUE* [Internet]. Encyclopædia Universalis. 2022. Disponível em: <https://www.universalis.fr/encyclopedie/pression-atmospherique/>
16. Marieb ElaineN, Hoehn K. *Human Anatomy & Physiology*. Pearson ERPI; 2010.
17. Graver D. *Scuba diving*. Fifth Edition. Champaign, IL: Human Kinetics; 2017. 244 p.
18. Edmonds C. *Diving Medicine for Scuba Divers*. 4th ed. National Library of Australia Catalogue; 2012.
19. Foret A, Torres P. *Plongée Plaisir - Niveau 2 (N2)*. 9.<sup>a</sup> ed. Gap; 2019.
20. *Pressure increases in salt water*. [Internet]. 2016. Disponível em: <http://www.scuba-tutor.com/images/physics/absolute-pressure-salt-water.png>
21. Edmonds C, Bennett M, Lippmann J, Mitchell S. *Diving and Subaquatic Medicine*. 5.<sup>a</sup> ed. 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL 33487-274: CRC Press Taylor & Francis Group; 2016.
22. Sacerdote P. La loi du mélange des gaz. — Nouvel appareil de démonstration. *J Phys Theor Appl*. 1899;8(1):319–29.
23. Antonello M, Delplanque D. *Comprendre la kinésithérapie respiratoire. Du diagnostic au projet thérapeutique*. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2009.
24. Lacour B, Belon JP. *Physiologie humaine*. Elsevier Masson; 2016.
25. Kirkland PJ, Mathew D, Modi P, Cooper JS. *Nitrogen Narcosis In Diving*. StatPearls Publishing. janeiro de 2022;1.
26. Clark JE. Moving in extreme environments: inert gas narcosis and underwater activities. *Extrem Physiol Med*. dezembro de 2015;4(1):1.
27. Vann RD, Butler FK, Mitchell SJ, Moon RE. Decompression illness. *The Lancet*. janeiro de 2011;377(9760):153–64.
28. Moon RE. *Maladie de décompression (Mal des caissons ; bends ")* [Internet]. 2021. Disponível em: <https://www.msmanuals.com/fr/professional/blessures-empoisonnement/lésions-liées-à-la-plongée-sous-marine-ou-au-travail-en-atmosphère-comprimée/maladie-de-décompression>
29. Blatteau JE, Guigues JM, Hugon M, Galland FM, Sainty JM, Menu JP. Plongée à l'air avec la table de décompression MN 90. Bilan de 12 années d'utilisation par la Marine française : à propos de 61 accidents de désaturation de 1990 à 2002. *Science & Sports*. junho de 2005;20(3):119–23.
30. Jones MW, Bret K, Han N. *Hyperbaric Physics*. StatPearls [Internet]. setembro de 2021;

31. Blanchard JL, Imbert F. Tables de plongée FFESSM. Etablies à partir des tables MN90 de la Marine Nationale. GAP; 2005.
32. Berney JY. L'homme confronté aux pressions extrêmes - la plongée en très haute altitude. *Revue Médicale Suisse*. 2001;(2405).
33. Institut National de Santé Publique Quebec. Altitude et acclimatation [Internet]. Gourvenement du Quebec; 2016 jul. Disponível em: <https://www.inspq.qc.ca/sante-voyage/guide/risques/altitude-acclimatation>
34. Dieupart C, Hoang AV, Munch S. Groupe missions-Le travail en haute altitude. CNRS - IRD - IRSTEA - MNHN; 2016 set.
35. Bonay M. Démarche diagnostique et thérapeutique devant une hypoxémie. *EMC - Médecine*. outubro de 2004;1(5):393–405.
36. Meurice JC. Voyage aérien et maladies respiratoires. *Revue des maladies respiratoires*. 2007;71.
37. Chenuel B. Hypoxie, intoxication au CO et hyperventilation: guide pour le pilote. 13èmes Entretiens de Médecine Aéronautique de Megève. 1 de julho de 2011;32.
38. Brown JR, Melchor JA. Altitude-Induced Decompression Sickness [Internet]. United States. Office of Aviation Medicine. Federal Aviation Administration; 2010 jan p. 5. Disponível em: <https://doi.org/10.21949/1403478>
39. Frigg C, Stepanek J, Gmür A, Suter J, Huber S. Maladie de décompression dans l'aviation. *Forum Med Suisse* [Internet]. 10 de abril de 2002 [citado 28 de março de 2022]; Disponível em: <https://doi.emh.ch/fms.2002.04487>
40. Rusoke-Dierich O. Diving Medicine [Internet]. Townsville, Queensland, Australia: Springer International Publishing; 2018 [citado 1 de abril de 2022]. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-73836-9>
41. Pats B, Lenoir B, Ausset S, Benois A. Blast et blessures par explosion. *EMC - Anesthésie-Réanimation*. janeiro de 2004;1(1):1–11.
42. Fish L, Scharre P. Protecting Warfighters from Blast Injury. Center for a New American Security (CNAS); 2018 mai p. 24. (Super Soldiers series).
43. Coulet O, Kossowski M, Louge P, Joseph JA. Otopathies dysbariques. *EMC - Oto-rhino-laryngologie*. 2010;5(4):13.
44. Gaudy JF, Lacour B, Gillot L, Gorce T, Charrier JL. Atlas d'anatomie implantaire. Issy-les-Moulineaux: Elsevier-Masson; 2011.
45. Zagalo C, dos Santos M, Cavacas A, Silva AJ, Grillo Evangelista J, Oliveira P, et al. Anatomia da cabeça e pescoço e anatomia dentária. Monte da Caparica: Egas Moniz Publicações; 2010.
46. Vacher C. Bases anatomiques de l'abord du sinus maxillaire pour l'implantologie. *Actual Odonto-Stomatol*. outubro de 2013;(265):19–23.

47. Dargaud J, Vinkka-Puhakka H. L'articulation temporo-mandibulaire. Morphologie. abril de 2004;88(280):3–12.
48. Mercier P, Bernard F, Delion M. Anatomie du nerf alvéolaire inférieur. GEROM Groupe Etudes Remodelage Osseux et bioMatériaux, IRIS-IBS Institut de biologie en santé, Université d'Angers,. 2016;7.
49. Drake RL, Mitchell AWM. Anatomie régionale, Oreille. Em: Gray's Anatomie pour les étudiants. Gray's Anatomy for Students, Third Edition. Elsevier Masson; 2015. p. 1127.
50. Husain MA. Dental Anatomy and Nomenclature for the Radiologist. Radiologic Clinics of North America. janeiro de 2018;56(1):1–11.
51. inconnu. Anatomie dent [Internet]. 2007. Disponível em: [https://fr.wikidiana.org/wiki/Fichier:Schéma\\_de\\_dent.jpg](https://fr.wikidiana.org/wiki/Fichier:Schéma_de_dent.jpg)
52. Nanci A. Ten Cate's Oral Histology. Development, Structure, and Function. Elsevier Masson; 2018.
53. Simon S, Cooper P, Berdal A, Machtou P. Biologie pulpaire: comprendre pour appliquer au quotidien. setembro de 2008;(20):209–35.
54. Maurin JC, Couble ML, Thivichon-Prince B, Magloire H. L'odontoblaste: Un acteur incontournable de la perception de la douleur dentinaire. Med Sci (Paris). março de 2013;29(3):293–9.
55. Zadik Y. Barodontalgia. Journal of Endodontics. abril de 2009;35(4):481–5.
56. Gunepin M, Derache F, Zadik Y. Problèmes odontologiques des plongeurs sous-marins militaires français : résultats de l'étude POP. médecine et armées. 2015;111–8.
57. Zadik Y, Drucker S. Diving dentistry: a review of the dental implications of scuba diving: Dental implications of scuba diving. Australian Dental Journal. setembro de 2011;56(3):265–71.
58. Gunepin M, Derache F, Risso J, Blatteau J, Riviere D. LES FRACTURES DENTAIREES LIÉES À LA PRATIQUE DE LA PLONGÉE SOUS-MARINE : ÉTIOLOGIES ET PRÉVENTION. Centre médical des armées de Draguignan. 2012;11.
59. Jagger RG, Shah CA, Weerapperuma ID, Jagger DC. The Prevalence of Orofacial Pain and Tooth Fracture (Odontocrexia) Associated with SCUBA Diving. Primary Dental Care. abril de 2009;os16(2):75–8.
60. Gunepin M, Derache F, Audoual T. Fracture of a Sound Tooth in a Pilot Under Hypobaric Conditions. aviat space environ med. 1 de julho de 2010;81(7):691–3.
61. Ozkan Ata S, Akay C, Ata N. Evaluation of bond strength of polyether ether ketone (PEEK) to composite resin on hypobaric and hyperbaric conditions. International

- Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials. 15 de agosto de 2021;1–8.
62. Jayasrikrupaa DR. BARODONTALGIA- AN AGONY FOR THE TOOTH. *Clinical Medicine*. 2020;07(03):5.
  63. Gunepin M, Derache F, Blatteau JE, Nakdimon I, Zadik Y. Incidence and Features of Barodontalgia Among Military Divers. *Aerospace Medicine and Human Performance*. 1 de fevereiro de 2016;87(2):137–40.
  64. Gaur TK, Shrivastava TV. Barodontalgia: A Clinical Entity. *Journal of Oral Health and Community Dentistry*. janeiro de 2012;6(1):18–20.
  65. Robichaud R, McNally ME. Barodontalgia as a Differential Diagnosis: Symptoms and Findings. *Journal of the Canadian Dental Association*. 2005;71(1):4.
  66. Dr Gonzalez-Santiago M, Dr Martinez-Sahuquillo-Marquez A, Dr Bullón-Fernandez P. Incidence of barodontalgias and their relation to oral/ dental condition in person- nel with responsibility in military flight. *Oral Medicine and Pathology*. 2004;
  67. Lussi A, Filippi A, Scherrer S, Schmidlin PR, Flury S, Neuhaus K, et al. Barodontalgias, dental and orofacial barotraumas, A survey in Swiss divers and caisson workers. 2014;124:6.
  68. Kielbassa AM, Müller JAG. Hypobaric Conditions and Retention of Dental Crowns Luted with Manually or Automixed Dental Cements. *Aerospace Medicine and Human Performance*. 1 de maio de 2018;89(5):446–52.
  69. Shafigh E, Fekrazad R, Beglou A. Impact of various pressures on fracture resistance and microleakage of amalgam and composite restorations. *Diving Hyperb Med*. 30 de setembro de 2018;48(3):168–72.
  70. Dupas C, Gaudin A, Perrin D, Marion D. Étanchéité des obturations coronaires. Service odontologie conservatrice-endodontie, Faculté de chirurgie dentaire [Internet]. dezembro de 2016; Disponível em: <https://www.em-consulte.com/article/1098142/etancheite-des-obturations-coronaires>
  71. Pant V, Rathore M, Singh A. The dental amalgam toxicity fear: A myth or actuality. *Toxicol Int*. 2012;19(2):81.
  72. Riethe P, Rau G. Prophylaxie et traitement conservateur des caries dentaires. Paris : Flammarion Médecine-Sciences, ©1989.; 1989. (Atlas de médecine dentaire).
  73. Leprince J, Leloup G, Vreven J, Weiss P, Raskin A. Polymères et résines composites. Elsevier Masson SAS. 2010. (Encyclopédie Médico-Chirurgicale).
  74. Samartzi TK, Papalexopoulos D, Sarafianou A, Kourtis S. Immediate Dentin Sealing: A Literature Review. *CCIDE*. junho de 2021;Volume 13:233–56.
  75. Roulet JeanF, Wilson NairiH, Fuzzi M, Nadine A. Pratique clinique en dentisterie conservatrice. Paris : Quintessence international. Vol. 1. 2003. 263 p.

76. Simmons JO, Meyers EJ, Lien W, Banfield RL, Roberts HW, Vandewalle KS. Effect of surface treatments on the mechanical properties and antimicrobial activity of desiccated glass ionomers. *Dental Materials*. novembro de 2016;32(11):1343–51.
77. Khanna A. Crown Cementing Strategy for Naval Divers. *Medical Journal Armed Forces India*. janeiro de 2010;66(1):46–9.
78. Lyons KM, Rodda JC, Hood JAA. The effect of environmental pressure changes during diving on the retentive strength of different luting agents for full cast crowns. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. novembro de 1997;78(5):522–7.
79. Lyons KM, Rodda JC, Hood JAA. Barodontalgia: A Review, and the Influence of Simulated Diving on Microleakage and on the Retention of Full Cast Crowns. *Military Medicine*. 1 de março de 1999;164(3):221–7.
80. Verunac JJ. Recurrent Severe Facial Emphysema in a Submariner. *The Journal of the American Dental Association*. novembro de 1973;87(6):1192–4.
81. Safai P, Farzaneh B. The effects of pressure in vitro on three methods of root canal obturation. *Diving Hyperb Med*. 31 de março de 2019;49(1):16–20.
82. Kini PV, Jathanna VR, Jathanna RV, Shetty K. Barodontalgia: Etiology, Features and Prevention. *ojdom*. maio de 2015;3(2):35–8.
83. Stoetzer M, Ruecker M, Koch A, Ziebolz D, Kokemüller H, Kaempf C, et al. In Vitro Effects of External Pressure Changes on the Sealing Ability under Simulated Diving Conditions. *ISRN Dentistry*. 15 de outubro de 2012;2012:1–5.
84. Bruy J. Barotraumatismes et algies dentaires dysbariques. *Medecine et armées*. 2005;(4):305- 10.
85. Gunepin M, Derache F, Schmid B, Blatteau JÉ, Risso JJ, Dychter L, et al. In vitro exploratory study on the impact of the pressure changes on the temporary coronal filling performed between sessions of endodontic treatment. *Revue d'odontostomatologie*. 2016;13.
86. Stoetzer M, Kuehlhorn C, Ruecker M, Ziebolz D, Gellrich NC, von See C. Pathophysiology of Barodontalgia: A Case Report and Review of the Literature. *Case Reports in Dentistry*. 2012;2012:1–4.
87. Serres J. Le point sur la barodontalgie chez le plongeur. *Chirurgie dentaire*. 2006;47–53.
88. Peker I, Erten H, Kayaoglu G. Dental Restoration Dislodgment and Fracture During Scuba Diving. *The Journal of the American Dental Association*. setembro de 2009;140(9):1118–21.
89. Rawlins JSP. Physical and pathophysiological effects of blast. *Injury*. janeiro de 1977;9(4):313–20.
90. Ja AA, Sx D, Ndy KG, Yjj A. EMPHYSEME SOUS-CUTANE FACIAL D'ORIGINE DENTAIRE : A PROPOS D'UN CAS CLINIQUE. 2015;22:5.

91. Brandt MT. Oral and Maxillofacial Aspects of Diving Medicine. *Military Medicine*. fevereiro de 2004;169(2):137–41.
92. Chen T, Pathak S, Hong EM, Benson B, Johnson AP, Svider PF. Diagnosis and Management of Barosinusitis: A Systematic Review. *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology*. 2022;13.
93. Misirovs R, Mohamad S. Reverse Squeeze Maxillary Sinus Barotrauma. *Ear Nose Throat J*. janeiro de 2020;99(1):NP9–10.
94. Oiba B. Le nerf Maxilaire (V2) [Internet]. 2015. Disponível em: [https://facmed-univ-oran.dz/ressources/fichiers\\_produits/fichier\\_produit\\_3778.pdf](https://facmed-univ-oran.dz/ressources/fichiers_produits/fichier_produit_3778.pdf)
95. Mandke L, Garg S. Aviation dentistry: New horizon, new challenge. Department of Conservative Dentistry & Endodontics, DY Patil University School of Dentistry, Navi Mumbai, Maharashtra, India. 2015;4.
96. Sakth DS. Aviation Dentistry. *JCDR* [Internet]. 2014 [citado 15 de novembro de 2021]; Disponível em: [http://www.jcdr.net/article\\_fulltext.asp?issn=0973-709x&year=2014&volume=8&issue=3&page=288&issn=0973-709x&id=4189](http://www.jcdr.net/article_fulltext.asp?issn=0973-709x&year=2014&volume=8&issue=3&page=288&issn=0973-709x&id=4189)
97. Vacher C. Anatomie clinique de l'articulation temporo-mandibulaire. *Actual Odontostomatol*. junho de 2009;(246):129–33.
98. Alwan M, Gordan M. Facial nerve baroparesis during airflight: a case report and literature review. *J Laryngol Otol*. janeiro de 2021;135(1):88–92.
99. White R, Shackleton D. Plane palsy: a case of transient facial weakness during an aircraft flight. *BMJ Case Reports*. 6 de julho de 2018;bcr-2018-224593.