

Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Educação Física

Respostas Fisiológicas
Agudas Durante o
Mergulho em Apnéia

Alexander Litjens

Campinas, 2002

Alexander Litjens

**Respostas Fisiológicas
Agudas Durante o
Mergulho em Apnéia**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Educação Física na modalidade de Treinamento em Esportes oferecido pela Faculdade de Educação Física da Universidade Estadual de Campinas.

Orientação: Profa. Dra. Mara Patrícia Traina Chacon-Mikahil

Campinas, 2002



Alexander Litjens

**Respostas Fisiológicas
Agudas Durante o
Mergulho em Apnéia**

Banca Examinadora

Profa. Dra. Fabiana Spina Martinelli

Profa. Dra. Mara Patrícia Traina Chacon-Mikahil

Agradecimento

Agradeço a todos aqueles que de alguma forma ajudaram no desenvolvimento e conclusão deste trabalho, direta ou indiretamente.

Agradeço em especial a minha família: pais e irmãos, por estarem presentes durante toda a minha vida, dos quais suas figuras foram sempre um exemplo a ser seguido por mim, e que de muito contribuíram para minha formação profissional e pessoal.

Agradeço, também, a minha namorada, Irene, por todo o apoio, compreensão e ajuda durante o período de realização deste trabalho.

Agradeço, também, a especial ajuda oferecida por minha orientadora, Mara Patrícia, que foi essencial na construção do corpo deste trabalho.

E, por fim, agradeço a Marcos Sampaio Guimarães pela sua especial atenção e contribuição, podendo se titular como um co-orientador deste trabalho, disponibilizando seu tempo, compartilhando suas experiências e conhecimentos.

Muito obrigado a todos!

Resumo

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS AGUDAS DURANTE O MERGULHO EM APNÉIA

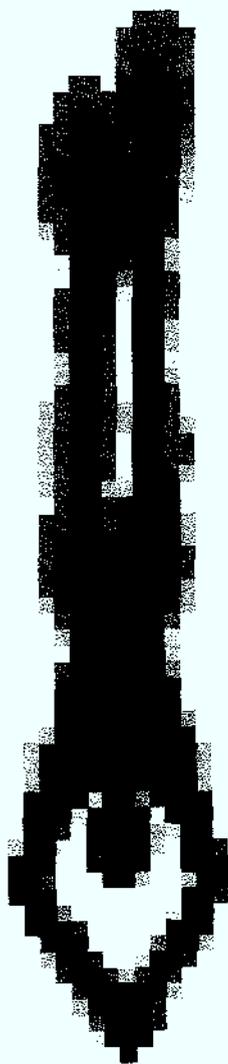
Autor: Alexander Litjens

Orientador: Prof.^a Dr.^a Mara Patrícia Traina Chacon-Mikahil

O mergulho é uma prática antiga, a princípio utilizada principalmente para a obtenção de alimento. Como esporte é moderna e só se organizou nos últimos anos. Neste trabalho, levantaremos alguns dos estudos mais aprofundados sobre esta antiga prática, e que hoje vem tomando seu espaço no mundo esportivo. Em termos clínicos, o termo apnéia se traduz na suspensão temporária da respiração, podendo ela ser de origem voluntária ou involuntária. Porém, procuramos abordar aqui apenas a apnéia voluntária que ocorre durante o mergulho em apnéia, ou mergulho livre, ou seja, o praticante mantém o ar em seus pulmões durante a imersão sem o uso de equipamentos, ocorrendo a suspensão voluntária da respiração. O objetivo desse trabalho é levantar na literatura estudos mais específicos do mergulho em apnéia, principalmente dos mergulhos que oferecem maiores riscos ao atleta ou ao praticante amador, ou seja, os mergulhos em grandes profundidades e com grande tempo de imersão. Não entraremos em detalhes quanto às modalidades esportivas, mas sim, quanto às respostas fisiológicas agudas que ocorrem no organismo humano devido ao estresse causado pelo mergulho, e possíveis de se verificar no decorrer deste. Para finalizar traremos alguns aspectos de segurança e cuidados que devemos tomar durante a prática do mergulho em apnéia, decorrentes das condições físicas do meio e das respostas agudas observadas durante a sua prática.

litjens@uol.com.br

Palavras Chaves: mergulho, apnéia e fisiologia



*“Plan your dive and
Dive your plan”*

Autor desconhecido.

Figura Fonte: AIDA, 2002.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. CONHECENDO UM POUCO DA MODALIDADE.....	4
2.1. O Mergulho Livre e suas Modalidades.....	4
2.1.1. Apnéia Estática.....	5
2.1.2. Apnéia Dinâmica.....	5
2.1.3. Lastro Constante.....	6
2.1.4. Lastro Variável.....	6
2.1.5. Imersão Livre.....	7
2.1.6. “No Limits”.....	7
2.1.7. A Pesca Submarina.....	8
3. HISTÓRIA DO MERGULHO EM APNÉIA.....	10
4. A FÍSICA DO MERGULHO.....	13
4.1. A Água.....	13
4.1.1. A Densidade.....	14
4.1.2. A Flutuabilidade.....	15
4.1.3. Hidro-Acústica.....	16
4.1.4. Hidro-Ótica.....	17
4.1.5. Hidro-Térmica.....	19
4.1.6. Pressão Hidrostática.....	20
4.2. Ar Sob Pressão.....	22
4.2.1. Pressão Parcial.....	24
4.2.2. Solubilidade dos Gases.....	25
5. REVISÃO ANATOMOFISIOLÓGICA DOS SISTEMAS E ÓRGÃOS ENVOLVIDOS NO MERGULHO.....	26
5.1. Sistema Cardiorrespiratório.....	26
5.1.1. O Sistema Cardiovascular.....	26
5.1.2. Sistema Respiratório.....	31
5.2. Sistema Auditivo e do Equilíbrio.....	38
5.3. Equilíbrio Térmico.....	40
6. RESPOSTAS FISIOLÓGICAS AGUDAS DURANTE O MERGULHO EM APNÉIA.....	42
6.1. Mergulho em Apnéia, Hiperventilação e Dióxido de Carbono.....	42
6.1.1. Pressão Parcial dos Gases.....	43
6.1.2. Equilíbrio Ácido-Básico.....	45
6.1.3. Redução da PCO ₂	45
6.2. “Movimento de carpa”.....	46
6.3. Reflexo de imersão.....	46
6.3.1. Efeitos Cardiovasculares da Imersão.....	47
6.3.2. Diferenças Entre o Reflexo de Mergulho em Humanos e Animais.....	50
6.3.3. Efeitos Renais da Imersão.....	51
6.4. Efeitos dos Exercícios na Água.....	52
6.4.1. Frequência Cardíaca.....	52
6.4.2. Suor.....	52
6.4.3. Temperatura.....	52

6.4.4.	Consumo de Oxigênio.....	53
6.4.5.	Gordura Corporal.....	53
6.4.6.	Diferenças Entre os Sexos.....	54
6.5.	Efeitos da Pressão nos Espaços Aéreos dos Mergulhadores.....	54
6.5.1.	Ouvido.....	54
6.5.2.	Vertigens.....	57
6.5.3.	Sinus.....	58
6.5.4.	Máscara.....	59
6.5.5.	Dente.....	60
6.5.6.	Pulmão ou Tórax.....	60
6.6.	Doença Descompressiva.....	62
6.7.	Flutuabilidade.....	63
7.	SEGURANÇA NO MERGULHO LIVRE.....	65
7.1	Regras Básicas.....	65
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70

1. INTRODUÇÃO

A água ocupa cerca de 2/3 da superfície da Terra, sendo em a maior parte de água salgada, assim sendo, é ocupado por rios, lagos, mares e oceanos, no qual este último é separado apenas por nomes e culturas.

O fascínio do homem pelo mar foi cíclico, acompanhando a história do próprio homem, que sempre esteve próximo, mesmo que muitas vezes impotente e medroso. Mitos, visões e poesias acompanharam as paixões do homem muitas vezes refletida ou projetada.

O mergulho, durante as aventuras dos mares, dista no tempo tanto quanto seu protagonista. Tentativas tímidas foram tomadas pelo homem para o relacionamento com a água, que sempre o caracterizou sem identificar-se, desde a sua formação e origem. Até bem pouco tempo a aproximação e adaptação do homem ao meio líquido, à total penetração, foram lentas e cautelosas, já nas últimas décadas esta aproximação se acelerou espantosamente.

O mergulho é uma prática milenar, a princípio utilizada principalmente para a obtenção de alimento, mas pouco a pouco vem tomando espaço junto às outras práticas esportivas.

A prática esportiva atrai o homem moderno pelas suas cores e movimentos. O interesse pela busca de uma atividade física harmoniosa e coincidente com nossas aspirações tem tomado um grande espaço no dia a dia das pessoas. As ofertas esportivas atingem seu público de várias maneiras, podendo às vezes ser através das competições, dos efeitos estéticos e de beleza, pelo fundo cultural e intelectual, ou às vezes pelo modismo dos equipamentos e vestuário.

O mergulho é uma prática antiga, mas como esporte, é moderno e só se organizou nos últimos anos, criando regras, competições, associações, etc. Hoje em dia o mergulho está em evidência por ser um destes esportes novos, que se organizaram há poucos anos. São os chamados esportes de ação, ou esportes de aventura, ou até mesmo, esportes não tradicionais, que com este apelo traz “muita gente para debaixo d’água”. Suas características têm todos os componentes, proporcionando, talvez, o mais belo esporte ou atividade que o homem já experimentou, coordenando movimentos, técnicas e táticas entre a água e a terra; artificios como seu conjunto de equipamentos (especialmente no caso do

mergulho autônomo); ou mesmo intermediários saudáveis como a praia, ilhas, pedras, o mar ou as embarcações, um dos mais antigos equipamentos utilizados pelos homens.

Dessa forma, abordaremos aqui um estudo mais detalhado sobre esta antiga prática, o mergulho em apnéia, e que hoje vem tomando seu espaço no mundo esportivo.

Em termos clínicos, apnéia é a suspensão temporária da respiração. De forma involuntária, a apnéia pode ser uma ocorrência patológica, como por exemplo, a “apnéia do sono”, um distúrbio no qual a pessoa para de respirar com frequência quando se encontra dormindo, dificultando seu descanso (AIDA, 2002).

Neste trabalho procuramos abordar a apnéia voluntária, que ocorre durante o mergulho em apnéia, ou mergulho livre, ou seja, o praticante mantém o ar em seus pulmões durante a imersão sem o uso de aparelhos, ocorrendo a suspensão voluntária da respiração.

Podemos ainda relacionar outras práticas esportivas que se utilizam dessa técnica para prolongar o tempo de imersão na água, como, a pesca submarina, o tiro ao alvo e o hóquei subaquático, dentre outras práticas menos popularizadas.

Nosso objetivo neste trabalho é levantar na literatura estudos mais específicos do mergulho em apnéia, principalmente dos mergulhos que oferecem maiores riscos ao atleta ou ao praticante amador, ou seja, os mergulhos em grandes profundidades e em grande tempo de imersão.

Dessa forma vamos nos concentrar basicamente nas práticas esportivas que possuam tais características, como algumas modalidades do mergulho livre e a pesca submarina, por exemplo. Não entraremos em detalhes quanto às modalidades esportivas, mas sim, aos efeitos fisiológicos agudos que ocorrem no organismo humano devido ao estresse causado pelo mergulho, e possíveis de se verificar e quantificar no decorrer deste.

Para finalizar trataremos alguns aspectos de segurança e cuidados que devemos tomar durante a prática da apnéia. Considerado um esporte de risco, o mergulho em apnéia é comparado ao pára-queda, vôo livre, esqui e outros esportes radicais. Mesmo equipado com roupas especiais, o mergulhador enfrenta as mais severas condições no ambiente aquático, principalmente nas modalidades de mergulho profundo em que a pressão atmosférica aumenta gradativamente e a temperatura da água é muito baixa. Dessa forma este quadro de segurança terá sua importância devidamente reservada no corpo deste trabalho.

Tendo em vista o risco, o grande número de práticas esportivas que se utilizam da apnéia e o crescente número de adeptos (principalmente na prática recreativa de observar o fundo do mar através do uso de máscara, respirador e nadadeiras; de onde originou o mergulho livre) é de extrema importância a compreensão dos efeitos fisiológicos decorrentes dessa prática.

Além disso, a existência de estudos mais aprofundados sobre o assunto trará mais subsídios para educadores físicos e outros profissionais que trabalham na área, atuarem com maior segurança.

Outra justificativa para a realização deste trabalho está relacionada a uma questão pessoal, pois temos grande curiosidade e fascínio pelo esporte. A figura de um mergulhador desafiando os limites do seu corpo e as condições impostas pela natureza são de grande impacto emocional. Como em todo esporte, o importante é superar marcas e limites, mas o mergulho em apnéia é fascinante pela sua plástica, concentração e harmonia com o ambiente onde é praticado. Ao assistir o filme que popularizou o esporte, "The Big Blue", é quase impossível não se deixar envolver pela atmosfera de paz que envolve o mergulhador, mesmo sabendo que ele está enfrentando condições extremamente hostis. Então você começa a se questionar de como é possível o corpo humano suportar tais condições? Como é possível atingir tais profundidades apenas bloqueando a respiração? Como é possível suportar longos períodos sem respirar? É na procura destas e outras respostas que nos induziram a realizar este trabalho.

2. CONHECENDO UM POUCO DA MODALIDADE

O mergulho livre ou mergulho em apnéia, como já foi dito anteriormente, é uma técnica utilizada por várias modalidades esportivas subaquáticas, onde podemos destacar o próprio mergulho livre, como uma prática esportiva, a pesca submarina, além de outras práticas menos popularizadas.

A técnica do mergulho em apnéia consiste no bloqueio voluntário da respiração, em que o praticante mantém o ar em seus pulmões durante a imersão sem o uso de aparelhos ou equipamentos.

2.1. O Mergulho Livre e suas Modalidades

O mergulho livre é derivado da prática recreativa de observar o fundo do mar através do uso de máscaras, respiradores e nadadeiras. Elevado à categoria de esporte, o desafio é manter o fôlego para percorrer a maior distância, atingir a maior profundidade, ou estabelecer o maior tempo possível submerso (AIDA, 2002).

O corpo do mergulhador é envolto numa atmosfera de paz que contrasta com o alto nível técnico usado para estabelecer recordes. Sem o uso de aparelhos para respiração, o mergulho em apnéia é praticado no mar, lagos e piscinas.

O mergulho livre, como prática esportiva e de competição, está dividido em cinco modalidades bem distintas: apnéia estática, apnéia dinâmica, lastro constante, lastro variável e imersão livre. Cada uma delas representa um desafio diferente o que se reflete em especialização por parte de vários atletas apneístas.

Em campeonatos mundiais, as únicas provas realizadas são de apnéia estática e lastro constante, pois seria necessária uma estrutura física e de tempo muito grande para que dezenas de atletas realizassem performances em mais do que duas modalidades. Mas, existem muitos torneios realizados em vários países, onde se pratica a combinação de apnéia estática, dinâmica e lastro constante.

A única modalidade que não é considerada como esportiva, ou de competição, justamente por ser a mais dura e proporcionar altos riscos ao atleta é a “No Limits”, sendo

apenas uma modalidade de exibição, mesmo sendo os recordes obtidos nesta prática reconhecidos pela AIDA - Associação Internacional para o Desenvolvimento da Apnéia.

Caracterizaremos a partir de agora estas principais modalidades de apnéia.

2.1.1. Apnéia Estática

Mantendo o seu fôlego, o apneísta fica o maior tempo possível submerso ou flutuando imóvel com as vias respiratórias imersas na água.



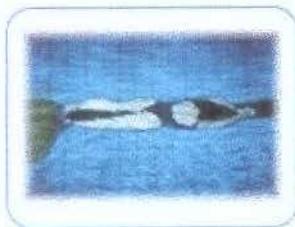
Em piscina



No mar
(Fonte: AIDA, 2002)

2.1.2. Apnéia Dinâmica

Com ou sem nadadeiras (dependendo da sub-modalidade), o apneísta deve percorrer a maior distância horizontal possível submerso.



Em piscina



No mar
(Fonte: AIDA, 2002)

2.1.3. Lastro Constante

Praticado no mar e em lagos, o apneísta desce a uma determinada profundidade usando um cinto-lastro (um cinto em que são acoplados peças de chumbo para que o mergulhador fique com uma maior densidade) e nadadeiras, mas não pode utilizar-se do cabo-guia. O objetivo é atingir a maior profundidade.



Descida



Subida

(Fonte: AIDA, 2002)

2.1.4. Lastro Variável

Também praticado no mar ou em lagos, o apneísta desce com o auxílio de lastro controlado (*sled*) ligado ao cabo-guia. Após atingir a profundidade desejada, o atleta abandona o lastro e retorna à superfície utilizando o cabo-guia ou simplesmente usando as nadadeiras. O objetivo é atingir a maior profundidade.



Descida no sled



Preparação

(Fonte: AIDA, 2002)

2.1.5. Imersão Livre

É a modalidade de mergulho em apnéia mais natural, pois sem nadadeiras ou lastro, o apneísta se utiliza apenas do cabo-guia para ir o mais fundo possível em lagos ou no mar. O objetivo é atingir a maior profundidade.



Descida



Subida

(Fonte: AIDA, 2002)

2.1.6. “No Limits”

Essa é a modalidade dos grandes profundistas. É derivada do lastro variável, porém a diferença está no modo de retorno à superfície. O apneísta pode utilizar-se de um balão ou colete inflável ou ainda outro meio mecânico para subir o mais rápido possível, devido à grande profundidade atingida. Como nas últimas três modalidades, o objetivo é atingir a máxima profundidade, independentemente do tempo de imersão.



Descida

foto: David Luquet



Subida

foto: David Luquet

(Fonte: AIDA, 2002)

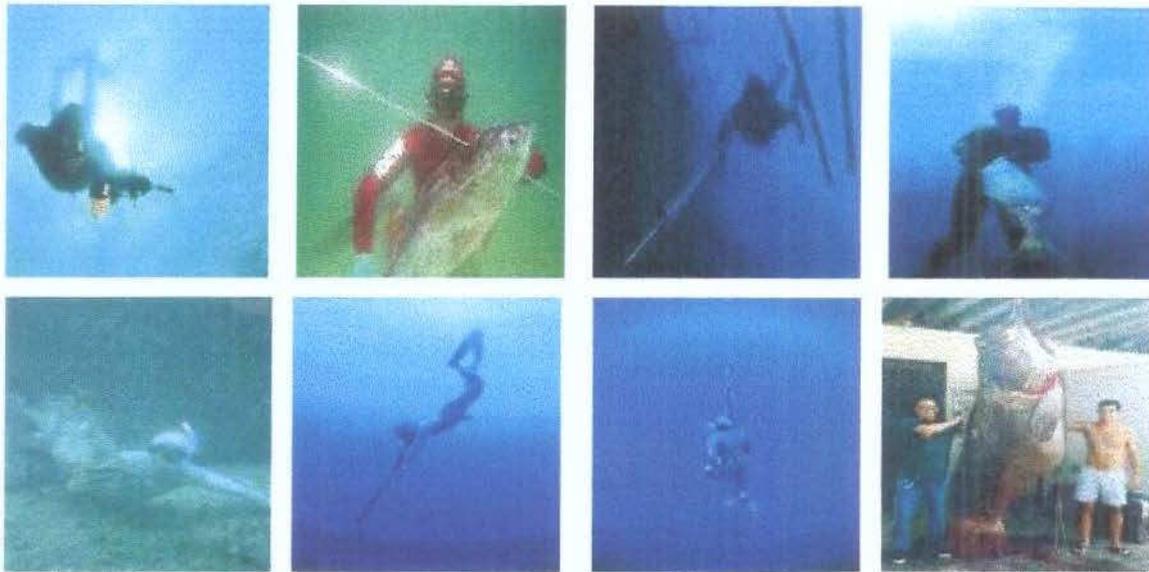
2.1.7. A Pesca Submarina

É um esporte baseado no uso do mergulho livre, para a captura de peixes com uma arma, arpão ou similar. Antes de ter se transformado em esporte no século XX, foi a mais antiga atividade de mergulho do homem, voltada para a alimentação. O Brasil teve seus destaques em campeonatos mundiais individuais e um por equipe. As competições ajudam a organizar e regravar a prática da caça submarina, contribui para os estudos e levantamentos de espécies e tamanhos, protegem locais ameaçados e divulgam quais as espécies que podem ser caçadas (GUIMARÃES, 1988).



(Fonte: <http://www.acquacamp.com.br/pesca.htm>)

A caça submarina deve ser organizada e praticada sem riscos para a fauna marinha. O mergulhador ao visualizar o seu alvo tem a oportunidade de escolher sua presa, tornando a pesca submarina, desta forma, no meio mais seletivo entre as modalidades de pesca. Em competições mais organizadas são restringidas espécies e tamanhos para a captura, assim como são penalizados os atletas que capturam um peixe fora do padrão, reduzindo desta maneira os danos à fauna marinha (ALMEIDA, 2000). Mesmo assim o mergulhador deve conhecer as espécies de peixes, pois nem todas são boas para pesca, além disso, deve conhecer as épocas de reprodução, acasalamento e migração dos animais que pretende caçar.



(Fonte: <http://www.subchaser.hpg.ig.com.br/index.html>)

A prática e o treinamento da técnica do mergulho livre é imprescindível para os praticantes desta modalidade, além de um treinamento físico apropriado.

A prática do mergulho livre hoje em dia é uma atividade física saudável, próxima à natureza. Mergulhar nos leva a ter os primeiros contatos com o meio aquático tridimensional, onde podemos ir em qualquer direção, com esforços físicos e espirituais relaxantes (GUIMARÃES, 1988).

3. HISTÓRIA DO MERGULHO EM APNÉIA

O mergulho livre, ou em apnéia, é a técnica de mergulho mais antiga que existe. Começou a ser praticado com a finalidade de encontrar alimentos e tesouros. Uns dos registros mais antigos a respeito da história do mergulho livre são das tribos pré-célticas, que vagavam às margens do Mediterrâneo, onde existiam mergulhadores que iam buscar ostras alimentícias, como comprovam os detritos encontrados em seus acampamentos. Estes achados mostram que o mundo submerso vem despertando no homem uma permanente curiosidade desde a pré-história (GUIMARÃES, 1988).

Outros registros vêm de comunidades que se especializaram em mergulho desde 4500 a.C., o qual deram origem às melhores mulheres apneístas não profissionais da atualidade, as caçadoras de pérolas do Japão e da Coreia (AIDA, 2002).

Na mitologia greco-cretense a história nos fala de Glaucos, o mergulhador que trazia das profundezas os tesouros que esta encerrava. Um dia Glaucos não voltou de seu mergulho, e fora admitido entre as divindades marinhas (GUIMARÃES, 1988).

Já, na Grécia Antiga, apneístas ficaram conhecidos por terem participado de explorações militares em 500 a.C., fugindo da prisão no navio feita pelo rei persa Xerxes I, saltando pelo mar e soltando todos os navios persas ancorados, enquanto os guardas presumiam que os gregos tinham se afogado (AIDA, 2002).

Dessa forma, é possível encontrar vários trechos da história do mergulho no decorrer dos séculos. Aristóteles, o Filósofo, descreve engenhos de mergulho e seus problemas, e chega a discutir os acidentes aos quais estaria sujeito o mergulhador. Um destes engenhos descritos por Aristóteles é a “lebeta” (que mais tarde auxiliaria para o desenvolvimento e criação do escafandro), um engenho do qual Alexandre, O Grande, teria feito uso para destruir fortificações submersas durante suas batalhas. Os gregos possuíam bons mergulhadores que colhiam esponjas, corais e ostras. Depois destes, os romanos tiveram os seus grupos de homens peixes, mais belicosos e ambiciosos, usando-os como força de combate das forças armadas.

Tudo leva a crer que estes mergulhadores nadassem abaixo da superfície, respirando através de bambus ou cânulas de qualquer espécie. Hoje em dia, através de recursos científicos, verificamos que muitas destas façanhas que a história nos conta, seriam

impossíveis, mas por outro lado, muito cooperaram para o desenvolvimento de equipamentos que usamos atualmente, principalmente para o mergulho autônomo. Desta forma, para este trabalho, estas etapas da história são pouco relevantes, visto que o mergulho livre requer pouco ou nenhum equipamento para sua prática (GUIMARÃES, 1988).

Em se tratando de assuntos mais recentes, em meados do século XX, durante a Segunda Guerra Mundial, os apneístas também foram usados para localizar minas e colocar explosivos sob os navios de guerra, sem chamar a atenção dos inimigos (AIDA, 2002).

Desde a origem de sua história, o mergulho livre é praticado por diversas finalidades, seja ele com objetivos econômicos, militares, arqueológicos, ou mesmo para a sobrevivência, só há pouco tempo é que se tornou esporte de competição, atraindo cada vez mais adeptos.

O primeiro praticante de mergulho livre, registrado pela história chamava-se Giorghios Haggi Statti, que em 1911, para conseguir dinheiro e permissão para pescar utilizando dinamite, ofereceu-se à marinha italiana para resgatar a âncora do navio Regina Marguerita, há 77 metros de profundidade. Giorghios criou a técnica utilizada até hoje no mergulho livre: descer em pé com o auxílio de pesos (AIDA, 2002).

As competições, porém, tiveram início somente quatro anos após o final da Segunda Guerra Mundial com um ítalo-húngaro capitão da força aérea italiana, Raimondo Bucher, que utilizando máscara, *snorkel* e nadadeiras, desceu 30 metros em apnéia, deixando um bilhete na marca para a comprovação.

Daí em diante surgiram grandes nomes e vários recordes foram batidos sucessivamente. Mas foi na década de 60 que surgiram grandes apneístas: o italiano Enzo Majorca, o brasileiro Américo Santarelli, o polinésio Tetake Williams, o francês Jacques Mayol e o norte-americano Robert Croft.

Em 1972, a marca já estava em 80 metros ("*No Limits*"), estabelecida por Enzo Majorca, no qual montou uma equipe para auxiliá-lo nos treinamentos e realizar estudos sobre os efeitos do mergulho no corpo humano.

Mayol também passou a se dedicar aos estudos sobre apnéia. Durante vários anos Mayol e Majorca travaram duelos e se revezavam na posição de "*The deepest man in the world*".

Em 1976, Jacques Mayol foi o primeiro homem a alcançar os 100 metros de profundidade. Majorca só conseguiu esta marca em 1988. O duelo entre estes dois gigantes da apnéia foi retratado no filme “Imensidão Azul” (“The Big Blue”), o qual teve grande contribuição para a popularização do esporte.

Mayol teve uma espécie de semi-biografia mostrada no filme. Filme este que ele também ajudou a fazer como coordenador técnico das filmagens subaquáticas. Conhecido como um homem misterioso por muitos, Mayol era conhecido como homem-golfinho e foi estudado por muitos cientistas interessados na fisiologia humana sob a água (AIDA, 2002).

Na década de 80 surgiram outros grandes nomes que também deixaram suas marcas como o cubano Francisco Pipin Ferreras, o italiano Umberto Pellizzari e, posteriormente, o francês Lõic Leferme e o italiano Gianluca Genoni.

Hoje o recorde mundial nesta modalidade, conhecida como “*No Limits*” é do francês Lõic Leferme, que atingiu 154 metros de profundidade em julho de 2001.

Em 1993, foi fundada a Associação Internacional para o Desenvolvimento da Apnéia (AIDA) pelo apneísta e treinador francês Claude Chapuis, para regulamentar o esporte, organizar campeonatos, formar instrutores, publicar artigos e dar treinamentos de apnéia (AIDA, 2002).

4. A FÍSICA DO MERGULHO

Pode-se dizer que o homem vive entre uma superfície de um mar líquido e o fundo de um mar gasoso. Adaptado a esta atmosfera, respirando um meio gasoso em um espaço bidimensional, relaciona-se mais e mais com o mundo onde vive. Vislumbra os oceanos de todos os tempos e aspirações... (GUIMARÃES, 1988).

As heranças de experiências vividas entre nossos antepassados e aquelas dos lugares onde estivemos, nos transmitem uma maneira de viver, de se alimentar ou de não nos projetarmos inconscientemente contra algo que nos destruiria. Sentimos o ambiente em nossa volta com um mínimo de conhecimento ou convívio. Nos preparamos para mudanças percebidas neste dia. No desejo de entrarmos no mundo submarino avaliamos os quadros que podemos ter acesso e momentaneamente imaginarmos o domínio, mesmo que fictício, deste espaço, após uma barreira delimitada entre terra, céu e mar.

Para o meio ambiente submarino o homem deve adaptar-se a uma série de mudanças, as quais devem ser pensadas e elaboradas (GUIMARÃES, 1988).

Debaixo d'água, o homem está em um ambiente completamente diferente do seu habitual, o ar. Alguns dos princípios da física que normalmente nos passam despercebidos podem gerar efeitos que, se não forem perfeitamente conhecidos, podem se tornar perigosos. O entendimento de algumas leis simples da física e de seus efeitos durante o mergulho é importante para que esta atividade seja conduzida de forma simples, segura e agradável.

4.1. A Água

Os efeitos da água no organismo humano são espantosamente amplos no que diz respeito aos efeitos fisiológicos e terapêuticos. Essa circunstância é resultado de uma notável série de efeitos relacionados às forças físicas atuando sobre o organismo dentro da água, em combinação com alguns efeitos poderosos, porém pouco compreendidos, da

imersão sobre a psique humana. Esses princípios físicos, muito conhecidos desde o advento da ciência, afetam quase todos os sistemas fisiológicos do organismo humano.

Vários autores sugeriram que isso acontece devido a nossa provável origem ancestral nas águas salinas embrionárias, de algum dos oceanos primordiais da Terra. O renomado físico francês Michel Odent refere-se ao ser humano como *Homo aquaticus*, o “antropóide mergulhador”, e apresenta uma argumentação irrefutável em favor da multiplicidade de razões fisiológicas pelas quais os humanos construíram o seu meio social em torno da água (BECKER, 2000).

A água é uma substância composta de dois dos elementos mais comuns presentes no planeta Terra: oxigênio e hidrogênio. Um átomo de oxigênio liga-se com dois átomos de hidrogênio para formar uma molécula de água, H₂O.

Em temperaturas normais na Terra a água comumente existe em três estados: sólido, líquido e gasoso. Em sua grande maioria a água se encontra num estado líquido incolor e transparente e que, ao contrário do ar, é praticamente incompressível. Sua densidade (peso por unidade de volume) é de aproximadamente 1000kg/m³ – um litro de água doce pesa cerca de 1 quilograma; a água do mar por sua vez, por conter diversas substâncias dissolvidas, é ligeiramente mais densa – 1025kg/m³ (WERNECK, [199?]).

4.1.1. A Densidade

A densidade é definida como massa por unidade de volume. A relação é caracterizada pela fórmula:

$$d = m / v$$

em que *m* é a massa de uma substância cujo volume é *v*. A densidade é medida no sistema internacional em quilogramas por metro cúbico (kg/m³) e ocasionalmente em grama por centímetro cúbico (g/cm³). A densidade é uma variável dependente da temperatura, embora muito menos para os sólidos e líquidos do que para os gases. Quanto maior a temperatura menor a densidade (BECKER, 2002).

4.1.2. A Flutuabilidade

A flutuação, a força para cima exercida num objeto imerso ou flutuante, foi explicada primeiramente por Arquimedes, um antigo matemático e inventor grego. Ele afirma: “um corpo imerso num líquido, total ou parcialmente, flutua com uma força igual ao peso do líquido deslocado”. Isto significa que podemos determinar a flutuação de um objeto imerso subtraindo o peso do objeto do peso do líquido deslocado. Se o peso do líquido deslocado for maior que o peso do objeto imerso, a flutuação será positiva e o objeto flutuará. Se o peso do objeto for exatamente igual ao peso do líquido deslocado, a flutuação será neutra, e o corpo permanecerá suspenso num líquido a qualquer profundidade. Se o peso do objeto for maior que o peso do líquido deslocado, a flutuação será negativa, e o objeto afundará. Positiva, neutra e negativa são os termos usados em mergulho para descrever os diferentes estados de flutuação (figura 4.1).

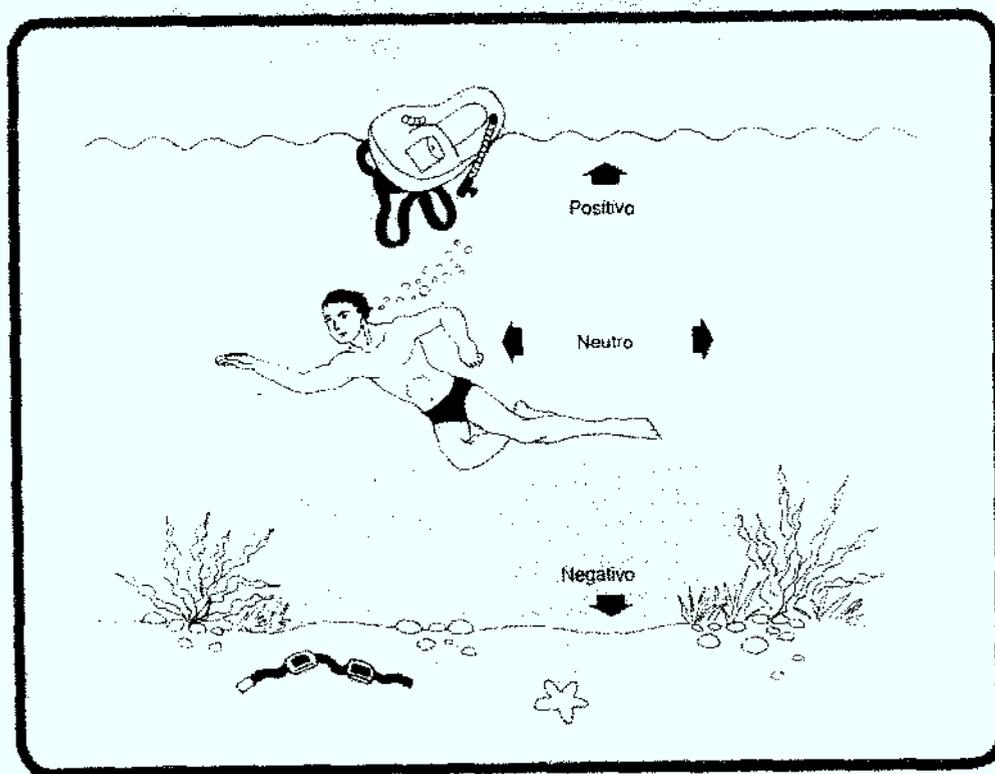


Figura 4.1: Flutuabilidade. Fonte: WERNECK, Marcus. **Manual de Mergulho Open Water.** [199?].

Deve-se notar que como a densidade da água doce é aproximadamente 3% menor que a densidade da água salgada, a água salgada oferece flutuação maior que a água doce. Isto significa que um pouco menos de peso será necessário para o mergulho em água doce comparada a água salgada.

Alterações do volume de um objeto afetam a flutuação permitindo que a flutuação seja controlada durante um mergulho. A quantidade de ar nos pulmões afeta a quantidade de água deslocada (flutuação) pelo mergulhador. Aumentando-se o volume do pulmão, a flutuação aumentará; uma redução do volume diminui a flutuação. Ajustando adequadamente os pesos e controlando os volumes dos espaços aéreos, pode-se controlar completamente a flutuação ao mergulhar, e assim obter flutuação positiva, neutra ou negativa, de acordo com o que se desejar (WERNECK, [199?]).

4.1.3. Hidro-Acústica

O som nada mais é que uma vibração mecânica transmitida aos ouvidos por um meio material (sólido, líquido ou gasoso). Quanto mais denso for o meio, melhor e mais rápida será a transmissão de sons. Como a água é mais densa que o ar, os sons serão ouvidos mais claramente e mais longe do que no ar. A velocidade do som no ar é de, aproximadamente, 350m/s, e na água é de 1400m/s (WERNECK, [199?]) (figura 4.2).

O motivo pelo qual nós temos dois ouvidos é para localizarmos a origem do som. O cérebro analisa qualquer diferença nos sons que chegam a um ouvido e a outro, e calcula a sua origem. Se a fonte sonora está atrás da cabeça, o som atinge os ouvidos ao mesmo tempo. Porém, se a fonte mudar de lugar, o som chega mais rápido a um dos ouvidos, tornando possível a sua localização. Dessa forma, o cérebro a localiza com base na mudança de velocidade, ou seja, nessa diferença de tempo entre o momento em que o som atinge um ouvido e a outro.

Mas surge aí um problema: Como a velocidade do som na água é quatro vezes maior que no ar, fica praticamente impossível detectar esta diferença de tempo quando o som atinge os ouvidos e, conseqüentemente, determinar a direção de que se origina o som.

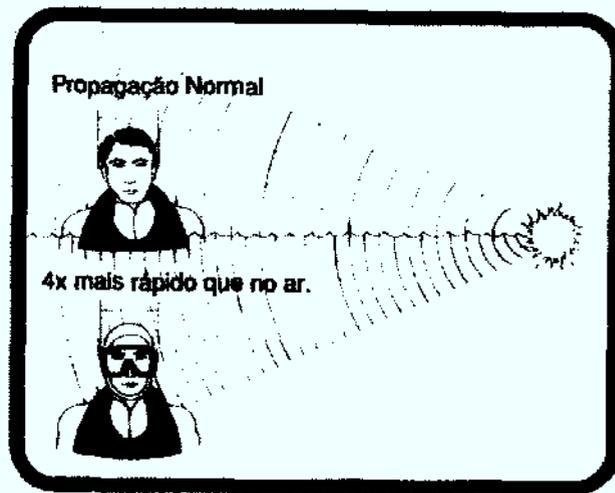


Figura 4.2: Propagação do Som. Fonte: WERNECK, Marcus. **Manual de Mergulho Open Water.** [199?].

A não ser que seja usado algum dispositivo para transferir sons do ar para a água, é impossível conversar debaixo d'água (WERNECK, [199?]).

4.1.4. Hidro-Ótica

Na água, existem alguns fatores que fazem com que a luz se propague de maneira diferente do que no ar: difusão, refração e absorção. A difusão (ou espalhamento) e a absorção afetam a quantidade e as cores da luz disponível. Vale notar que a luz branca é a composição de diversas cores e que cada uma delas é absorvida de maneira diferente pela água. Nos primeiros 10 metros são absorvidos os tons de vermelho e laranja; até os 20 metros desaparecem o amarelo e o verde. Em alguns casos, abaixo de 40 metros a escuridão é, praticamente, total (figura 4.2).

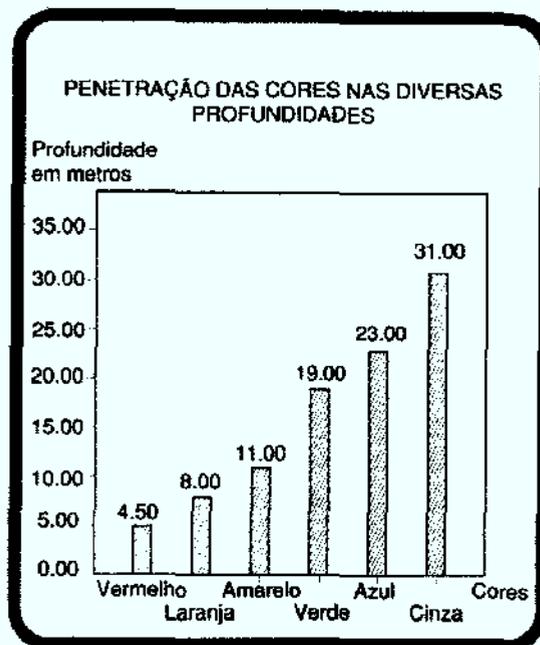


Figura 4.3: Penetração das Cores nas Diversas Profundidades. Fonte: WERNECK, Marcus. **Manual de Mergulho Open Water.** [199?].

O efeito da refração é um pouco mais complexo e afeta a maneira pela qual vemos os objetos. A luz se propaga por um meio transparente em linha reta até encontrar outro meio (também transparente, mas de densidade diferente). Se ela entrar perpendicularmente neste outro meio, a propagação continua na mesma direção. Mas se a mudança de meio se der em qualquer outro ângulo, a direção de propagação muda como se os raios de luz fossem “dobrados”. Este fenômeno é chamado de refração. Isto faz com que os objetos pareçam mais próximos e, conseqüentemente, maiores, quando observados através da máscara embaixo d’água, como pode ser visto na figura 4.3.

Este efeito é parcialmente invertido se o objeto estiver a mais de três metros do mergulhador, devido a redução do contraste e da distorção: embora pareçam maiores, eles parecem, também, estar mais distantes. Outro efeito de refração é quando uma pessoa na superfície olha um objeto embaixo d’água: com o “dobramento” dos raios de luz, o objeto não estará onde ele é visto (WERNECK, [199?]).

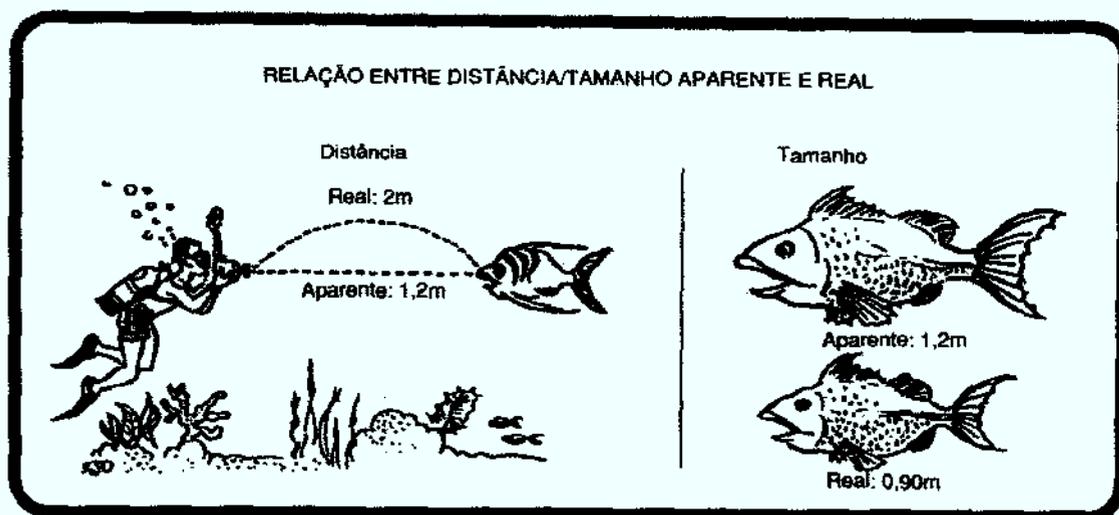


Figura 4.4: Relação entre Distância/Tamanho Aparente e Real. Fonte: WERNECK, Marcus. **Manual de Mergulho Open Water**. [199?].

4.1.5. Hidro-Térmica

Se tentarmos aquecer massas iguais de água e ar, poderemos notar que vamos precisar de quatro vezes mais calor para a água do que para o ar para obtermos a mesma variação de temperatura. Isto se dá devido às diferenças de densidades, capacidades e condutividade térmica dos fluidos. A água é capaz de conduzir o calor 25 vezes mais rápido que o ar, que é um péssimo condutor de calor (WERNECK, [199?]).

A transferência de calor aumenta em função da velocidade. Assim, um nadador ou mergulhador perde mais calor quando nada rapidamente através da água fria do que uma pessoa que fica parada na mesma água (BECKER, 2000).

A quantidade de calor sob o corpo é fundamental para o conforto e segurança do mergulhador, pois o corpo humano só funciona bem em uma faixa muito estreita de temperatura. A manutenção da temperatura do corpo dentro d'água depende de uma série de fatores. Há 21°C pode parecer confortável, mas pode gerar um caso de *hipotermia* em um mergulhador desprotegido, pois o calor do corpo é perdido mais rapidamente para a água do que é possível repor (WERNECK, [199?]).

A hipotermia é um problema sério em ambientes aquáticos podendo causar grandes conseqüências ao organismo, levando até mesmo à morte. É caracterizada pela exposição prolongada do corpo em um ambiente frio, criando um estresse fisiológico, no qual este é incapaz de se manter aquecido, diminuindo sua temperatura corporal abaixo de 35° C.

Os sintomas de hipotermia são: discurso incompreensível, tremedeira, lapsos de memória, tremedeira nas mãos. Em casos mais graves, não há mais tremores, os músculos tornam-se rígidos, a pele azulada, pouca ou nenhuma sensibilidade a dor, pulso e respiração reduzidos e pupilas dilatadas (JATOBÁ, 2000).

Sabe-se que o corpo humano produz considerável calor por meio da conversão de calorias de alimentos em outras formas de energia. Apenas cerca de 20% dessa energia convertida é usada para realizar trabalho, e o resto é convertido em energia térmica (BECKER, 2000).

Se um bom material isolante, como espuma de neoprene, for colocado entre o corpo do mergulhador e a água, a troca de calor é diminuída drasticamente. Com uma roupa adequada, é possível mergulhar em águas cobertas de gelo. Sem proteção, mesmo água de 25° C podem criar problemas (WERNECK, [199?]).

4.1.6. Pressão Hidrostática

A pressão é definida como força por unidade de área, em que a força, F , por convenção é suposta atuando perpendicularmente à área de superfície, A . Essa relação é:

$$P = F / A$$

Foi constatado experimentalmente que os líquidos exercem pressão em todas as direções, conforme já sabem os nadadores e mergulhadores. Em uma posição pontual teórica imersa em um recipiente de água, a pressão exercida sobre esse ponto é igual a partir de todas as direções. Obviamente, se uma pressão desigual estivesse sendo exercida, o ponto se moveria até que as pressões fossem equilibradas sobre ele.

A pressão de um líquido aumenta com a profundidade, e é diretamente relacionada com a densidade do líquido. Se considerarmos um ponto teórico imerso a uma distância h

abaixo da superfície, a força exercida sobre o ponto resulta do peso da coluna de líquido acima dele (BECKER, 2002). Um cubo de água com lados de 1 metro pesa 1000kg e, portanto, exerce sobre a superfície onde está apoiado uma pressão de $1000\text{kg}/\text{m}^2$ ou $1\text{kg}/\text{cm}^2$. Uma coluna de água de 10 metros de altura exerce sobre uma base de 1cm^2 de área a mesma pressão. O ar que respiramos, quando estamos na superfície, também está exercendo uma pressão sobre os nossos corpos. Ao nível do mar, a pressão também é de aproximadamente $1\text{kg}/\text{cm}^2$ ou 1atm (atmosfera), pois ela corresponde ao peso de toda a massa de ar do nível do mar ao topo da atmosfera (figura 4.4).

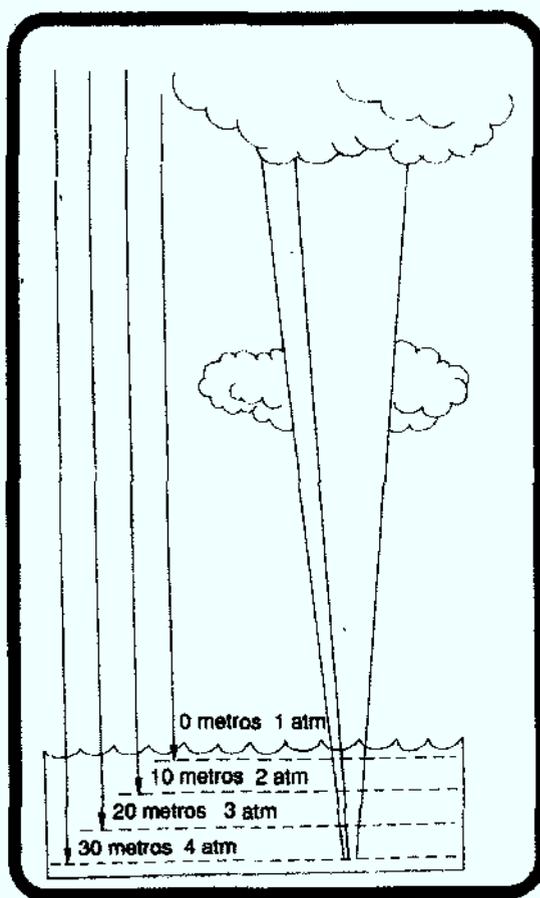


Figura 4.5: Pressão do Ar e da Água. Fonte: WERNECK, Marcus. **Manual de Mergulho Open Water.** [199?].

Como podemos observar, existem diversas unidades para medidas de pressão, relacionadas (aproximadamente) da seguinte maneira:

$$1\text{atm} = 1\text{kgf/cm}^2 = 1000\text{kgf/m}^2 = 14,7\text{psi} = 1\text{bar} = 760\text{mmHg} = 10\text{m de água}$$

Enquanto 1 litro de água doce pesa 1kg, 1litro de água salgada pesa 1,026kg (JATOBÁ, 2000).

É aceitável considerar que a cada 10 metros de profundidade, a pressão aumenta 1atm. A 30 metros, por exemplo, a pressão é 4atm, 3atm referentes aos 30 metros acrescido de 1atm referente à pressão atmosférica na superfície. A fórmula abaixo é suficiente para calcularmos a pressão ambiente em qualquer profundidade:

$$\text{Pressão absoluta} = (\text{profundidade} / 10) + 1$$

Esta pressão (água + atmosfera) é chamada de absoluta e seu efeito será mais bem compreendido quando estudarmos os efeitos da pressão sobre o corpo (WERNECK, [199?]).

4.2. Ar Sob Pressão

No mergulho não podemos somente observar as propriedades físicas da água. Apesar de estarmos num ambiente totalmente aquático, em nosso corpo é possível observar espaços aparentemente vazios (pulmões, seios paranasais, ouvido médio), mas que estão preenchidos por ar atmosférico, no qual, durante a imersão, estão sujeitos aos mesmos efeitos da pressão (GUIMARÃES, 1988).

O ar pode ser comprimido pela pressão. Quando a pressão de um determinado volume de ar em um recipiente aumenta, duas coisas acontecem. Em primeiro lugar, o volume de ar diminui proporcionalmente ao aumento da pressão. Em segundo lugar, a densidade do ar aumenta em proporção direta com o aumento de pressão. Quanto mais o gás é comprimido, menor o espaço ocupado e maior é a sua densidade.

Imagine 1 metro cúbico de ar na superfície sendo forçado em direção ao fundo do mar. A 10 metros a pressão terá dobrado e o volume reduzido à metade, ocupando somente

meia parte do espaço original e com o dobro da densidade, como ilustra a figura 4.6. Um maior aumento da pressão implicará em diminuição do volume e aumento da densidade.

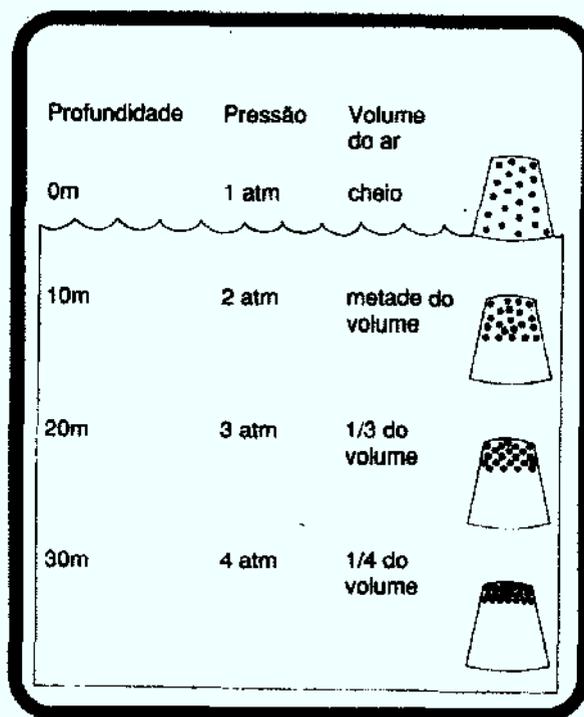


Figura 4.6: Relação entre Profundidade, Pressão e Volume. Fonte: WERNECK, Marcus. **Manual de Mergulho Open Water.** [199?].

Este efeito é conhecido como *Lei de Boyle*: “O volume de um gás varia inversamente à pressão absoluta, enquanto a densidade varia diretamente com a pressão absoluta, desde que a temperatura permaneça constante”.

O princípio de uma massa de ar sendo comprimida pela pressão é válido para qualquer compartimento flexível, como por exemplo, os pulmões. No caso de uma pessoa praticando mergulho livre seus pulmões serão comprimidos com o aumento da profundidade. Pode parecer perigoso, mas só o é quando se pratica o mergulho livre a profundidades extremamente elevadas ou no caso de uma diferença de pressão que é possível de acontecer principalmente no mergulho autônomo (WERNECK, [199?]).

Apenas para efeito de esclarecimento, não importando muito para este trabalho sobre mergulho livre e sim para mergulhadores autônomos, se considerarmos uma variação

de temperatura e relacionarmos com o volume e pressão, podemos descrever a *Lei de Charles*: “Mantido o volume constante, a pressão é diretamente proporcional à temperatura”, ou seja, um aumento da temperatura gera um aumento de energia cinética, e conseqüentemente, um aumento de pressão, isso se mantivermos o volume constante (WERNECK, [199?]).

4.2.1. Pressão Parcial

O ar atmosférico é uma mistura de gases, contendo nitrogênio - N_2 (78,084%), oxigênio - O_2 (20,946%), dióxido de carbono - CO_2 (0,033%), e outros gases (0,003%). Para efeito de cálculo levaremos em consideração 78% de N_2 , 21% de O_2 e 1% de outros gases (GUIMARÃES, 1988).

Dessa forma, ao analisarmos a *Lei de Dalton*, que diz que a pressão de um gás numa mistura de gases é proporcional à porcentagem daquele gás na mistura, logo, a porcentagem da pressão total exercida por um gás é a “pressão parcial” (P) daquele gás. A soma das pressões parciais dos gases numa mistura equivale à pressão total exercida por todos os gases juntos. Em outras palavras, o total equivale à soma das partes (WERNECK, [199?]).

Como exemplo, se avaliarmos o ar atmosférico em um recipiente fechado e flexível na superfície, ou seja, a 1atm, e depois a 10 metros de profundidade, a 2atm, teremos as mesmas porcentagens de pressões parciais, porém seus valores, em unidades de medida, dobrarão, já que a pressão absoluta foi duplicada.

O efeito de um gás num mergulhador está diretamente relacionado à pressão parcial daquele gás. Quanto maior a pressão parcial maior o efeito (WERNECK, [199?]).

4.2.2. Solubilidade dos Gases

As moléculas de gás em contato com um líquido entrarão em solução no líquido, onde se diz que estão dissolvidas. A quantidade de gás dissolvido depende da temperatura e da pressão. Um aumento na pressão do gás faz com que mais gás se dissolva, e uma diminuição na temperatura do líquido também resultará em mais gás dissolvido. Se uma unidade de gás está dissolvida a 1atm de pressão, então duas unidades podem ser dissolvidas a 2atm de pressão, três unidades a 3atm de pressão, e assim por diante. Se aumentarmos a temperatura de um líquido ou reduzirmos a pressão de um gás contido nele resultará no gás saindo da solução.

A taxa de solubilidade dos gases nos líquidos é afirmada na *Lei de Henry*: “A quantidade de um dado gás que vai se dissolver em um líquido a uma dada temperatura é proporcional a pressão parcial do gás e a seu coeficiente de solubilidade naquele líquido”. O coeficiente de solubilidade aumenta com a diminuição da temperatura do líquido, e depende da característica de cada líquido.

O corpo humano é basicamente líquido, portanto, os gases respirados serão dissolvidos no corpo na proporção da pressão parcial de cada gás respirado.

Uma determinada quantidade de líquido exposto a um gás absorverá moléculas de gás rapidamente no início, depois a uma velocidade cada vez menor até que uma condição de equilíbrio onde o gás no líquido atinja um valor igual ao da pressão parcial do gás. Esta condição é conhecida como saturação (WERNECK, [199?]).

5. REVISÃO ANATOMOFISIOLÓGICA DOS SISTEMAS E ÓRGÃOS ENVOLVIDOS NO MERGULHO

5.1. Sistema Cardiorrespiratório

O Sistema Cardiorrespiratório nada mais é que a interação entre o sistema respiratório e o cardiovascular (ou cardiocirculatório), de modo a trabalharem juntos com o mesmo objetivo: auxiliar na manutenção da homeostase do corpo humano.

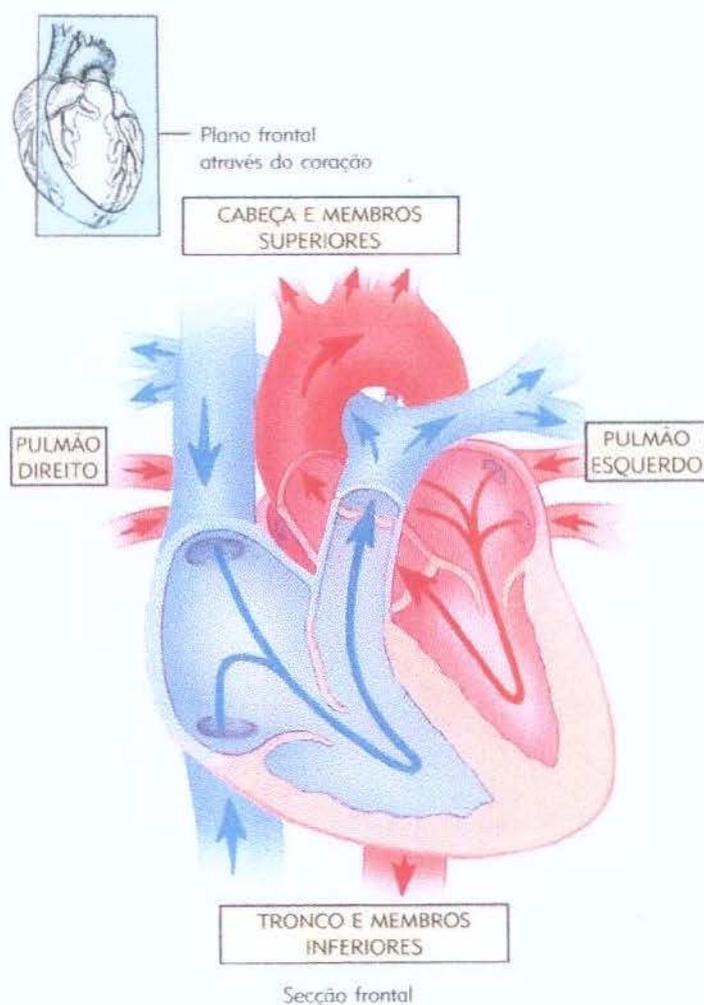
O principal objetivo do sistema cardiorrespiratório é liberar quantidades suficientes de oxigênio e remover produtos da degradação dos tecidos do organismo. Além disso, o sistema circulatório transporta nutrientes e auxilia na regulação da temperatura. O sistema circulatório e o sistema respiratório funcionam como uma “unidade acoplada”. O sistema respiratório adiciona oxigênio (O_2) e remove dióxido de carbono (CO_2) entre a membrana de troca nos alvéolos pulmonares e o sangue que chega à circulação pulmonar. Já o sistema circulatório transporta até os tecidos o sangue oxigenado e os nutrientes que serão liberados a estes tecidos de acordo com as necessidades metabólicas locais e circunstanciais. Em outras palavras, o sistema cardiorrespiratório trabalha para manter a homeostasia do oxigênio e do dióxido de carbono nos tecidos do organismo (POWERS, HOWLEY, 2000).

5.1.1. O Sistema Cardiovascular

O Sistema Cardiovascular ou Cardiocirculatório integra o corpo como uma unidade, mantendo um ambiente adequado em volta das células do corpo, proporcionando assim, uma corrente contínua de nutrientes e de trocas gasosas para todas as células (McARDLE, KATCH, KATCH, 1998).

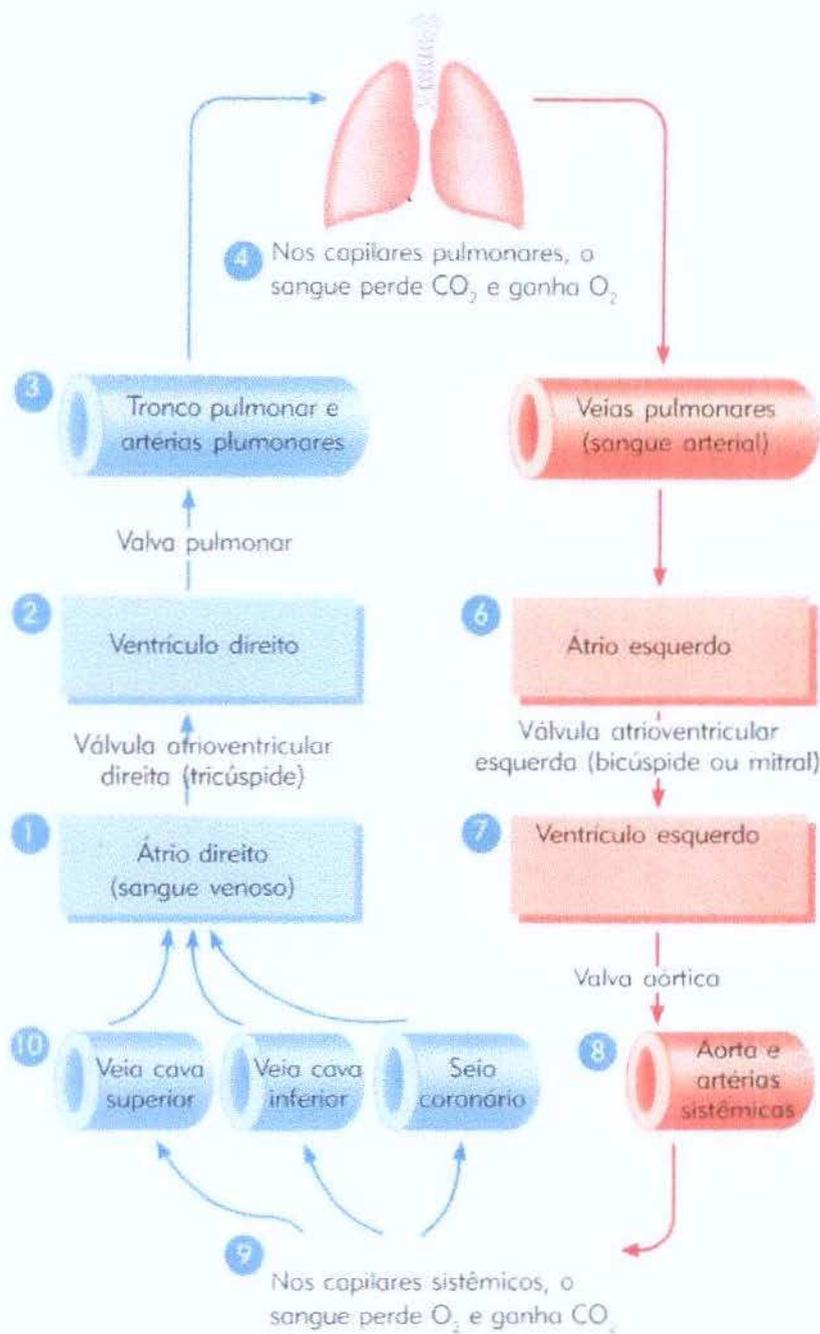
O sistema cardiovascular é composto pelas seguintes órgãos e estruturas: o coração, os vasos sanguíneos (vasos arteriais e venosos) e pode-se ainda incluir o sangue.

O coração é o centro de partida, por assim dizer, do sistema cardiovascular. Funcionando como uma “bomba”, o coração impulsiona o sangue por milhares de quilômetros de vasos sanguíneos, podendo chegar a 160.000 km em uma pessoa adulta, o que seria suficiente para dar 4 voltas em torno da Terra. Mesmo em repouso o coração bombeia 30 vezes o seu próprio peso a cada minuto, mantendo um débito cardíaco ou volume minuto em torno de 5 litros/ minuto. Entretanto, como não estamos o dia todo em repouso, o fluxo sanguíneo realmente bombeado é muito maior (TORTORA 2000; McARDLE, KATCH, KATCH, 1998).



(a) Rota do sangue dentro do coração

Figura 5.1: Fluxo de Sangue no Coração. Fonte: TORTORA, Gerard J. **Corpo Humano:** Fundamentos de Anatomia e Fisiologia. 4ª. Ed. Artmed, Porto Alegre, 2000.



(b) Diagrama do fluxo sanguíneo

Figura 5.2: Fluxo do Sangue no Coração. Fonte: TORTORA, Gerard J. **Corpo Humano: Fundamentos de Anatomia e Fisiologia**. 4ª. Ed. Artmed, Porto Alegre, 2000.

O sistema cardiovascular é um sistema contínuo de circuito fechado, que consiste em uma bomba, o coração, um circuito de distribuição de alta pressão, que cria a “pressão hidrostática” necessária para mover o sangue através do sistema. Além disso, o sistema consiste também em canais de permuta e um circuito de coleta e de retorno de baixa pressão (POWERS, HOWLEY, 2000).

Isso só é possível, devido a uma rede de passagens, os vasos sanguíneos, e a ação de uma bomba, o coração, que cria a pressão necessária para mover o sangue através do sistema. O sangue sai do coração pelas artérias e retorna a ele através das veias. As artérias se ramificam para formar uma “árvore” de vasos menores. Quando os vasos se tornam microscópicos, eles formam as arteríolas, as quais formam “leitos” de vasos muito menores denominados capilares. Os capilares são os menores e mais numerosos vasos sanguíneos. Todas as trocas de oxigênio, dióxido de carbono e nutrientes entre o sistema circulatório e os tecidos ocorrem por intermédio dos leitos capilares. O sangue passa dos leitos capilares aos pequenos vasos venosos denominados vênulas. À medida que elas se dirigem ao coração, aumentam de tamanho e se tornam veias. As principais veias desembocam no coração (POWERS, HOWLEY, 2000).

O sistema cardiovascular conduz o sangue através de dois processos distintos, a circulação pulmonar ou pequena circulação, e a circulação sistêmica ou grande circulação (figura 5.3).

- **Circulação Pulmonar:** O sangue, que se encontra parcialmente depletado de seu conteúdo de oxigênio e possui um conteúdo elevado de dióxido de carbono (como resultado da troca gasosa nos vários tecidos do organismo), é enviado do coração direto para os pulmões através da artéria pulmonar, onde ocorrerão as trocas gasosas.
- **Circulação Sistêmica:** dos pulmões o sangue renovado vai para o lado esquerdo do coração e deste, através da artéria aorta, é bombeado aos vários tecidos do corpo através da grande circulação (POWERS, HOWLEY, 2000).

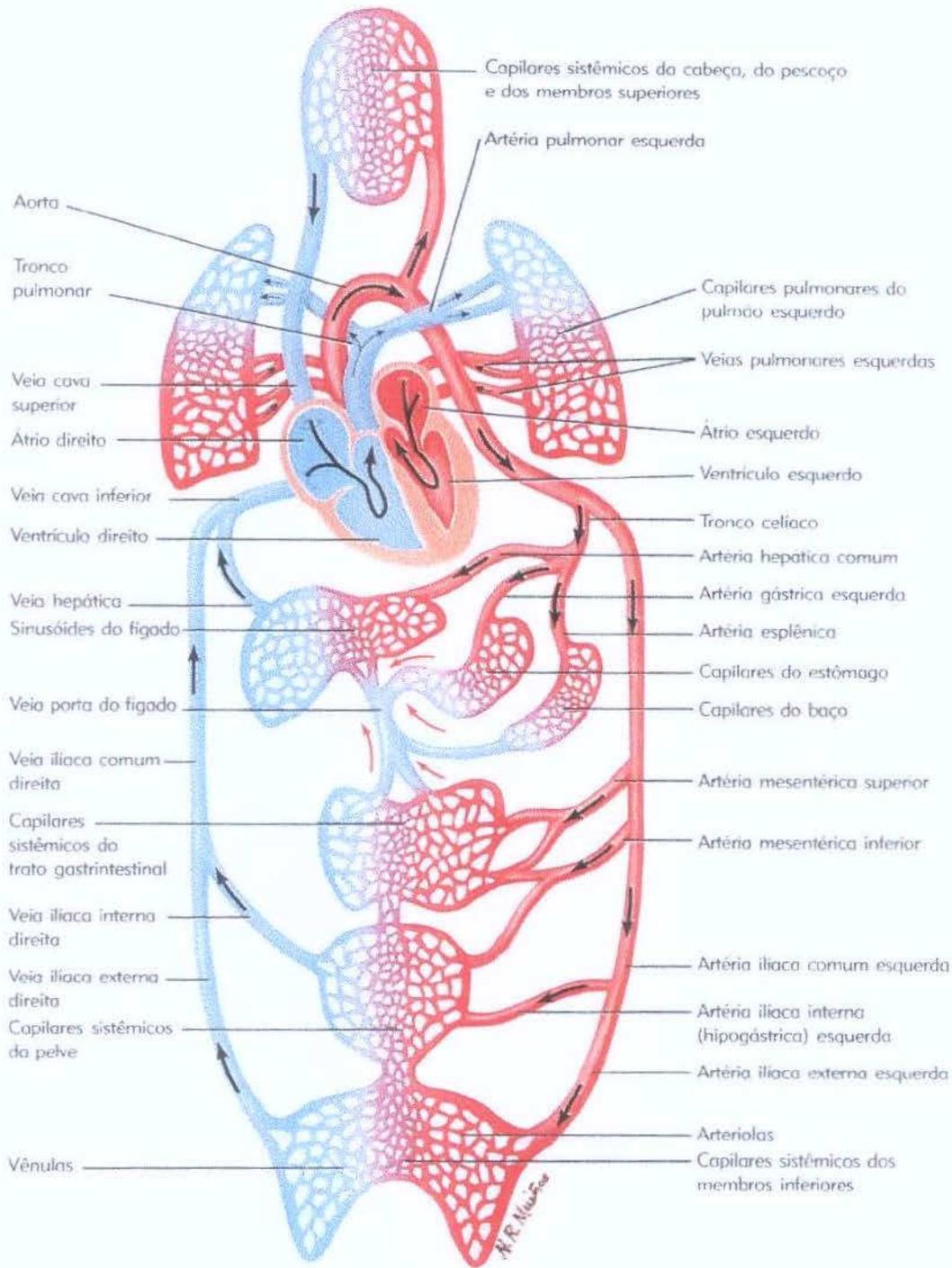


Figura 5.3: Rotas circulatórias. O padrão geral da circulação. As setas pretas grandes indicam a circulação sistêmica, as setas pretas pequenas indicam a circulação pulmonar e as setas vermelhas a circulação do fígado. Fonte: TORTORA, Gerard J. **Corpo Humano: Fundamentos de Anatomia e Fisiologia**. 4ª. Ed. Artmed, Porto Alegre, 2000.

O volume de sangue de um homem adulto é de 5 a 6 litros, e em uma mulher adulta é de 4 a 5 litros (TORTORA, 2000).

O sangue é um tipo de tecido conjuntivo especializado, líquido, avermelhado devido a presença da hemoglobina, que é encontrado nos chamados glóbulos vermelhos ou hemácias, células anucleadas que em conjunto com os glóbulos brancos e as plaquetas constituem a parte sólida do sangue.

A hemoglobina é justamente responsável pelas trocas gasosas, ou seja, ela transporta oxigênio para as células e recebe destas o dióxido de carbono, o qual é encaminhado para os pulmões onde a troca inversa ocorre ao nível dos alvéolos pulmonares (GUIMARÃES, 1988).

O sangue possui 3 funções gerais: regulação, transporte e proteção.

1. *Transporte*: Além de realizar o transporte dos gases até as membranas de troca na respiração celular e na respiração alveolar, o sangue também leva os nutrientes do trato gastrintestinal até as células; calor e resíduos para longe delas; e hormônios das glândulas endócrinas até as células-alvo do corpo.

2. *Regulação*: O sangue regula o pH por meio de tampões. Também ajusta a temperatura do corpo por meio de sua capacidade de absorção de calor e de refrigeração devido ao seu conteúdo de água e à sua taxa variável de fluxo através da pele, onde o excesso de calor pode ser dissipado para o ambiente.

3. *Proteção*: Mecanismo de coagulação, glóbulos brancos (fagocíticos ou anticorpos).

5.1.2. Sistema Respiratório

O sistema respiratório é composto pelo nariz, a faringe, a laringe (caixa de voz), a traquéia, os brônquios e os pulmões.

A principal função do sistema pulmonar é prover um meio de troca gasosa entre o ambiente externo e o interior do corpo. Além disso, o sistema respiratório é importante na regulação do equilíbrio ácido-básico durante o exercício, além de conter receptores para a

sensação olfatória, filtrar o ar inspirado, produzir sons e ajudar a eliminar as impurezas (TORTORA, 2000) (figura 5.4).

A respiração é tão fundamental que o seu corpo possui um mecanismo de emergência, para ser acionado quando por motivos adversos, uma pessoa decida parar de respirar. Ninguém consegue se suicidar tapando a boca e o nariz. Nesse caso, o cérebro obriga o indivíduo a respirar novamente, mesmo contra a sua vontade (DIAS, 1998).

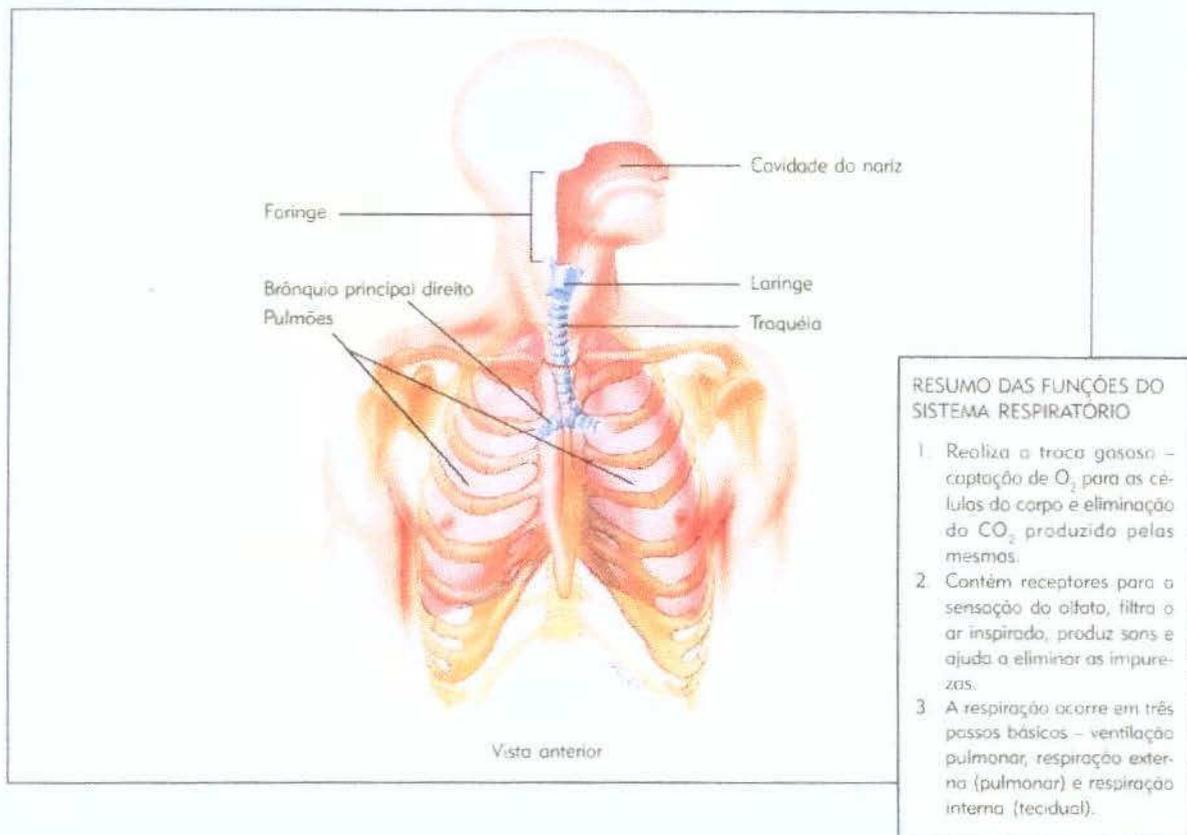


Figura 5.4: Órgãos do sistema respiratório em relação às estruturas circundantes. Fonte: TORTORA, Gerard

J. **Corpo Humano:** Fundamentos de Anatomia e Fisiologia. 4ª. Ed. Artmed, Porto Alegre, 2000.

A anatomia da ventilação consiste basicamente no ar ambiente (atmosférico) ser levado e permutado pelo ar presente nos pulmões através do processo da ventilação pulmonar. O ar que penetra pelo nariz e pela boca flui para dentro da porção condutiva do sistema ventilatório, onde é ajustado à temperatura corporal, filtrado e umedecido quase completamente ao passar através da traquéia. Esse processo de condicionamento do ar continua a medida que o ar inspirado penetra nos dois brônquios, que são os grandes tubos

que funcionam como condutos primários levando o ar para dentro de cada um dos pulmões. Os brônquios se subdividem em numerosos bronquíolos, que conduzem o ar inspirado através de um caminho tortuoso e estreito até que acaba se misturando com o ar existente nos ductos alveolares. Esses ductos são circundados completamente por alvéolos microscópicos, que são os ramos terminais do trato respiratório. São nos alvéolos, que formam a membrana respiratória, o local onde ocorrem as trocas gasosas pelo processo de difusão simples (McARDLE, KATCH, KATCH, 1998).

Os pulmões estão separados dos órgãos abdominais pelo diafragma, uma espessa folha de músculos arqueados. Cada pulmão é fechado em seu próprio compartimento, ficando revestido pela pleura, uma membrana de tecido conjuntivo. Entre os pulmões e a pleura está um fluido lubrificante que reduz o atrito criado pelo movimento de uma membrana contra a outra. Este fluido é chamado de líquido intrapleural.

Como o espaço aéreo dos pulmões se comunica diretamente com o ambiente externo através da boca, do nariz e da traquéia, a pressão dentro dos pulmões em situação de repouso é igual à pressão atmosférica, a não ser que alguma alteração de volume ocorra. O fluxo aéreo pulmonar depende dessas diferenças de pressão entre o ar ambiente e o ar presente dentro dos pulmões. Essas diferenças são geradas pelos músculos que agem no sentido de alterar as dimensões da cavidade torácica durante a inspiração e a expiração.

O processo de inspiração só é possível devido a ação de alguns músculos: o diafragma se contrai, movendo-se para baixo. Sem a pressão do diafragma os pulmões se expandem para permitir a entrada do ar. As costelas também se expandem, para cima e para fora, com a ajuda dos músculos intercostais externos. Tudo isso aumenta o volume da caixa torácica e o ar entra nos pulmões.

Na expiração, ocorre o contrário. O diafragma relaxa, num movimento para cima, voltando a sua posição original, em forma de arco. Os músculos intercostais também são relaxados. Esse conjunto de músculos faz pressão sobre os pulmões. Como a pressão interna é maior que a pressão do ambiente, o ar contido tende a sair para o ambiente.

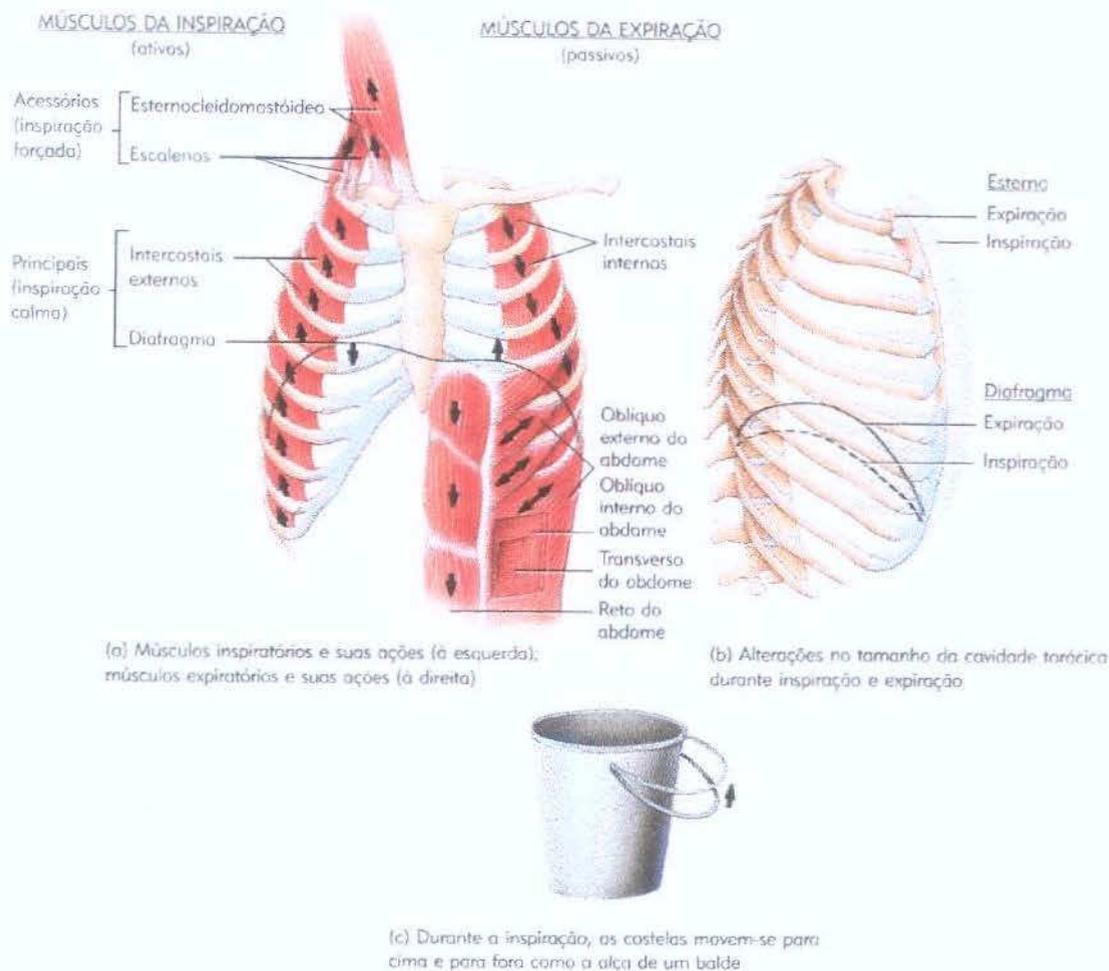


Figura 5.5: Ventilação pulmonar: músculos da inspiração e da expiração. Fonte: TORTORA, Gerard J.

Corpo Humano: Fundamentos de Anatomia e Fisiologia. 4ª. Ed. Artmed, Porto Alegre, 2000.

Os volumes pulmonares variam com idade, sexo e tamanho corporal (especialmente estatura) e deveriam ser avaliadas somente em relação a normas estabelecidas baseadas nesses fatores. Já as capacidades pulmonares são combinações de vários volumes pulmonares (quadro 5.1).

Algumas técnicas respiratórias podem ser utilizadas para um melhor aproveitamento dos volumes pulmonares em que o mergulhador se encontra capaz de executar. Os volumes pulmonares bem como as capacidades pulmonares são perfeitamente desenvolvidas através do treinamento e da utilização das técnicas respiratórias. Devemos

frisar que no treinamento, o aspecto psicológico é de acentuada importância para um bom rendimento. As técnicas de imersão e de movimentos submersos e de superfícies devem ser aprendidos o melhor possível e desenvolvidas, visando a utilização do menor esforço, conseqüentemente um menor consumo energético (GUIMARÃES, 1988).

VOLUME OU CAPACIDADE	VALOR	DEFINIÇÃO
Volumes pulmonares		
Volume de ar corrente (VAC)*	500 ml	Quantidade de ar inspirada ou expirada em cada respiração, durante a respiração calma normal.
Volume de reserva inspiratório (VRI)	3100 ml	Quantidade de ar que pode ser inspirada forçadamente além do volume de ar corrente.
Volume de reserva expiratório (VRE)	1200 ml	Quantidade de ar que pode ser expirada forçadamente além do volume de ar corrente.
Volume residual (VR)	1200 ml	Quantidade de ar restante nos pulmões após uma expiração forçada.
Capacidades pulmonares		
Capacidade inspiratória (CI)	3600 ml	Capacidade inspiratória máxima dos pulmões após uma expiração de volume de ar corrente normal ($CI = VAC + VRI$).
Capacidade residual funcional (CRF)	2400 ml	Volume de ar restante nos pulmões após uma expiração do volume de ar corrente normal ($CRF = VRE + VR$).
Capacidade vital (CV)	4800 ml	Quantidade máxima de ar que pode ser expirada após uma inspiração máxima ($CV = VAC + VRI + VRE$).
Capacidade pulmonar total (CPT)	6000 ml	Quantidade máxima de ar nos pulmões após uma inspiração máxima ($CPT = VAC + VRI + VRE + VR$).

Somente 350 ml de volume de ar corrente atingem os alvéolos, 150 ml permanecem no **espaço morto anatômico**.

Quadro 5.1: Resumo dos Volumes e das Capacidades Pulmonares. Fonte: TORTORA, Gerard J. **Corpo Humano: Fundamentos de Anatomia e Fisiologia**. 4ª. Ed. Artmed, Porto Alegre, 2000.

Dentro dos volumes pulmonares, deve-se observar alguns espaços adicionais, dentre eles os volumes de espaço morto anatômico e fisiológico. Estes “espaços” referem-se a áreas do aparelho respiratório não ativamente envolvidas com as trocas de gases. Quando inspiramos, o ar que será primeiro levado até os pulmões será o ar expirado de sua respiração anterior, que havia ficado nesta área. Este ar, é claro, contém quantidades de dióxido de carbono maiores do que os encontrados na atmosfera.

Para cada ciclo respiratório, uma inspiração e uma expiração, o ar de dentro do espaço morto não é eficaz. Se você respirasse rapidamente em vez de profundamente, muito pouco ar novo seria levado aos pulmões. Você estaria “respirando” o ar que estava nos espaços mortos de seu corpo. O dióxido de carbono logo causaria uma hipercapnia

(excesso de CO₂). Por outro lado, respirando fundo, e devagar, uma quantidade maior de ar novo é trocado e resulta numa ventilação adequada dos pulmões. O *snorkel*, usado na prática recreativa do mergulho e na pesca submarina, aumenta artificialmente a quantidade de espaço morto no sistema respiratório do mergulhador. Isso faz o mergulhador ter que respirar ainda mais fundo e mais devagar a fim de eliminar adequadamente o ar expirado.

Além disso, o ar sofre uma resistência durante o trajeto nas vias respiratórias. Quaisquer meios artificiais de condução de ar resultam em resistência maior ao fluxo de ar a ser respirado. A densidade e a velocidade do ar através destas vias respiratórias, seja elas anatômicas ou artificiais, refletem, em parte, a quantidade total de resistência de respiração que o mergulhador irá experimentar (WERNECK, [199?]).

Embora a respiração possa ser controlada voluntariamente em alguma extensão, o sistema nervoso usualmente controla a respiração automaticamente para atender às necessidades do corpo sem nossa preocupação consciente.

A frequência e a profundidade da respiração são ajustadas magistralmente em resposta às necessidades metabólicas do corpo. Os mecanismos para essa regulação, porém, são complexos e ainda não foram completamente compreendidos. Circuitos neurais intrincados retransmitem a informação proveniente dos centros superiores do cérebro, dos próprios pulmões e de outros sensores espalhados pelo corpo, de forma a contribuir para o controle da ventilação. A área da qual os impulsos nervosos são enviados para a indução da contração e relaxamento dos músculos respiratórios, está localizada no tronco encefálico e é denominado centro respiratório. O centro respiratório consiste de grupos de neurônios funcionalmente divididos em três áreas: (1) a área bulbar (Bulbo), correspondente a uma área inspiratória e uma área expiratória; (2) a área pneumotóxica (3) a área apnêustica, localizadas na Ponte (figura 5.6).

A área bulbar contém duas regiões – a área inspiratória e a área expiratória. Os impulsos nervosos originados na área inspiratória estabelecem o ritmo básico da respiração. Os neurônios na área expiratória são inativos durante a respiração calma, mas causam a contração dos músculos intercostais internos e abdominais durante a expiração forçada. A área pneumotóxica envia impulsos inibitórios à área inspiratória limitando a inspiração e provocando a expiração. Já a área apnêustica envia impulsos excitatórios à área inspiratória prolongando a inspiração quando a área pneumotóxica está inativa (TORTORA, 2000).

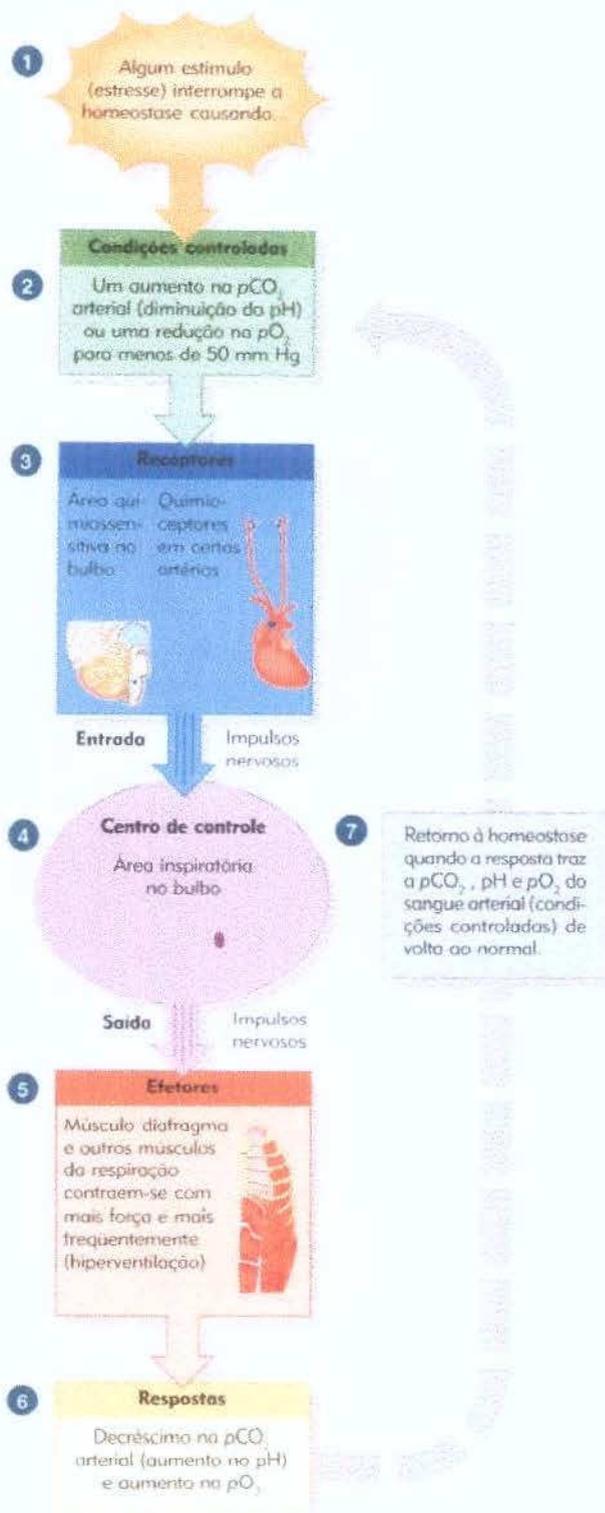


Figura 5.6: Controle por retroalimentação negativa da respiração, por meio de alterações na PCO_2 (concentração de H^+) e PO_2 do sangue. Fonte: TORTORA, Gerard J. **Corpo Humano: Fundamentos de Anatomia e Fisiologia**. 4ª. Ed. Artmed, Porto Alegre, 2000.

Em repouso, a ventilação pulmonar é regulada essencialmente pelo estado químico do sangue. Os sensores nervosos especializados no controle da respiração são extremamente sensíveis às alterações nos níveis de dióxido de carbono e de oxigênio na corrente sanguínea. Estes quimioceptores através do corpo excitam setores do cérebro para controlarem a velocidade da respiração. Quando a pressão parcial do dióxido de carbono (PCO_2) aumenta e a pressão parcial de oxigênio (PO_2) diminui, a velocidade da respiração aumenta. A velocidade respiratória também reage à acidez do sangue, aos movimentos dos músculos e das articulações, e à distensão do gradil costal e do diafragma. Além do estímulo químico e mecânico, os estados emocionais, como ansiedade ou pânico, podem engatilhar aumentos ou diminuições na velocidade respiratória (WERNECK, [199?]) (Quadro 5.2).

ESTÍMULOS QUE AUMENTAM A FREQUÊNCIA E A PROFUNDIDADE DA VENTILAÇÃO PULMONAR	ESTÍMULOS QUE DIMINUEM (INIBEM) A FREQUÊNCIA E A PROFUNDIDADE DA VENTILAÇÃO PULMONAR
Aumento na pCO_2 do sangue arterial acima de 40 mm Hg (causa um aumento no H^+ e uma redução no pH)	Diminuição na pCO_2 do sangue arterial abaixo de 40 mm Hg (causa uma diminuição no H^+ e um aumento no pH)
Redução na pO_2 do sangue arterial, de 105 mm Hg para 50 mm Hg	Diminuição na pO_2 do sangue arterial abaixo de 50 mm Hg
Diminuição na pressão arterial	Aumento na pressão arterial
Aumento na temperatura corporal	A diminuição na temperatura corporal diminui a frequência da respiração, e um súbito estímulo frio causa apnéia.
Dor prolongada	Dor intensa causa apnéia
Distensão do esfíncter do ânus	Irritação da faringe ou do laringe pelo toque ou por produtos químicos causa apnéia

Quadro 5.2: Resumo dos Estímulos que Afetam a Frequência e a Profundidade da Ventilação Pulmonar.

Fonte: TORTORA, Gerard J. **Corpo Humano: Fundamentos de Anatomia e Fisiologia**. 4^a. Ed. Artmed, Porto Alegre, 2000.

5.2. Sistema Auditivo e do Equilíbrio

O ouvido humano, denominado mais atualmente pela nomenclatura anatômica como orelha, é um interessante e complexo órgão, no qual é destinado particularmente a duas funções primordiais: a audição e a manutenção do equilíbrio, além de coordenar a fala.

Para o mergulhador, a capacidade de ouvir embaixo d'água não é tão importante quanto a de permanecer orientado no ambiente e ser capaz de equalizar o espaço aéreo dentro dos ouvidos com a pressão ambiente.

A orelha é dividida em três regiões principais: externa, média e interna.

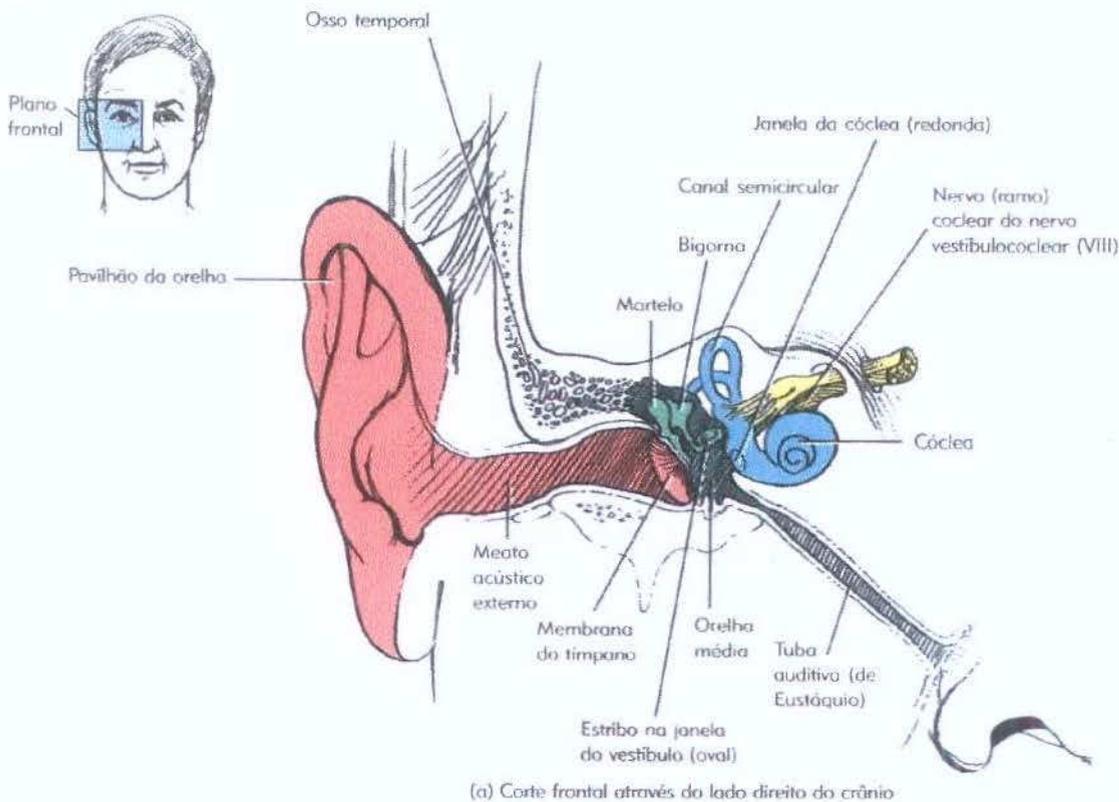


Figura 5.7: Estrutura do aparelho da audição, mostrando a divisão da orelha direita nas porções externa, média e interna. Fonte: TORTORA, Gerard J. **Corpo Humano: Fundamentos de Anatomia e Fisiologia**. 4^a. Ed. Artmed, Porto Alegre, 2000.

A orelha externa destina-se a coletar as ondas sonoras e passá-las para dentro. Ela consiste de pavilhão da orelha, meato acústico externo e membrana do tímpano. O pavilhão da orelha coleta as ondas sonoras conduzindo-as para o meato acústico externo, que por sua vez dirige as ondas sonoras ao tímpano. As ondas sonoras fazem vibrar a membrana do tímpano, o que, por sua vez, faz o martelo vibrar (ossículo da audição da orelha média).

A orelha média é uma pequena cavidade cheia de ar entre a membrana do tímpano da orelha externa e a orelha interna. Ela consiste dos ossículos da audição e da tuba

auditiva. Os ossículos da audição (martelo, bigorna e estribo) transmitem e amplificam as vibrações da membrana do tímpano para a janela do vestíbulo (oval). A tuba auditiva, antiga trompa de Eustáquio, iguala a pressão do ar em ambos os lados da membrana do tímpano.

Já a orelha interna consiste na cóclea, no vestíbulo e nos canais semicirculares, basicamente. É nesta região que são decodificadas as vibrações sonoras e transmitida ao cérebro via impulsos nervosos, além de, também, ser a região responsável pelo equilíbrio, onde estão presentes os órgãos receptores do equilíbrio, no qual inclui o sáculo, o utrículo e os ductos semicirculares, que são referidos como o aparelho vestibular. Após a vibração do som atingir a janela do vestíbulo (oval), o movimento deste, para dentro e para fora, faz com que o fluido interno do ouvido vá para frente e para trás através de terminações nervosas sensíveis que, em resposta, transmitem as mensagens sonoras ao cérebro através do nervo auditivo (TORTORA, 2000).

A parte superior da orelha interna é composta de três canais semicirculares preenchidos de fluido, que funcionam como órgãos de equilíbrio e orientação, como foi dito acima. Inclinar a cabeça ou o corpo inteiro disparará as terminações nervosas dentro dos canais quando eles respondem à gravidade. Os sinais provenientes das terminações nervosas dentro dos canais, os mecanorreceptores auditivos, são enviados ao cérebro para informar o corpo sobre sua orientação no ambiente. Dicas visuais também são importantes para a orientação adequada no ambiente e, quando usados em conjunto, nossos olhos e os canais semicirculares nos permitem que mantenhamos o equilíbrio e a orientação espacial (WERNECK, [199?]).

5.3. Equilíbrio Térmico

Os custos biológicos relacionados à termorregulação, e a falha deste sistema pode levar um organismo à morte. Por isso, esse equilíbrio é mantido a todo custo pela integração de mecanismos que alteram a transferência de calor para a periferia, que regulam o resfriamento por evaporação e que modificam o ritmo de produção de calor corporal. Se o

ganho de calor ultrapassa sua perda, como pode ocorrer prontamente durante um exercício vigoroso em um meio ambiente quente, a temperatura central sobe; em um meio ambiente frio, por outro lado, a perda de calor costuma ultrapassar sua produção, e a temperatura central cai. Pode ser tolerada uma queda de 10°C e uma elevação de apenas 5°C na temperatura corporal profunda ou central (JATOBÁ, 2000).

O hipotálamo contém o centro integrador dos vários processos de regulação da temperatura. Esse grupo de neurônios especializados na base do crânio age como um “termostato” (em geral estabelecido e regulado cuidadosamente em 37°C ± 1°C) que faz os ajustes termorreguladores para os desvios em relação a um padrão térmico, desencadeando respostas que protegem o organismo do acúmulo ou da perda de calor.

Os mecanismos que regulam o calor são ativados de duas maneiras: por receptores térmicos na pele que proporcionam influxo para a área de controle central e, por estimulação direta do hipotálamo através de modificações na temperatura do sangue que perfunde essa área.

A conservação do calor no estresse induzido pelo frio é conseguida graças a ajustes vasculares que desviam o sangue da periferia mais fria para os tecidos profundos mais quentes da parte central do corpo. Se esse mecanismo se revela ineficaz, os calafrios, ou seja, as contrações musculares regionais involuntárias, proporcionam uma produção significativa de calor metabólico. São liberados também hormônios que causam a elevação permanente no metabolismo em repouso (McARDLE, KATCH, KATCH, 1998).

Em resposta ao estresse induzido pelo calor, o sangue quente é desviado do centro para a superfície corporal. O calor corporal é perdido por irradiação, condução, convecção e evaporação. Nas altas temperaturas ambientes e durante a realização de um exercício, a evaporação constitui o principal mecanismo de regulação fisiológica contra o superaquecimento (McARDLE, KATCH, KATCH, 1998).

Dessa forma, durante um mergulho o corpo do mergulhador está submerso em um ambiente frio, capaz de conduzir o calor 25 vezes mais rápido que o ar, induzindo reações fisiológicas no organismo para compensar e reduzir essa perda, como veremos oportunamente neste trabalho.

6. RESPOSTAS FISIOLÓGICAS AGUDAS DURANTE O MERGULHO EM APNÉIA

6.1. Mergulho em Apnéia, Hiperventilação e Dióxido de Carbono

No mergulho livre o praticante não pode contar com um suprimento externo de ar. Tem na maioria das vezes, um aumento artificial do espaço morto anatômico através da utilização do *snorkel*, ou fica grandes períodos sem respirar, realizando trabalho em hipóxia, ou seja, sem a presença de oxigênio, a não ser o oxigênio presente nos pulmões durante o bloqueio da respiração. Esta situação faz com que o mergulhador se sujeite à grandes elevações da pressão parcial de dióxido de carbono no sangue.

O corpo humano só funciona adequadamente em uma margem muito pequena de variação do dióxido de carbono. De todos os mecanismos envolvidos no controle da respiração, o dióxido de carbono é o mais potente para modificar a velocidade de ventilação (WERNECK, [199?]).

Um excesso de dióxido de carbono é conhecido como hipercapnia, e uma diminuição no conteúdo normal de dióxido de carbono se chama hipocapnia. Ambos podem produzir problemas fisiológicos que afetam um indivíduo durante o mergulho livre. A hipercapnia normalmente resulta em respiração curta e fadiga, confusão, sonolência, espasmos musculares, dor de cabeça, náusea, músculos peitorais feridos e inconsciência também já foram relatados devido ao aumentado PCO_2 .

A hipocapnia pode resultar em tremores musculares, contração dos pulsos e mãos, "pontadas" nos membros ou lábios, tontura e inconsciência (WERNECK, [199?]).

Como vimos, durante o processo respiratório, não é a falta de oxigênio que nos indica a hora de respirarmos, mas sim a alta concentração de gás carbônico no sangue que faz com que o Bulbo estimule a respiração. Dessa forma, muitos mergulhadores, na tentativa de aumentar seu tempo de apnéia, realizam a hiperventilação, uma manobra arriscada na qual se inspira e expira rápida e profundamente além das necessidades

metabólicas do momento, resultando numa redução do dióxido de carbono e num pequeno aumento na pressão parcial do oxigênio na corrente sanguínea (WERNECK, [199?]; McARDLE, KATCH, KATCH, 1998).

Quando uma pessoa inspira profundamente ar ambiente, cerca de 1 litro de oxigênio penetra nos pulmões. Se, a seguir, a respiração for bloqueada, cerca de 650 ml desse oxigênio poderá ser utilizado para alimentar o metabolismo, antes da PO_2 e, em especial, a PCO_2 assinalarem a necessidade de renovação da respiração, limite este conhecido como linha crítica (McARDLE, KATCH, KATCH, 1998). Com algum treinamento, a maioria das pessoas consegue prender a respiração por cerca de 1 minuto. Durante esse período, a PO_2 arterial cai para cerca de 60 mmHg, enquanto a PCO_2 sobe para 50 mmHg, assinalando dessa forma a necessidade urgente de respirar. Durante o exercício, o tempo de apnéia sofre uma grande redução, pois a captação de oxigênio e a produção de dióxido de carbono aumentam em proporção direta com a intensidade da atividade. O mergulho em apnéia, quando precedido por hiperventilação, acarretará em um prolongamento significativo no período de apnéia; ao mesmo tempo, observa-se um grande aumento nos riscos para o mergulhador (McARDLE, KATCH, KATCH, 1998).

Desta forma, alguns efeitos fisiológicos devem ser levados em conta para determinarmos os riscos da hiperventilação que precede um mergulho em apnéia.

6.1.1. Pressão Parcial dos Gases

O problema da perda súbita da consciência, ou desmaio (*blackout*), é específico do mergulho livre e costuma ocorrer em mergulhadores que tentam prolongar a duração de um mergulho além de limites razoáveis. É provável que a causa seja uma redução crítica na PO_2 arterial, um aumento na PCO_2 arterial, ou os efeitos combinados desses dois fatores.

O ponto de interrupção (ruptura ou linha crítica) da apnéia costuma corresponder a um aumento na $PaCO_2$ (pressão parcial alveolar de CO_2) para aproximadamente 50 mmHg. Para algumas pessoas, é possível “ignorar” esse estímulo, em que se observa movimentos respiratórios involuntários, e continuar prendendo a respiração até que o dióxido de

carbono alcance níveis que causam intensa desorientação e até mesmo desmaio. Com a hiperventilação antes da apnéia, a PaCO_2 pode cair de seu valor normal de 40 mmHg para 15 mmHg. Essa queda no conteúdo corporal de dióxido de carbono prolonga muito a duração da apnéia, até que a PaCO_2 aumente até um nível capaz de estimular a ventilação.

O maior período de apnéia registrado, por exemplo, ao respirar ar sem hiperventilação prévia é de 270 segundos. O recorde mundial de apnéia estática está atualmente em 8 minutos e 06 segundos, conquistado pelo tcheco Martin Stepanek, em julho de 2001, na cidade de Miami nos EUA (AIDA, 2000). Porém já foram relatadas apnéias de 15 a 20 minutos com hiperventilação seguida por várias inalações de oxigênio puro.

A tentativa de prolongar o tempo de apnéia no mergulho não é isenta de sérios riscos. Considere-se a seguinte situação. Um mergulhador hiperventila na superfície antes de um mergulho. Isso reduz a PCO_2 arterial e aumenta o potencial de prolongar o período de apnéia. Agora o mergulhador inspira profundamente e imerge na água. O oxigênio alveolar penetra continuamente no sangue, para ser fornecido aos músculos ativos. Por causa da hiperventilação prévia, o nível arterial de dióxido de carbono continua baixo e o mergulhador está essencialmente “livre” da necessidade de respirar.

Concomitantemente, à medida que o mergulhador se aprofunda, a pressão externa da água comprime o tórax. Esta maior pressão mantém uma PO_2 relativamente alta dentro dos alvéolos. Assim sendo, apesar de a quantidade absoluta de oxigênio alveolar ser reduzida (à medida que o oxigênio penetra no sangue durante o mergulho), é mantida uma PO_2 adequada para saturar a hemoglobina à medida que o mergulho progride. Neste momento, o mergulhador percebe a necessidade de respirar e começa a subir, ocorre uma inversão significativa na pressão. À medida que a pressão da água sobre o tórax diminui, o volume pulmonar se expande e a pressão parcial do oxigênio alveolar sofre uma redução. Quando o mergulhador se aproxima da superfície, a PaO_2 pode ser tão baixa que o oxigênio dissolvido, em verdade, abandona o sangue venoso e penetra nos alvéolos. Nessa situação, extrema e aguda, o mergulhador pode perder bruscamente a consciência antes de alcançar a superfície (McARDLE, KATCH, KATCH, 1998).

6.1.2. Equilíbrio Ácido-Básico

Uma quantidade padrão de dióxido de carbono arterial é necessária para manter o equilíbrio ácido-básico do sangue. Isso é mediado pela liberação do íon H^+ quando o ácido carbônico é formado pela união de dióxido de carbono e água. Ao reduzir o nível de dióxido de carbono do sangue pela hiperventilação, a concentração de H^+ diminui, acarretando um desvio de pH sanguíneo na direção de uma maior alcalinidade. Essa alteração do equilíbrio ácido-básico contribui como um fator adicional ao organismo favorecendo bioquimicamente a interrupção momentânea e até prolongada da respiração (McARDLE, KATCH, KATCH, 1998).

6.1.3. Redução da PCO_2

A manutenção de um nível normal de PCO_2 arterial proporciona um estímulo contínuo para a dilatação das pequenas artérias cerebrais. A redução significativa do dióxido de carbono arterial durante a hiperventilação pode reduzir o fluxo sanguíneo e causar vertigem, tonturas, náuseas, convulsões ou até mesmo perda da consciência, antes mesmo de mergulhar. Obviamente, isso criaria uma situação perigosa na água (McARDLE, KATCH, KATCH, 1998).

A hiperventilação é desaconselhável por muitos estudiosos, porém, se ela ocorrer, as inspirações devem ser rápidas, periódicas e não excedentes a 12-15 ciclos, caso contrário, entrará em um nível de dióxido de carbono muito baixo, potencializando os riscos mencionados acima. Uma outra indicação refere-se a evitar atividades intensas sob a água depois de uma hiperventilação (AIDA, 2000).

6.2. “Movimento de carpa”

Assim como a hiperventilação, o movimento de carpa constitui em uma técnica utilizada por alguns mergulhadores com o intuito de aumentar seu volume pulmonar acima da capacidade pulmonar total e, supostamente, também aumentar a profundidade do mergulho.

A técnica consiste numa inspiração máxima completa, seguida de uma sucção de ar pela boca enquanto a glote está fechada. Após fechar a boca, uma pressão positiva oral é criada por uma manobra de engolir, onde ao mesmo tempo a glote abre-se. Então o ar é empurrado para os pulmões. O ciclo é repetido até que aproximadamente 1,5 l de ar seja adicionado à capacidade pulmonar total.

Devido à retração elástica da caixa torácica, a pressão intratorácica é aumentada durante a apnéia até a capacidade pulmonar total com o relaxamento dos músculos respiratórios. Isso reduz o retorno venoso e o débito cardíaco, que causa uma redução transitória da pressão arterial durante os primeiros 20 segundos da apnéia, além de uma breve e transitória taquicardia.

Tais efeitos sustentam a idéia da ocorrência de desmaios associada ao movimento de carpa em mergulhadores, sendo este, relacionado principalmente à redução drástica na pressão arterial devido ao aumento excessivo na pressão intratorácica (AIDA, 2002).

6.3. Reflexo de imersão

Dentre os estudos referentes à fisiologia do mergulho em apnéia, um dos assuntos em enfoque de investigação é o “reflexo de imersão” ou reflexo de mergulho, uma reação universal encontrada em todos os mamíferos, incluindo os humanos, focas, golfinhos e baleias, quando submersos. As respostas fisiológicas à imersão já foram descritas em mais de 3.000 anos de escritos médicos deixados pelos persas, hindus, gregos, egípcios e chineses (BOOKSPAN, 2000). De acordo com estudiosos, o reflexo de imersão inicia quando o mergulhador começa a apnéia e a água esfria sua face (AIDA, 2000).

6.3.1. Efeitos Cardiovasculares da Imersão

O conjunto de respostas cardiovasculares à imersão, incluindo bradicardia, vasoconstrição periférica e desvio preferencial do sangue para áreas vitais, é coletivamente conhecido como reflexo de mergulho (BOOKSPAN, 2000). A extensão da bradicardia é usada como um índice da profundidade do reflexo. O reflexo de mergulho ocorre em resposta a uma variedade de condições de imersão: imersão da face, como quando se lava o rosto; imersão do corpo com a cabeça fora da água, como durante exercício e terapia na água, e imersão completa durante natação em baixo da água, como em mergulho livre e mergulho autônomo.

O ajuste cardiovascular humano ao mergulho varia entre os indivíduos e as situações. Algumas pessoas demonstram respostas profundas, outras nenhuma alteração. Os não familiarizados com a água podem sobrepujar a resposta vagal com estimulação simpática, resultando em um aumento da frequência cardíaca (BOOKSPAN, 2000). Mesmo assim, considerável bradicardia tem sido observado em pessoas não treinadas bem como naqueles que são treinados, e graus semelhantes de bradicardia foram demonstrados em bons e maus nadadores (BOOKSPAN, 2000).

A conservação de O₂ como efeito do reflexo de imersão nos humanos é motivo de discussão. Alguns estudos afirmam como um efeito do reflexo (ANDERSSON, Johan. *Regulatory Mechanisms During Apnea and Diving* apud AIDA, 2002), enquanto outros não (BOOKSPAN, 2000).

Através de uma investigação, uma correlação positiva foi achada entre o reflexo de imersão e o tempo de apnéia com mergulhadores treinados, mostrando um reflexo mais pronunciado em um tempo maior de apnéia. O estudo foi realizado com apnéias feitas no seco, ou seja, sem a imersão de qualquer parte do corpo, e com imersão da face. Os mergulhadores treinados conseguiram aumentar seu tempo máximo de apnéia na água, quando seu reflexo foi eficientemente disparado (lembrando que a magnitude do reflexo de imersão é dependente de três fatores principais, como veremos a seguir, sendo eles: a temperatura, a imersão e a apnéia) (ANDERSSON, 2002).

Também foram comparadas apnéias com tempos determinados, com e sem imersão da face, a respeito da saturação de hemoglobina por O₂. Foi observado que a hemoglobina

arterial estava mais saturada após apnéias com imersão da face, onde o reflexo é mais pronunciado. Nas apnéias no seco, quando o reflexo não é muito desenvolvido, mais O_2 é aparentemente utilizado (ANDERSSON, 2002).

Então, é possível notar que há um grupo de ajustes que são altamente desenvolvidos nos mamíferos aquáticos, mas que podem também ser desenvolvidos nos mamíferos não mergulhadores, especialmente no homem, com a prática ou exposição. Isso inclui a habilidade do sangue em transferir, carregar e utilizar mais O_2 , aumentando a eficiência da ventilação, melhor aceitação em tolerar o débito de O_2 e aumento da tolerância à elevação de CO_2 (AIDA, 2002). No entanto, essas respostas desaparecem 3 meses após a interrupção dos mergulhos.

Portanto, através destas análises podemos concluir que a conservação de O_2 decorrente do reflexo de imersão ocorre nos humanos treinados como nos mamíferos aquáticos (lembre-se, alguns autores não concordam com esta afirmação). Tal conservação deve-se aos seguintes fatores: a vasoconstrição seletiva, que causa uma redução local do consumo de O_2 nos tecidos tolerantes à hipóxia, reservando assim, O_2 para os órgãos mais sensíveis como o coração e o cérebro; e a bradicardia, que leva a uma redução na demanda de O_2 no músculo cardíaco (ANDERSSON, 2002).

No entanto, diferente dos mergulhadores treinados, a bradicardia resultante do reflexo de mergulho em mergulhadores não treinados não reduz a demanda de oxigênio para protegê-los da hipóxia ou estender o tempo de retenção da respiração. Mergulhadores não treinados apresentam bradicardia por imersão iguais aos encontrados nos mamíferos terrestres, cerca de 15-30% de diminuição da frequência cardíaca de controle. Já os mergulhadores treinados, apresentam bradicardia reflexa iguais aos mamíferos semi-aquáticos, chegando a valores de 30-50% de diminuição da frequência cardíaca de controle (AIDA, 2002).

Portanto, o papel do reflexo de mergulho nos seres humanos que nadam em águas frescas e frias é principalmente a conservação de calor por meio da vasoconstrição periférica e, secundariamente, uma manobra reguladora para manter a pressão arterial (BOOKSPAN, 2000).

Adicionalmente a estes dados, é provável que múltiplos e competitivos fatores mecânicos e neurais estejam envolvidos na resposta humana à imersão. A interação entre

esses fatores também é importante. Analisaremos a partir de agora alguns dos principais fatores principais que influem nas respostas reflexas, como a temperatura, a própria imersão e a apnéia.

Temperatura

O frio produz dois efeitos principais para baixar a frequência cardíaca. Termorreceptores ao frio distribuídos na testa e na região dos olhos, área inervada pelo ramo olfatório do nervo trigêmeo que é principal entrada sensorial para o desencadear o reflexo da face imersa, determinam a bradicardia reflexa neural. Da vasoconstrição induzida pelo frio também ocorre desvio do sangue para o tórax, aumentando o retorno venoso. Este aumento eleva o enchimento atrial, a contratilidade por meio do mecanismo de Frank-Starling e conseqüentemente o débito sistólico. Para então se mantido o débito cardíaco, a frequência cardíaca cai de maneira reflexa (BOOKSPAN, 2000).

Alguns estudos em relação à variação de temperatura, mostram que a intensidade do reflexo de imersão está ligada principalmente com a diferença entre as temperaturas do ar e da água, do que quando ocorre variação destas temperaturas isoladas.

Ao contrário da água fria, o calor induz aos reflexos inversos. A imersão em água morna ou quente aumenta a frequência cardíaca. Porém a água a uma temperatura superior a 20°C, e inferior a 40°C, pode não ter nenhum efeito sobre o fluxo sanguíneo periférico durante a imersão (BOOKSPAN, 2000).

Imersão

A gravidade opera da mesma forma embaixo da água, mas seus efeitos são menores. O efeito reduzido da gravidade desvia sangue e líquido dos membros inferiores para a parte superior do corpo (principalmente o tórax). Esta regionalização do fluxo inicia-se imediatamente após a exposição e atinge um máximo em 24 horas. A centralização aumentada do volume sanguíneo e de líquido aumenta o retorno venoso, o que estimula os barorreceptores, aumenta o enchimento cardíaco e o débito sistólico, reduzindo mais uma vez a frequência cardíaca de forma reflexa. No entanto observa-se que o efeito bradicárdico da imersão é até duas vezes maior, quando a imersão corporal é combinada com a imersão da face ou da cabeça, do que na imersão do corpo unicamente (BOOKSPAN, 2000).

Apnéia

Prender a respiração (apnéia) diminui a frequência cardíaca. A imersão em água com retenção da respiração produz um maior grau de bradicardia do que o observado durante apnéia no ar.

Várias investigações determinam quais os aspectos da apnéia que contribuem para a bradicardia: cessação dos movimentos respiratórios, hipercapnia, hipóxia, pressão intrapleural, nível inspiratório e pressão intratorácica. Como na manobra de Valsalva subsequente a uma inspiração forçada, pela ocorrência de pressão intratorácica aumentada, os estímulos originados nos barorreceptores, fazem com que os centros nervosos superiores determinem a redução da frequência cardíaca. Contudo, a aumentada pressão intratorácica também reduz o retorno venoso a partir da periferia, bloqueando este efeito bradicárdico (BOOKSPAN, 2000).

6.3.2. Diferenças Entre o Reflexo de Mergulho em Humanos e Animais

Em mamíferos aquáticos como baleias e focas, o reflexo de mergulho desempenha um papel capital na conservação de oxigênio devido a bradicardia, vasoconstrição periférica e desvio preferencial do sangue para áreas vitais. Diversamente dos mamíferos marinhos, os seres humanos não retêm um benefício conservador de oxigênio, apenas os mergulhadores treinados, como vimos antes nos estudos realizados por Andersson.

Embora na água fria ocorra bradicardia nos humanos, não há redução concomitante no metabolismo ou nas demandas de oxigênio nos órgãos vitais do corpo. Em contraposição, uma resposta imediata à imersão fria é o aumento do metabolismo, evidenciado por um aumento no consumo de oxigênio. O metabolismo aumenta como uma adaptação imediata para lidar com o trabalho de permanecer aquecido no frio (BOOKSPAN, 2000).

Os animais marinhos exibem redução da frequência cardíaca de até 90%. A bradicardia aparece em menor grau nos humanos, com redução máxima a 50% dos valores controle pré-mergulho.

Diversamente dos mamíferos que mergulham, os humanos muitas vezes exibem arritmias durante bradicardia de mergulho, particularmente após exercício embaixo da água. A frequência de arritmia nas “amas” (mergulhadoras coreanas) foi constatada em 43% delas em água a 27°C, no verão e em 72% na água a 10°C, no inverno (BOOKSPAN, 2000).

Além dos mamíferos marinhos terem um tempo de retenção da respiração muito além se comparados ao tempo de retenção dos seres humanos, eles também possuem a capacidade anatômica de colapsar os seus pulmões no momento da submersão, deslocando o ar para longe do sangue, protegendo-os de vários efeitos nocivos da exposição ao ar sob pressão. Já os humanos normalmente inspiram profundamente antes da submersão, prendendo volume de ar no pulmão quase na capacidade inspiratória máxima. Os gases pulmonares continuam a trocar-se durante mergulhos profundos, resultando, em casos ocasionais, a doença de descompressão entre mergulhadores que retêm a respiração ao praticar repetidos mergulhos profundos, o que será detalhado mais adiante (BOOKSPAN, 2000).

6.3.3. Efeitos Renais da Imersão

A resposta renal à imersão resulta em diferentes situações que podem comprometer a homeostase. Inclui-se: o débito urinário aumentado (diurese), com conseqüente perda de volume plasmático; perda de sódio (natriurese); perda de potássio (potassiurese). A imersão em água fria pode potencializar estas respostas, sendo que esse conjunto de efeitos ocorre durante a imersão corporal com a cabeça de fora, assim como durante exercícios e reabilitação na água, mergulho em apnéia e mergulho autônomo (*scuba*). Alguns destes efeitos também ocorrem com a exposição não imersa em água fria, como evidenciado em banhos de chuveiro.

Diversos efeitos conjugando vasoconstrição periférica com imersão fria desviam sangue dos membros, produzindo hipervolemia central. O papel da diurese de imersão é usualmente explicado como um forte mecanismo compensador homeostático para contrabalançar receptores cardíacos distendidos, reduzindo, desse modo, a distensão atrial

direita. Ele foi postulado como uma possível resposta protetora do coração contra a sobrecarga de volume ou pressão causados por este desvio (BOOKSPAN, 2000).

6.4. Efeitos dos Exercícios na Água

A maioria das respostas e adaptações ao exercício na água são qualitativamente semelhantes às resultantes do exercício efetuado em terra, porém há algumas importantes diferenças que serão abordadas nos tópicos a seguir.

6.4.1. Frequência Cardíaca

Observa-se que para um dado valor de VO_2 a frequência cardíaca é inferior durante a realização de exercícios na água.

6.4.2. Suor

Apesar da evaporação do suor não ocorrer na água, a condutividade térmica e o calor específico mais altos da água fazem com que o calor seja ganho e perdido mais prontamente pelo corpo por meio de condução e convecção.

6.4.3. Temperatura

Como foi visto, a condução do calor na água é cerca de 25 vezes maior que aquela do ar na mesma temperatura. Conseqüentemente, a imersão em água fria, como ocorre no mergulho onde o frio é diretamente relacionado à profundidade, pode impor um estresse térmico capaz de causar consideráveis ajustes termorreguladores em um período relativamente curto.

Os calafrios são observados com frequência quando a pessoa fica inativa em uma piscina ou em um meio ambiente oceânico, em virtude de uma grande perda de calor por condução. Até mesmo com um exercício moderado na água fria, o calor metabólico gerado costuma ser insuficiente para compensar a grande drenagem (perda) térmica. Um exemplo ocorre durante a natação, pois a transferência de calor por convecção aumenta muito com o

movimento rápido da água próximo da superfície cutânea (McARDLE, KATCH, KATCH, 1998).

6.4.4. Consumo de Oxigênio

Pode-se concluir que o custo energético, que tem como correspondente o consumo de oxigênio, durante o exercício na água pode ser aumentado na água fria por causa do efeito do tremor, na tentativa de manter a temperatura corporal. A magnitude deste efeito dependerá do grau de adiposidade do indivíduo, da intensidade e duração do exercício, e da temperatura da água (CURETON, 2000).

6.4.5. Gordura Corporal

Diferentes conteúdos de gordura corporal entre os indivíduos exercem um efeito significativamente diferente sobre a função fisiológica em um meio ambiente frio tanto em repouso quanto durante a realização de um exercício. Uma gordura adicional aprimora muito o isolamento efetivo quando o sangue periférico é redirecionado da periferia para o centro do corpo na água fria.

Uma pessoa obesa, por exemplo, que se considera confortável repousando imersa até o pescoço em água a 26°C, pode suar através da fronte durante um exercício vigoroso. Para essa pessoa, uma temperatura da água de 18°C poderia ser mais favorável para a realização de um exercício intenso. Por outro lado, em uma pessoa magra, a água a 18°C é debilitante, tanto em repouso quanto durante a realização de um exercício, sendo o calor gerado pelo exercício insuficiente para contrabalançar a drenagem de calor para a água, sofrendo assim, um esfriamento na temperatura central do corpo (McARDLE, KATCH, KATCH, 1998).

Observa-se ainda que, a exposição por um longo período, do corpo em água fria pode trazer adaptações no organismo com o intuito de aprimorar o isolamento térmico. É percebido que nadadores oceânicos bem sucedidos, possuem uma quantidade relativamente grande de gordura subcutânea, em comparação com nadadores não-oceânicos altamente treinados (McARDLE, KATCH, KATCH, 1998).

6.4.6. Diferenças Entre os Sexos

As mulheres em qualquer idade possuem, em média, uma maior porcentagem de gordura corporal do que homens. Essa diferença, garante a elas um gasto energético médio na água 30% menor em relação ao homem (JATOBÁ, 2000). Dessa forma, muito se fala na adaptabilidade feminina no ambiente aquático e principalmente no mergulho em apnéia. Porém, se avaliarmos os recordes em mergulho livre, todos, independentes do sexo, foram realizados por homens. Assumindo-se que este fato ocorra devido aos homens em média terem uma maior caixa torácica que as mulheres e, conseqüentemente, uma maior capacidade pulmonar. Porém, ao mesmo tempo, os homens também possuem em média uma maior quantidade de massa muscular, que lhes garante um maior custo energético e, conseqüentemente, um maior consumo de oxigênio (GUIMARÃES, 1988).

6.5. Efeitos da Pressão nos Espaços Aéreos dos Mergulhadores

O aumento da pressão poderá ser tolerado pelo organismo humano, se esta estiver uniformemente distribuída e compensada, entretanto se houver uma diferença entre a pressão do ambiente e a pressão dos espaços gasosos do organismo, no momento do aumento da pressão poderá ocorrer um acidente chamado “barotrauma”. Essa diferença causará um rompimento das estruturas por compressão do volume, comprometendo vasos sanguíneos e tecidos que compõem os espaços aéreos do organismo ou ligados a ele (GUIMARÃES, 1988).

6.5.1. Ouvido

O barotrauma do ouvido médio, ou orelha média é o mais comum dos problemas fisiológicos experimentados pelos mergulhadores. É causado pela incapacidade ou falha por parte do mergulhador de elevar a pressão do ar dentro da cavidade do ouvido médio equalizando-se à pressão da água fora do tímpano durante a descida. Se o mergulhador não

conseguir equalizar o ouvido médio por qualquer um dos motivos que serão mencionados brevemente, o tímpano será deslocado para dentro.

Se o mergulhador continuar a descer sem equalizar adequadamente a pressão dos ouvidos, suportando o desconforto e a dor, o fluido será forçado dos vasos sanguíneos da membrana do ouvido médio para a cavidade. Este seria a resposta funcional do organismo para equalizar a pressão, reduzindo o volume na cavidade do ouvido médio. A quantidade de fluido na cavidade do ouvido médio dependerá da diferença de pressão do ouvido médio e o ambiente, somada à duração da exposição à pressão circundante.

Ao submergir, o mergulhador experimentará audição reduzida, sensação de preenchimento no ouvido, e se o fluido estiver presente na área do ouvido médio, som de borbulhar nos ouvidos. Os mergulhadores nesta condição não devem persistir no mergulho.

Se a descida for rápida, como no caso do mergulho livre, o fluido não terá tempo de se acumular no ouvido médio para equalizar a área por redução do volume. Quando isso acontece, o tímpano pode se romper, causando uma dor profunda, além de zumbido e sangramento no canal externo do ouvido.

Qualquer obstrução, devido a inflamações, alergias etc, nas tubas auditivas do ouvido médio, resultará na incapacidade de equalizar esta região com a pressão circundante. Enquanto o bloqueio permanecer, a descida é impossível sem danos no tecido do ouvido médio.

A tuba auditiva é envolta por tecido delicado, similar ao do nariz e dos sinus. A irritação desses tecidos causada por alergias, infecções graves por gripe ou fumo excessivo, pode causar congestão e bloqueio. Para melhorar o funcionamento da tuba auditiva e para eliminar o bloqueio congestivo, alguns empregam o uso de *sprays* nasais ou descongestionantes internos. Embora o uso destas drogas possa ajudar na equalização, devem ser usadas com cautela pelos mergulhadores.

Muitas dessas drogas descongestionantes têm tempo de ação curto, e o efeito passa mais rápido do que o normal embaixo d'água. Depois que o sintoma passar, um efeito rebote geralmente ocorre, causando congestão e bloqueio ainda maiores do que antes de seu uso (WERNECK, [199?]).

Normalmente, a abertura de cada tuba auditiva até a garganta se mantém fechada por pequenos músculos. Num mergulhador normal e saudável, os músculos das tubas

auditivas se abrem facilmente com movimentos de bocejar, mastigar ou engolir. Os mergulhadores sem bloqueio na tuba auditiva podem ainda experimentar alguma dificuldade para equalizar a área do ouvido médio se descerem alguns metros antes de tentarem equalizar. Os músculos da tuba auditiva, normalmente fechados, selarão com mais força devido ao aumento de pressão do ar na garganta. Se, nesse ponto, os mergulhadores tentarem equalizar os ouvidos, a pressão na garganta aumentará ainda mais através do processo de equalização, “trancando” os músculos da tuba auditiva e impossibilitando a equalização. Quando isto ocorrer, o mergulhador precisará subir um pouco para destrancar as aberturas da tuba auditiva e assim conseguir equalizar (WERNECK, [199?]).

Na maioria dos mergulhadores, a equalização dos espaços aéreos é alcançada através de um método popularmente utilizado, a “Manobra de Valsalva”, que tem o nome do cientista que o descobriu, no século XVIII.

A Manobra de Valsalva é atingida obstruindo-se o nariz com os dedos e soprando, com a boca fechada. Se feita cuidadosa e delicadamente por um mergulhador saudável, este método forçará o ar para o ouvido médio com pouco esforço. É fácil sentir quando o espaço está equalizado. É possível “superinflar” a cavidade do ouvido através da Manobra de Valsalva, portanto, recomenda-se cuidado. O procedimento parece fácil, mas pode ser difícil dominar a técnica (WERNECK, [199?]).

Já em menor frequência de ocorrência existe o barotrauma do ouvido interno, que é uma lesão ou rompimento de duas membranas de ligação do ouvido médio com o ouvido interno devido a pressão da água.

No caso de rompimento do tímpano e penetração de água tanto no ouvido médio como no ouvido interno, a diferença de temperatura causará um efeito semelhante a uma labirintite, só que por temperatura, deixando o mergulhador momentaneamente sem noção espacial. Isso poderá durar aproximadamente 1 minuto, sem qualquer outro efeito imediato. Essa perda de noção espacial leva à uma desorientação e, conseqüentemente, pode levar ao pânico, com possibilidades de causar afogamento do mergulhador. Por esse motivo o acidentado desse tipo de barotrauma deverá manter a calma e voltar a superfície; se desorientado, seguir o sentido das bolas, que sempre estarão subindo (GUIMARÃES, 1988).

6.5.2. Vertigens

Durante o mergulho, o efeito da gravidade quase nula causada pela flutuação neutra, somado à visibilidade reduzida embaixo d'água pode desorientar um mergulhador. Mergulhar em águas escuras ou à noite reduz as referências visuais e causa desorientação extrema. A perda da referência é comum quando nem a superfície nem o fundo podem ser vistos e se está no meio da água. Outras condições ambientais, como ondas ou correntes, também podem levar a problemas de desorientação durante o mergulho, mesmo em água rasas.

Certas condições fisiológicas e/ou ambientais que podem ocorrer durante o mergulho às vezes produzem um tipo especial de desorientação conhecido como vertigem. Quando há uma verdadeira vertigem, o mergulhador tem alucinações de movimentos. Os objetos parecem estar se movendo ou o mergulhador se sente como se o ambiente estivesse rodando. A vertigem pode causar náusea, tontura e até mesmo pânico, pois a sensação é estranha e desconfortável. É importante enfatizar que a vertigem é incomum e seus sintomas estranhos raramente duram por mais do que trinta segundos (WERNECK, [199?]).

Várias causas de vertigem são conhecidas. Duas destas causas envolvem o desequilíbrio de temperatura e a estimulação pela pressão dos canais semicirculares sensíveis. Normalmente, a temperatura e a pressão do canal externo e da cavidade do ouvido médio de cada ouvido são iguais. Quando esta situação existe, o equilíbrio e a orientação são normais e os sintomas da vertigem não ocorrem. Porém se a temperatura ou a pressão forem maiores numa cavidade de ouvido do que na outra, pode ocorrer vertigem. Essa variação de temperatura e pressão entre os ouvidos pode ocorrer se um tímpano romper e o outro não, ou por uma Manobra de Valsalva em que ocorre a equalização em apenas um dos ouvidos durante a descida, ou mesmo durante a subida, devido a um bloqueio reverso da tuba auditiva. Também uma posição de cabeça para baixo e pés para cima embaixo d'água pode aumentar as chances de se sentir vertigens (WERNECK, [199?]).

6.5.3. Sinus

Os quatros pares de sinus (seios da face ou seios paranasais) localizados dentro da cabeça são espaços aéreos rígidos e ocios, formados por uma membrana mucosa que contém muitos capilares (figura 6.14.1). Os sinus se conectam ao nariz e a garganta por intermédio dos óstios sinusais e pelas vias aéreas superiores. Normalmente, o ar flui livremente nos dois sentidos pelos sinus, permitindo que os diferenciais sejam equalizados automaticamente e sem esforço, ou seja, não necessitam de manobras para compensação, devido a sua ligação com os pulmões (GUIMARÃES, 1988).

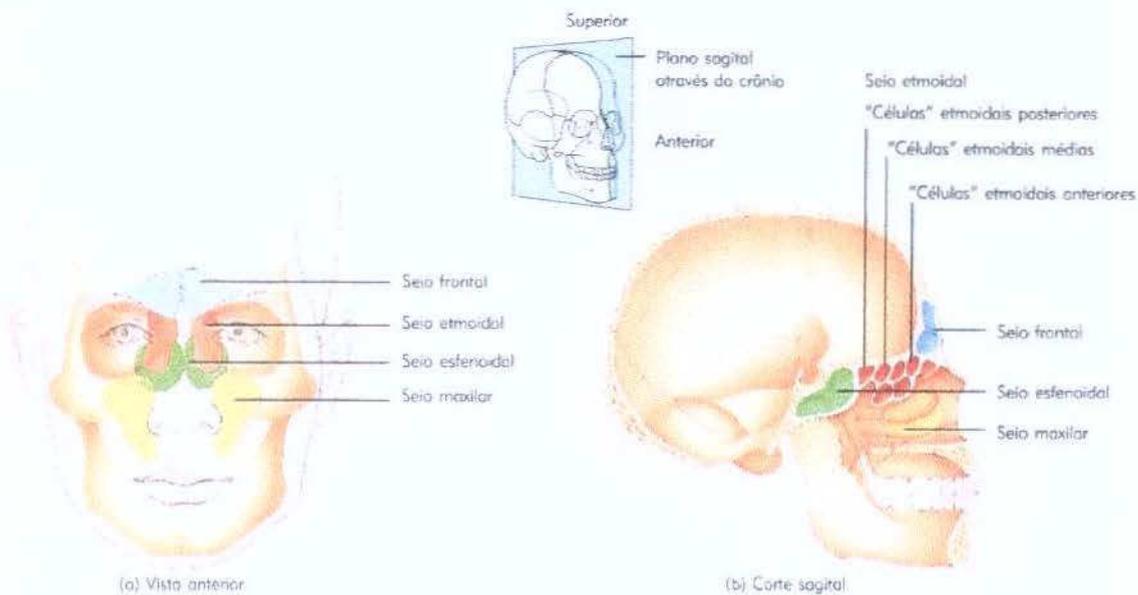


Figura 6.1: Seios Paranasais. Fonte: TORTORA, Gerard J. *Corpo Humano: Fundamentos de Anatomia e Fisiologia*. 4ª. Ed. Artmed, Porto Alegre, 2000.

Os mergulhadores que fazem esforço ativo para equalizar os ouvidos através de movimentos faciais ou da Manobra de Valsalva normalmente equalizarão a pressão nos sinus também. Se, durante a descida, as passagens das cavidades dos sinus forem bloqueadas por qualquer razão, será impossível equalizar estes espaços à pressão circundante. Isto causará um barotrauma sinusal, com a instalação de dor que continuará até que o sangramento e o inchaço no tecido cause equalização de pressão dentro da cavidade sinusal (WERNECK, [199?]).

Durante a subida o ar dentro dos sinus bloqueados se re-expandirá com o aumento da pressão. Este ar em alta pressão dentro da cavidade reduzida, causada pelo inchaço do tecido e pela presença de sangue, pode ejetar a obstrução das passagens dos sinus e causar sangramento no nariz. A dor persistirá durante a subida, mas a ejeção da obstrução juntamente com o sangue pode fazer com que a dor passe um pouco. Porém, uma menor intensidade de dor poderá persistir por muitas horas. Sangramentos no nariz não são incomuns após atividades de mergulho, e indicam que há um bloqueio nos sinus (WERNECK, [199?]).

Os barotraumas e bloqueios sinusais se devem a obstruções causadas por reações alérgicas, infecções respiratórias ou muco seco. Como os dutos sinusais são consideravelmente menores do que aqueles das passagens nasais, obstruções muito pequenas podem fechar as aberturas. Se as passagens nasais estiverem bloqueadas, você pode apostar que os dutos sinusais estarão fechados.

Como mencionado anteriormente, os descongestionantes devem ser usados com muita moderação. *Sprays* nasais tópicos podem produzir desobstrução imediata nas aberturas nasais e sinusais, mas o efeito pode passar rapidamente embaixo d'água. Se isso acontecer, o ar em alta pressão se forçará para dentro das cavidades sinusais através dos bloqueios das aberturas. Se a obstrução for grande, poderá persistir durante a subida, causando dor forte na área sinusal afetada. Se a dor for muito forte, o mergulhador pode tomar descongestionantes depois do mergulho para abrir os dutos sinusais e permitir que o ar em alta pressão escape (WERNECK, [199?]).

6.5.4. Máscara

As máscaras de mergulho criam um espaço aéreo artificial entre o rosto e o ambiente. Um barotrauma de máscara pode ocorrer se o ar não for expirado pelo nariz na máscara durante a descida, pois, o espaço aéreo criado pela máscara não for equalizado, o aumento da pressão, acarretará em um efeito de sucção dos tecidos dos olhos e do rosto pela máscara, o chamado efeito ventoso (WERNECK, [199?]).

O efeito do barotrauma de máscara afeta principalmente os olhos, que ficam inchados e vermelhos. Também pode ocorrer hemorragia na parte branca dos olhos, ficando uma vermelhidão muito distinta (GUIMARÃES, 1988).

6.5.5. Dente

Dentes em processo infecciosos ainda não identificados ou em tratamento poderão conter algum volume gasoso ou estar com uma hipersensibilidade. Durante a descida a pressão circundante, ao aumentar, aplicada a este pequeno espaço aéreo pode causar um barotrauma dental.

A dor é o sintoma mais comum e, geralmente impedindo que o mergulhador desça mais. O tecido da gengiva e o sangue podem preencher o pequeno espaço numa tentativa de equalizar a pressão. Durante a subida, qualquer expansão de gás pode ser restrita por este sangue e tecido que preenchem o espaço e o resultado poderá variar de uma dor branda até uma severa. Obstruções nos dentes podem implodir quando a pressão externa fizer com que elas sofram um colapso e ocorrerá uma dor considerável. Subidas ou descidas rápidas aumentam a chance de ocorrer um problema odontológico no mergulho (WERNECK, [199?]).

6.5.6. Pulmão ou Tórax

Os volumes pulmonares são de fácil equilíbrio de pressão, pois sofrem a ação direta da pressão do ambiente sobre a estrutura da caixa torácica, mantendo um volume adequado à pressão ambiente. O único momento de perigo para os pulmões, quando falamos em mudança de pressão, é quando estes atingem a proximidade do volume residual (1,5 l), o que pode ser atingido em torno de 30 metros de profundidade. A partir desse ponto, se a pressão continuar a aumentar, isto é, aumentando a profundidade, a caixa torácica e as estruturas dos pulmões tenderiam a comprimir mais ainda e, com o volume residual ser atingido. Este conjunto passaria a se comportar como uma estrutura incompressível, podendo ocorrer a congestão pulmonar, edema e até hemorragia pulmonar. O mergulhador pode experimentar uma sensação de compressão torácica, dificuldades respiratórias e, possível, dor torácica. A continuação da descida pode resultar no colapso da caixa torácica.

Essa condição é geralmente chamada de barotrauma pulmonar de descida ou compressão torácica.

Durante os mergulhos em apnéia em grandes profundidades, ocorre o extravasamento do sangue dos capilares pulmonares para os alvéolos, evitando o colapso pulmonar, resultando numa significativa diminuição do volume residual. Este efeito é conhecido como *cupping-glass* ou *blood shift*.

Medições pletismográficas do volume sanguíneo torácico deslocado durante os mergulhos em apnéia, em profundidades de 130 pés (aproximadamente 40 metros), confirmam que ocorre um deslocamento significativo do volume de sangue para dentro do tórax (AIDA, 2002).

O mergulhador Jaques Mayol, hoje falecido, mergulhou com sucesso à profundidade de 231 pés. Essa era considerada uma grande profundidade que podia ser predita com base na razão do volume pulmonar total pelo volume residual. O volume pulmonar total e o volume residual de Mayol eram 7,22 e 1,88 litros, respectivamente. Baseado nessa razão, o limite de profundidade de Mayol seria de 90 pés. Teoricamente, um extravasamento de 980 ml de sangue para dentro do tórax era necessário, com um redirecionamento do ar e redução do seu volume residual para aproximadamente metade do medido. Fotografias subaquáticas foram tiradas nos mergulhos a 240 pés, mostrando uma cavidade torácica pronunciada, compressão abdominal e batimento das pregas formadas pela pele torácica. Alguns anos mais tarde, Mayol bateu o recorde no mergulho livre, atingindo 105 metros de profundidade, o equivalente a pouco mais de 344 pés (AIDA, 2002).

O padrão respiratório pós-mergulho pode ser significativo na compensação das alterações no volume sanguíneo intratorácico. Depois de emergir, os mergulhadores AMA (mergulhadores de apnéia profissionais oceânicos, que possuem em sua comunidade uma história de centenas de anos desta prática, geralmente catadores de perolas) do Japão respiram lentamente e usam freio labial durante a expiração. O freio labial, que constitui na contração dos lábios ao ponto de formar apenas uma fenda na boca para entrada de ar, funciona como uma manobra de Valsalva podendo relocar parcialmente o volume

sanguíneo intratorácico e, assim, neutralizar o efeito que a imersão tem em reduzir o volume pulmonar total.

O recorde de mergulho livre atual está em 154 metros de profundidade na categoria “*No Limits*”, conquistado pelo francês Loic Leferne, em agosto de 2001, na França (AIDA, 2002).

6.6. Doença Descompressiva

Mergulhadores de todas as modalidades, *scuba*, apnéia, recreacional e comercial, têm risco de desenvolver doença descompressiva (DD) que pode levar a deficiências severas ou causar a morte. A DD ocorre quando bolhas de gás inerte, normalmente nitrogênio, são acumuladas no corpo como resultado de descompressão imprópria durante a fase ascendente. Felizmente, para o mergulho em apnéia, são raros os casos de acidentes que envolvem a DD, provavelmente porque a maioria dos mergulhadores não consegue mergulhar tão fundo e/ou tantas vezes, suficientes para contraírem tal patologia (WERNECK, [199?]).

Como foi dito acima, é possível adquirir DD por nitrogênio através de mergulhos repetidos e profundos. O aumento da P_{aN_2} ocorre aos 20 metros de profundidade. Embora o volume de N_2 absorvido durante cada mergulho seja pequeno, o aumento da P_{N_2} nos tecidos pode contribuir para ocorrência das bolhas de N_2 nos tecidos pelos mergulhos repetidos e alterações rápidas da pressão ambiente. Gases como o oxigênio e o dióxido de carbono são transportados em nosso sangue na forma química ou dissolvida, não em forma gasosa ou bolhas (AIDA, 2002).

Uma vez que as bolhas tenham entrado na corrente sanguínea, estarão livres para migrar com o fluxo de sangue pelo corpo. Se as bolhas de ar encontrarem vasos sanguíneos com diâmetros menores do que elas mesmas, bloquearão o fluxo sanguíneo. Dessa forma, os tecidos privados de sangue por obstruções de bolhas de ar estão em perigo grave e imediato, pois devido à interrupção do fluxo sanguíneo oxigenado pode ocorrer, por exemplo, um infarto miocárdico se o bloqueio for nos tecidos do coração. As bolhas de ar

geralmente seguem diretamente para as artérias que suprem sangue ao cérebro. O suprimento de sangue do cérebro sendo reduzido, distúrbios neurológicos graves e sintomas como inconsciência podem acontecer em minutos (WERNECK, [199?]).

Um exemplo típico de ocorrência de DD por nitrogênio é observado nos catadores de pérolas Tuamotu. Esses catadores são verdadeiros mergulhadores livres, pois chegam a fazer de 6 a 14 mergulhos por hora em profundidades de até 150 pés, permanecendo submersos por cerca de 1 minuto e 35 segundos. Muitos são acometidos pela “taravana”, como a doença é conhecida entre eles, exibindo sintomas clássicos da DD: vertigem, paralisia, inconsciência e insanidade (AIDA, 2002).

Outros sinais comuns são: dor, dormência e/ou coceira, perda da coordenação, fadiga extrema, fraqueza, náuseas, distúrbio da visão, entre outros.

A insanidade é causada pelo excesso de nitrogênio no sangue, o que nos remete a outro efeito decorrente de mergulhos profundos e prolongados, a narcose por nitrogênio, que causa um efeito narcótico similar ao resultado da inalação de gases anestésicos. Alguns indivíduos são mais suscetíveis à narcose por nitrogênio do que outros. Os sintomas são: julgamento e a capacidade falha, falta de interesse na segurança (realiza ações perigosas dentro d'água) e comportamentos abobados. Felizmente, são muito raros os casos de narcose por nitrogênio em mergulhadores em apnéia (WERNECK, [199?]).

6.7. Flutuabilidade

De acordo com o princípio de Arquimedes, visto anteriormente, um mergulhador com o pulmão cheio de ar e uma máscara, tem flutuabilidade positiva, conseqüentemente, faz força para afundar. Seu tórax é gradualmente comprimido com o aumento da profundidade e a flutuabilidade torna-se neutra aos 6-7 metros (podendo variar conforme a quantidade de peso utilizado no cinto de lastro). Quanto mais profundo estiver, o tórax é comprimido ainda mais e a partir daí, o mergulho adquire flutuabilidade negativa, ou seja, o mergulhador afunda sem esforço.

Essas mudanças na flutuabilidade são utilizadas por bons apneístas para poupar energia, sendo a descida realizada quase que sem movimentos quando se adquire flutuabilidade negativa. Na fase ascendente, eles nadam de volta à superfície até atingirem flutuabilidade positiva, quando deixam que a água os traga à superfície (AIDA, 2002).

7. SEGURANÇA NO MERGULHO LIVRE

Hoje em dia o mergulho em apnéia é uma atividade acessível à todos. O Brasil possui um excelente clima com locais paradisíacos, uma extensa costa marítima, milhares de praias e águas com temperaturas convidativas. Por esta e outras razões, como também um custo relativamente baixo, nota-se cada vez mais um crescente número de adeptos a esta prática, tanto recreacional como esportiva.

Praticado com segurança, mesmo pelos mais jovens, o mergulho livre é hoje uma realidade. Mesmo que não tenhamos muita “aquacidade”, como vimos anteriormente, é possível interagir com o meio aquático de forma a nos conhecermos melhor e conhecermos também o mundo aquático que nos rodeia.

Dessa forma, mesmo sendo uma prática num ambiente muitas vezes tranquilo e até prazeroso, a água pode se tornar perigosa já que não é o nosso habitat natural. Uma longa privação do corpo de oxigênio pode levar ao apagamento e a um possível afogamento se não houver uma rápida intervenção de alguém que esteja no local.

Para evitar acidentes durante as imersões listamos a seguir algumas regras de segurança e recomendações a serem seguidas antes, durante e após os mergulhos, mesmo se praticados em locais rasos ou em piscinas. Vale lembrar que é impossível criar normas que evitem todos os acidentes ou problemas, mas podemos definir um conjunto básico. Todas são importantes em todos os níveis e sempre haverá mais alguma regra a ser conhecida, aprendida e desenvolvida (GUIMARÃES, 1988; AIDA, 2002).

7.1 Regras Básicas

1. Nunca treine ou pratique o mergulho em apnéia sozinho, mesmo que seja em piscina ou por simples brincadeira. Há casos de morte registrados em situações onde pessoas, mesmo preparadas, estavam treinando ou “brincando” sozinhas.
2. Não entre em pânico, pode ser fatal.
3. Planeje seu mergulho e mergulhe baseado em seu planejamento.

4. Verifique seu equipamento antes de sair da base ou para uma viagem, certifique-se disto em momentos oportunos.
5. Mantenha horas de sono adequadas ao seu organismo. Não ingira álcool 24 horas antes do mergulho e mantenha uma alimentação leve e saudável, independentemente do mergulho. O fumo também é um inimigo.
6. Certifique-se periodicamente de suas condições físicas e patológicas.
7. Mantenha um mergulhador na superfície, se possível, com equipamento de reserva.
8. Mergulhe sempre com dois ou mais apneístas do mesmo nível de preparação que o seu.
9. Sempre mostre a sua presença, diga quando partirá e quanto pretende atingir em cada mergulho.
10. Sinalize seu mergulho e necessariamente conheça os sinais manuais e de emergência.
11. Saiba corretamente as técnicas de entrada e saída da água e suas variações.
12. Tenha sempre um bom ponto de apoio para recuperação do apneísta entre uma descida e outra. Uma simples bóia de cor vermelha é suficiente. A partir deste flutuador desce um cabo até o fundo, ficando esticado por um lastro de 10 a 20 quilos preso no final da ponta, para que o cabo, bem esticado, seja um ponto de apoio bem firme.
13. Use sempre cabos que vão até o fundo, que deverão estar próximos a profundidade máxima a ser atingida.
14. O apneísta de superfície deve manter a mão no cabo, assim saberá, pelo tato e vibração do cabo, quando seu companheiro chegou ao fundo e poderá partir (sempre com o mínimo consumo de oxigênio, ou seja, usando os braços) para, se necessário, auxiliá-lo nos últimos 10 metros no retorno à superfície.
15. O equilíbrio com o lastro de chumbo é fundamental. Nunca ponha lastro em excesso de modo a ficar com a flutuabilidade negativa logo na superfície. Dose seu lastro para que fique neutro na metade da profundidade máxima que pretende atingir, ou então a uns 10 ou 15 metros abaixo da superfície, assim durante a fase de maior risco (os últimos metros antes de chegar à superfície), caso tenha um apagamento, retornará naturalmente à superfície sem auxílio.
16. Não escolha roupas de cores escuras como preto ou azul marinho, pois você estará “invisível” dentro da água, o que dificulta a sua localização por parte de quem está na superfície ou acima de você na água.

17. Observe sempre todas as condições de tempo, marés, ventos, correntes, tempos de viagens e retorno, quantidade de água e alimentação. Habitua-se a isto em todas as viagens, sempre.
18. Em locais com correnteza, pouca visibilidade ou outros fatores estressantes como o frio, recomenda-se o uso de um cabo acessório que prende o apneísta ao cabo principal, porém com um sistema de soltura rápida.
19. Quando seu companheiro retornar à superfície, pergunte se ele está bem (mesmo em piscina). Caso ele não responda, segure-o firmemente. Mesmo que ele responda ou demonstre que está bem, nunca lhe dê as costas. Uma síncope ou apagamento pode ocorrer até 20 segundos após o retorno à superfície.
20. Jamais fique no fundo, mesmo se você estiver se sentindo bem. Prefira a apnéia estática para prolongar sua apnéia, estando próximo da superfície.
21. Em piscina, pratique sempre próximo de algum apoio, escada, borda ou bóia. Na apnéia dinâmica tenha sempre acompanhamento paralelo, dentro da água nos últimos 30% de sua performance.
22. Não solte o seu ar dentro da água. Retenha-o. Bolhas podem ser interpretadas como sinal de apagamento.
23. Faça os ciclos respiratórios adequadamente e não hiperventile (respiração ampla, profunda e silenciosa) antes do mergulho.
24. Não negligencie a compensação dos ouvidos. Se tiver problemas para compensar os ouvidos, não insista. Descanse um pouco antes de uma nova tentativa. Se o problema persistir, pode ser sinal de uma gripe, resfriado ou outra ocorrência clínica. É bom consultar um médico.
25. Respeite seu organismo: jamais mergulhe doente (gripado, sinusite) ou quando estiver em tratamento por medicamentos. O organismo não responderá normalmente.
26. Ao sair da água faça a recuperação respiratória correta e necessária, elevar a máscara e reestabelecer-se.
27. Tenha sempre em local fácil e, corretamente instalados, acessórios que possam auxiliar: faca, coletes, estojo de primeiros socorros, apito, fonte alternativa de luz, etc.
28. Nunca tente superar seus limites, tenha consciência das suas capacidades, lembre-se o desenvolvimento requer treinamento e tempo. Não fique constantemente olhando para

seu relógio ou profundímetro durante o mergulho. Existe toda a vida para progredir nas conquistas. A apnéia é, acima de tudo, uma escola de dedicação e paciência.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muitas pessoas após lerem este trabalho poderão ficar surpresas e assustadas com os potenciais riscos que os praticantes de mergulho em apnéia estão sujeitos. O mundo submerso é extremamente novo e sugere grandes adaptações ao organismo. O homem embaixo d'água sofre severas limitações fisiológicas, e o desconhecimento dessas limitações é que comprometem a segurança no mergulho.

Apesar destas considerações, esta atividade é uma atividade altamente motivadora podendo ser praticada por qualquer pessoa saudável, desde que praticada dentro dos limites e controle das técnicas.

O mergulho em apnéia é uma atividade antiga, cada vez mais praticada atualmente, que com sua plasticidade e simplicidade permite que o praticante entre em total harmonia e contato com o novo meio.

Pode-se dizer que: uma nova vida se inicia e termina a cada mergulho.

No entanto, para um melhor aproveitamento, são necessários alguns conhecimentos básicos da fisiologia do mergulho.

Foi com este intuito que me propus a desenvolver este trabalho, na tentativa de contribuir com um trabalho específico na área, para que praticantes e/ou profissionais que lidam com o ambiente aquático possam ter acesso a uma breve revisão das diferentes respostas do organismo humano na água, das diferenças em comparação aos mamíferos aquáticos, do reflexo causado pela imersão, das alterações respiratórias, dos efeitos da pressão no organismo, das alterações nas pressões dos gases dada pela ausência da respiração, entre outras mudanças.

Ressalta-se também, a importância de consciência do ponto de ruptura, e os perigos em ultrapassá-la. Da hiperventilação e os riscos de apagamento, dentre outros. Vale ressaltar que foram abordadas aqui apenas as respostas agudas nos seres humanos em resposta ao mergulho em apnéia, não contemplando-se as respostas crônicas decorrentes da prática regular do mesmo, adaptações estas não menos importantes e que devem também ser conhecidos.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACQUACAMP: Pesca submerina. Disponível em :

<<http://www.acquacamp.com.br/pesca.htm>>. Acesso em 17 de outubro de 2002.

AIDA Brasil: Associação Internacional para o Desenvolvimento da Apnéia.

Disponível em : <<http://www.aidabrasil.com.br>>. Acesso em 26 de agosto de 2002.

ALMEIDA, Cesar Munir. Mergulho em Apnéia. Universidade Estadual de Campinas, 2000. 26 p.

ANDERSSON, Johan. Regulatory Mechanisms During Apnea and Diving apud Aida Brasil: Associação Internacional para o Desenvolvimento da Apnéia. Disponível em : <<http://www.aidabrasil.com.br/artigo006.htm>>. Acesso em 26 de agosto de 2002.

BECKER, Bruce E. Princípios Físicos da Água. In: RUOTI, Richard G.; MORRIS, David M.; COLE, Andow J. **Reabilitação Aquática.** Manole, São Paulo, 2000, cap. 2, p. 17-26.

BOOKSPAN, Jolie. Efeitos Fisiológicos da Imersão em Repouso. In: RUOTI, Richard G.; MORRIS, David M.; COLE, Andow J. **Reabilitação Aquática.** Manole, São Paulo, 2000, cap. 3, p. 29-38.

CURETON, Kirk J. Respostas Fisiológicas ao Exercício na Água. In: RUOTI, Richard G.; MORRIS, David M.; COLE, Andow J. **Reabilitação Aquática.** Manole, São Paulo, 2000, cap. 4, p. 43-60.

DIAS, Carlos. Até o Último Suspiro. Superinteressante Coleções: Respiração: Os caminhos do ar. Ed. Abril, v. 10, n. 10, p. 6-7, 1998.

GUTMARÃES, Marcos Sampaio. Escola de Mergulho Prosub Livre e Autônomo. 1988. v. 1, 119 p

JATOBA, Sérgio Manoel D'Almeida; Adaptações Fisiológicas do Corpo Humano no Ambiente Aquático; Universidade Estadual de Campinas, 2000.

MCARDLE, William D.; KATCH, Frank I.; KATCH, Victor L.; Fisiologia do Exercício: Energia, Nutrição e Desempenho Humano. 4ª. Ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 1996.

PESCA Submarina. Disponível em :

<<http://www.subchaser.hpg.ig.com.br/index.html>>. Acesso em 17 de outubro de 2002.

POWERS, Scott K.; HOWLEY, Edward T. **Fisiologia do Exercício: Teoria e Aplicação ao Condicionamento e ao Desempenho.** 3ª. Ed. Manole, São paulo, 2000.

TORTORA, Gerard J. **Corpo Humano: Fundamentos de Anatomia e Fisiologia.** 4ª. Ed. Artmed, Porto Alegre, 2000. 574 p

WERNECK, Marcus. **Manual de Mergulho Open Water: PDIC – Professional Diving Instructors Corpo.** [199?].