

ROBERTO MACHADO BORGES

O HOMEM NO MEIO SUBAQUÁTICO

GOIÂNIA - GO

2005

ROBERTO MACHADO BORGES

O HOMEM NO MEIO SUBAQUÁTICO

Artigo Científico elaborado para fins de
avaliação final do Curso de Especialização
em Docência do Ensino Superior pela
FacLions sob a orientação da prof.^a Ms.
Neide da Silva Paiva.

GOIÂNIA - GO

2005

10469

ROBERTO MACHADO BORGES

O HOMEM NO MEIO SUBAQUÁTICO

FACULDADE LIONS

____/____/____
Data de aprovação

Prof.^a Ms. Neide da Silva Paiva

Nota

O HOMEM NO AMBIENTE SUBAQUÁTICO



Roberto Machado Borges*

RESUMO: O objetivo dessa pesquisa foi chamar a atenção para a existência de uma inter-relação entre o homem e o meio subaquático e que há elementos que podem provocar no organismo do mergulhador diversas alterações, como doenças descompressivas, intoxicações por gases e acidentes de trabalho. No entanto, procuramos mostrar que esta atividade deve ser realizada somente por profissionais ou esportistas adequadamente treinados, tornando esta prática segura e proveitosa.

Palavras-chave: mergulho, meio subaquático, treinamento.

1- INTRODUÇÃO

Antigamente, permanecer embaixo da água por um tempo indeterminado parece ter sido o sonho de todos aqueles que mergulhavam apenas na apnéia, utilizando o ar dos pulmões sem o auxílio de equipamentos. Os objetivos que despertavam este interesse, certamente não se dirigiam para o lazer. Os reis e governantes, caso pudessem e soubessem permanecer respirando sobre as águas, tratariam imediatamente de procurar todos os tesouros e valores que submergiam em naufrágios comerciais e guerreiros.

Tal proposta era impossível ao ser humano. A imaginação e a fantasia tomavam o lugar da tecnologia e sempre se conseguia alguma razão mágica para se iniciar contos ou odisséias em que o herói dispunha de possibilidades de praticar suas façanhas sob o mar. Até que no verão de 1938, um jovem oficial chamado Jean Jacques-Ives Costeau lança-se mar abaixo, testando um equipamento de respiração com oxigênio, praticamente de sua autoria. Vai até os 14 metros de profundidade e a partir daí sente os lábios e pálpebras tremerem. Percebendo que vai perder os sentidos, descarta o cinto de lastro e sobe inconsciente à superfície. Os marinheiros recolhem o oficial a bordo. Em 1939, o persistente oficial repete a experiência, o equipamento ainda utiliza oxigênio, e aos 14 metros o mergulhador é acometido por contrações e convulsões chegando, novamente, inconsciente à superfície. E assim Costeau descobre e aprende que o oxigênio puro é extremamente perigoso a partir dos 7 metros de profundidade.

Em 1942, Costeau, durante a guerra, conhece Émilie Gagnan, um engenheiro perito em equipamentos de gás. Juntos constroem um equipamento com garrafas em aço e com ar comprimido. Dela saía uma válvula de respiração que controlava automaticamente o fluxo do volume de ar fornecido ao mergulhador. Em 1943, Costeau realizou o primeiro passeio

*Roberto Machado Borges – Oficial Bombeiro Militar

submarino em seu equipamento de mergulho autônomo. Recebendo ar comprimido em condições satisfatórias e, a partir daí, marcou o início de uma outra modalidade de submersão que permitia ao mergulhador usufruir, finalmente, de um estado de liberdade embaixo da água.

O desenvolvimento na arte de submergir permaneceu quase que estacionário nos três últimos séculos, vindo a receber o impulso decisivo só muito recentemente. O problema técnico que obteve solução significativa, foi o funcionamento da válvula reguladora do suprimento de ar a fluxo regulado. A partir de um protótipo aceitável, diversas variações e aperfeiçoamentos não cessaram de ocorrer até os dias de hoje. É interessante ressaltar que até pouco tempo o processo era muito empírico.

Problemas como narcose ou intoxicação por oxigênio, antes de serem equacionados produziram muitas vítimas. Doença descompressiva espalhou seus efeitos durante muitos anos, de maneira desordenada, desafiando mergulhadores e pesquisadores. Barotraumas dos mais diversos ainda ocorriam com frequência na década de 60.

O mergulho possuía a conotação de ser uma atividade de alto risco. Quanto ao mergulhador, era um desbravador ou um insensato. O panorama atual do mergulho é bastante diferenciado em comparação com a década acima citada. O mergulho de lazer, hoje é uma realidade permitida a qualquer pessoa que queira viver esta experiência. O mercado de turismo subaquático, proporciona o desfrute do visual submarino a jovens e idosos, cria e assegura empregos a uma faixa considerável da população.

O mergulho de resgate é permitido somente para profissionais habilitados em cursos promovidos pelas Corporações de Bombeiros, por se tratar de uma atividade de alto risco devido às condições desfavoráveis que o mergulhador de resgate encontra no decorrer do seu trabalho.

Entretanto por mais que se evidencie as conquistas e facilidades tecnológicas ao ingressar no ambiente submarino, o homem tem que se adaptar a uma série de condições diferentes daquela que vive normalmente. Se essa adaptação é satisfatória, o mergulhador volta à superfície são e salvo. Caso contrário, o organismo sofre alterações irreversíveis, ocorrendo os acidentes e doenças do mergulho.

2- O HOMEM E O AMBIENTE SUBAQUÁTICO

No ambiente submarino algumas adaptações humanas se fazem necessárias:

→ Com sua respiração aérea, o homem é incapaz de utilizar o oxigênio dissolvido na água. Para sobreviver leva consigo um reservatório de ar juntamente com os dispositivos que

lhe permitem respirá-lo. Esse ar deverá ser respirado à pressão ambiente, ou seja, em condições hiperbáricas, introduzindo um aumento do trabalho respiratório proporcional à profundidade do mergulho.

→ Devido à diferença de densidade entre a água e o ar, cerca de 800 vezes, se mergulharmos a uma profundidade de 10 metros, uma outra pressão igual à atmosfera (1Kg/cm) vem se somar a preexistente e assim ocorre a cada 10 metros. O organismo humano habituado a suportar pequenas variações de pressões, terá que se adaptar a variações bem maiores para descer a profundidades razoáveis.

→ Ao submeter-se a um aumento de pressão, o homem satura-se de nitrogênio proporcionalmente a profundidade do mergulho. A volta à superfície deverá ser controlada para permitir uma dessaturação gradativa ou sobrevirá um acidente hiperbárico dos mais temíveis: a doença descompressiva.

→ A água tem uma condutividade térmica 25 vezes maior que o ar. O mergulhador perde calor com facilidade e nas águas profundas, onde a energia calorífica dos raios solares já foi totalmente absorvida, o problema pode ser grave, exigindo fontes geradoras de calor para manter o mergulhador aquecido, quando retorna à superfície.

→ A visão do mergulhador é bastante prejudicada pela diferença dos índices de refração da água e do ar, mesmo com o emprego de máscaras faciais, os objetos parecem ao mergulhador maiores e mais próximos.

→ O mergulhador sofre, segundo o princípio de Arquimedes, um empuxo de baixo para cima que o torna mais leve, dando uma sensação de imponderabilidade. Com isso torna-se possível um deslocamento tridimensional ao qual o mergulhador não estava habituado, devendo adaptar-se gradativamente.

→ O meio líquido oferece resistência aos movimentos do mergulhador provocando, portanto, uma degradação na atividade física que pode ultrapassar os 70%.

→ Finalmente o mergulhador pode ser atacado por seres marinhos que podem lhe infringir graves lesões.

Dentro da fisiologia humana os setores que mais sofrem com as variações hiperbáricas são:

Alterações Respiratórias:

O aumento do espaço morto ocorre pelo acréscimo de peças do equipamento, como a máscara facial, que introduz um aumento de até 250cc. Pela distensão dos alvéolos pulmonares e bronquíolos e pelas condições hiperbáricas.

Diante de uma pressão pulmonar aumentada, há um colapso da circulação provocado pela redução relativa da pressão na artéria pulmonar. Surgirão assim áreas alveolares ventiladas e não perfundidas, aumentando o espaço morto fisiológico.

O aumento da pressão pulmonar e da pressão ambiente leva a uma redução da complacência pulmonar. Por outro lado, a pressão hidrostática a ser vencida é relativamente maior. O movimento do ar passa a ser turbilhonado e a resistência oferecida é proporcional à densidade da mistura aumentada pelas condições hiperbáricas.

O aumento da resistência respiratória leva a um aumento conseqüente do trabalho respiratório.

A redução da ventilação alveolar se dá pelo aumento do espaço morto. Há uma redução da frequência respiratória e do volume da corrente pulmonar. Ocorre assim, um colapamento dos bronquíolos menos calibrosos, que vão se intensificando à medida que aumenta a profundidade. Em determinadas profundidades a redução da ventilação é tão considerável que a quantidade de oxigênio e a eliminação do gás carbônico são insuficientes, impedindo o prosseguimento do mergulho.

Com uma produção maior de gás carbônico pela redução da ventilação alveolar, há uma dificuldade no transporte de gás carbônico pelas hemácias, impregnado pelo oxigênio com sua pressão parcial aumentada. O teor de gás carbônico vai se elevando no sangue e nos tecidos provocando, por sua vez, vasoconstrição pulmonar que acentua alguns dos mecanismos já mencionados.

Ocorre no início do mergulho uma bradicardia com queda da pressão arterial, principalmente da sistólica. O abaixamento do diafragma pela pressão das vísceras abdominais provoca uma rotação horária do coração com desvio do eixo elétrico. Há uma redução no fluxo sanguíneo periférico.

No mergulho encontra-se redução do número de hemácias e de seu teor de hemoglobina.

O mergulho provoca um aumento da diurese, provavelmente pela interferência com o hormônio antidiurético. Há aumento na excreção dos íons alcalinos (cálcio e potássio).

É comum um quadro de desidratação discreta, acidose e alterações nos íons cálcio e fosfato.

3- A FÍSICA E O MERGULHO

As noções básicas dos fluídos são indispensáveis para a compreensão de aspectos importantes na medicina hiperbárica. São eles:

→ Composição do ar atmosférico

Nitrogênio: 80%

Oxigênio: 20%

O gás carbônico e os elementos raros como Argônio, Hélio, Radônio e Hidrogênio, aparecem em proporções desprezíveis.

→ Pressão Atmosférica

Ao nível do mar, o homem suporta uma pressão igual a 1 Kg/cm³. A cada 10 metros de profundidade na água, acrescenta-se mais 1 Kg/cm³, ou seja, o valor de uma atmosfera. Convencionou-se chamar este valor convertido em unidade de uma atmosfera e assim pode-se dizer que ao nível do mar a pressão é de 1 atmosfera absoluta. Aos 10 metros, um manômetro regulado em zero na superfície, marca uma atmosfera relativa e o valor absoluto da pressão ambiente será de duas atmosferas. Assim a pressão em atmosferas absolutas é sempre igual ao número de atmosferas relativas mais um.

→ Leis que regem a física dos fluidos:

- **Lei de Boyle:** “Se a temperatura permanecer constante, o volume de um gás varia inversamente com a pressão absoluta do sistema”.

Se tivermos uma atmosfera na superfície contendo um volume inicial de 12 litros aos 10 metros de profundidade, o seu volume será reduzido para a metade, ou seja, 6 litros porque a pressão passou a ser o dobro. Aos 20 metros a pressão triplica e o volume contido será de 3 litros e assim por diante. Quanto mais próximo da superfície estiver o mergulhador, maior será a variação de volume, isto nos leva a conclusão de que os acidentes hiperbáricos regidos pela Lei de Boyle serão tão mais graves e frequentes, quanto mais próxima da superfície estiver o mergulhador.

- **Lei de Dalton:** “A pressão total exercida por uma mistura de gases é a soma das pressões parciais que seriam exercidas por cada gás se ocupasse sozinho todo o sistema”.

Se um tablete de ar contendo 80% de nitrogênio e 20% de oxigênio, como a pressão na superfície é de uma atmosfera, a pressão parcial de cada gás será respectivamente de 0,8 atm e 0,2 atm. Essas pressões parciais irão gradativamente aumentando e finalmente aos 40 metros a pressão parcial do oxigênio será de 1 atm. O efeito desse oxigênio é função de sua pressão parcial que será o mesmo exercido pelo oxigênio puro na superfície. Ultrapassada essa profundidade o oxigênio atuará como se fosse respirado puro em condições hiperbáricas, podendo tornar-se tóxico. Nessas condições o nitrogênio exercerá um efeito “sui generis” e o gás carbônico terá os seus efeitos tóxicos bastante acentuados.

Deve-se tomar o máximo de cuidado com os contaminadores do ar comprimido usados pelo mergulhador.

- **Lei de Henry:** “A quantidade de um gás que se dissolve em um líquido a determinada temperatura é proporcional à pressão parcial do gás”.

O mergulhador na superfície suporta a pressão de 1 atm e seus tecidos contém cerca de 1 litro de nitrogênio dissolvido. Se dobrarmos a pressão ambiente pela descida aos 10 metros, dobra o volume de nitrogênio dissolvido. Aos 20 metros, triplica e assim por diante. Se o mergulhador deixar o fundo lentamente o excesso de nitrogênio dos tecidos será conduzido gradativamente pelo sangue aos pulmões e eliminado para o meio ambiente.

Numa subida precipitada, como se abrissemos rapidamente uma garrafa de refrigerante, o gás entra subitamente em supersaturação. Formam-se bolhas que obstruem a circulação sanguínea de órgãos importantes, ocasionando a doença descompressiva.

4- ACIDENTES E DOENÇAS DE MERGULHO POR EFEITOS DIRETOS

Durante um mergulho os efeitos mecânicos do aumento da pressão são marcantes e podem levar a óbito. Entre eles estão os barotraumas ou disbarismo, as fistulas perinfáticas e a embolia traumática pelo ar, todos regidos pela Lei de Boyle.

4.1- BAROTRAUMA OU DISBARISMO

O homem poderia mergulhar a centenas de metros se fosse constituído apenas por tecidos incompressíveis. Seu organismo apresenta cavidades pneumáticas de conteúdo gasoso que exigem adaptações fisiológicas quando submetidos a variações hiperbáricas. Se estas adaptações do mergulhador são ultrapassadas, surge o acidente mais freqüente nas atividades de mergulho: o barotrauma.

Barotrauma é como uma incapacidade do mergulhador em equilibrar a pressão no interior da cavidade pneumática do organismo com a pressão ambiente em variação. Esse é um dos problemas clínicos mais comum nos mergulhadores. Consiste nas lesões orgânicas resultantes de alterações da pressão ambiental. O barotrauma afeta os espaços aéreos do ouvido médio, os seios paranasais e pulmões, embora, qualquer espaço aéreo fechado possa ser afetado.

Antes de descrever os barotraumas é importante lembrar que nosso corpo sofre a maior variação de pressão nos metros mais próximos à superfície. Por exemplo, ao descer da superfície para 10 metros, no nível do mar, a pressão dobra, de 1 atm para 2 atm. Quando

vamos de 10 para 20 metros, a pressão aumenta apenas um terço, de 2 para 3 atm e assim por diante. Concluimos daí que o maior cuidado com a pressão deve ser tomado nestes metros iniciais. Outro conceito importante a relembrar é que os barotraumas só ocorrem por compressão ou expansão de espaços com gás, pois líquidos não são compressíveis.

→ Barotrauma por descida: a menos que ocorra adaptação, o ar no interior do ouvido médio e dos seios paranasais é comprimido durante o mergulho. O resultado é dor, formação de edema, hemorragia no espaço aéreo e/ou ruptura da membrana timpânica. Uma lesão rara correlacionada a *manobra de Valsava* para igualar a pressão no ouvido médio durante o mergulho é a ruptura da janela redonda. Esta lesão se manifesta por zumbido, vertigens e perda auditiva neurosensorial.

→ Barotrauma de ascensão ou pulmonar: se o indivíduo não expirar durante a subida superior a 1 metro pode ocorrer retenção de ar nos pulmões, ocasionando a distensão excessiva dos mesmos, ruptura do parênquima e da vasculatura pulmonar.

Indivíduos com disfunção de trompa auditiva devido a um estreitamento congênito ou um edema de mucosa adquirido, podem ser incapazes de equalizar o estresse barométrico exercido durante a descida do avião ou no fechar do conduto auditivo.

Atualmente há uma classificação para os barotraumas: barotrauma do ouvido médio, barotrauma do ouvido externo, barotrauma dos seios da face, barotrauma pulmonar ou torácico, barotrauma dental, barotrauma corporal, barotrauma de máscara ou facial, barotrauma de roupa ou cutâneo.

4.2- FÍSTULAS PERILINFÁTICAS

É o vazamento da perilinfa para a orelha média com prejuízo da acuidade auditiva ocorrendo uma comunicação anormal entre as estruturas da orelha interna e o espaço da orelha média.

As vias explosivas resultam do esforço físico com um aumento na pressão do líquido. Este será transmitido através do aqueduto coclear patente e/ou lâmina crivosa do meato acústico interno.

A via do aqueduto coclear causaria um aumento da pressão perilinfática no ducto coclear e conseqüentemente ruptura da membrana da janela redonda. A transmissão através do meato acústico interno causaria um aumento da pressão perilinfática no ducto utrículo-sacular e aumentaria assim a pressão no vestíbulo, causando ruptura na platina, próximo da janela oval.

Os barotraumas podem evoluir para alterações agudas na pressão barométrica. Por sua vez resultar no bloqueio da tuba auditiva e produzir pressão atmosférica negativa súbita na orelha média com ruptura da janela redonda e fistula perilinfática.

Os sintomas são variáveis e podem ser normal, cocleares ou mistos. A audição pode ser normal ou pode haver surdez sensorineural súbita ou flutuante. Ela pode simular a doença de Menière com zumbidos, pressão aural, displacusia e intolerância a intensidade sonora. Um teste para melhor diagnóstico da fistula na orelha é a introdução de pressão positiva na orelha afetada, com o auxílio do impedanciômetro, e o registro do nistagmo a eletronistagmografia (ENG). Pergunta-se ao paciente se ele desenvolve vertigem subjetiva durante a fase positiva da timpanometria.

A perda auditiva pode ser maior nas frequências elevadas (8.000 Hz) em que o audiograma pode apresentar um padrão com depressão que corresponde aos locais das alterações patológicas da membrana basilar. A perspectiva da recuperação espontânea da audição é mais reservada quando a perda afeta as frequências elevadas em comparação com perdas nas frequências médias ou baixas.

Outros fenômenos clínicos incluem a vertigem postural ou nistagmo, desequilíbrio, ataxia e perturbações da marcha. Uma perda sensorineural progressiva, com audiometria seriada, pode indicar uma perda progressiva de líquido perilinfático e está associada ao pior prognóstico.

O tratamento inclui repouso no leito durante a primeira semana. A monitorização inclui limiares tonais aéreos e ósseos e escores de discriminação de fala. Se os sintomas vestibulares do paciente se deteriorarem e a vertigem se tornar um problema significativo ou se o audiograma apresentar uma deteriorização adicional da audição, o tratamento clínico é abandonado e faz-se a exploração cirúrgica.

4.3- EMBOLIA TRAUMÁTICA PELO AR

A embolia traumática pelo ar é um acidente que pode ocorrer com o mergulhador que tenha respirado ar comprimido no fundo, retendo esse ar. Durante a subida há um aumento da pressão intrapulmonar, distensão e ruptura alveolar. Ocorre ainda a penetração do ar na circulação sanguínea, interrompendo a irrigação de estruturas importantes do organismo. Se o mergulhador desejar subir deverá soltar ininterruptamente o ar, pois o conteúdo pulmonar irá se expandindo à medida que a pressão ambiente for diminuindo. O mecanismo da embolia pelo ar é o inverso do barotrauma pulmonar, ou seja, um acidente de subida por hiperdistensão alveolar.

Observa-se sintomas como tontura e mal estar, desorientação, náuseas e vômitos, tosse, dispnéia e dor torácica, por vezes acompanhada de distúrbios neurológicos discretos como parestesias ou paresias. Esses quadros podem regredir com o atendimento médico imediato ou podem acentuar-se com a instalação de choque e agravamento do quadro pulmonar e neurológico.

Quanto ao tratamento, qualquer suspeita de embolia pelo ar deverá ser recomprimido em câmara hiperbárica, cumprindo uma tabela terapêutica.

5- ACIDENTES E DOENÇAS DE MERGULHO POR EFEITOS INDIRETOS

São efeitos fisiológicos exercidos por componentes da mistura gasosa sobre determinados tecidos. Podem atuar biofísicamente (doença descompressiva) ou bioquimicamente (embriaguez da profundidade, intoxicação pelo oxigênio, intoxicação pelo gás carbônico e outros). Esses são regidos pela lei de Dalton.

5.1 – DOENÇA DESCOMPRESSIVA

A doença descompressiva apresenta-se como um quadro causado por três fatores: a profundidade, a duração e o tempo de descompressão do mergulho.

A doença descompressiva é uma síndrome clínica cujo conjunto de sinais e sintomas é consequência direta dos efeitos da presença de bolhas de gás nos tecidos e na circulação sanguínea. É uma doença disbárica causada pela liberação de bolhas de gás dissolvidas nos tecidos ou no sangue. Bolhas podem formar-se no corpo do mergulhador, do aviador e dos trabalhadores em ambientes pressurizados. Elas ocorrem quando o indivíduo é exposto a uma redução na pressão ambiente, a chamada descompressão, causando os sinais e sintomas da doença descompressiva. As seqüelas desta entidade clínica variam desde morte, dano neurológico permanente até mesmo completa recuperação.

As manifestações da doença descompressiva resultam da presença de bolhas formadas nos tecidos ou na circulação sanguínea como resultado de variações na pressão ambiente. Essas bolhas podem acarretar sintomas decorrentes de lesões diretas numa determinada estrutura afetada, produzidas mecanicamente sobre os tecidos. Lesões indiretas decorrentes do bloqueio da circulação dos vasos sanguíneos também podem ocorrer. Embolia arterial gasosa pode ocorrer quando gás entra na circulação. Usualmente isso ocorre quando há dano descompressivo nos pulmões ou embolia pulmonar. Êmbolos podem chegar até o cérebro e produzir sintomatologia específica.

Mais recentemente o Divers Alert Network (DAN) tem usado um sistema de definição de doença descompressiva por sintomas. Casos considerados leves ("dor somente") apresentam sintomas do tipo fadiga, coceira, rash cutâneo, inflamação local, dor muscular ou articular. Os casos graves ("sérios") se caracterizam por manifestações neurológicas como dor de cabeça, fraqueza muscular, alterações visuais, auditivas, de sensibilidade e motricidade, da memória, da personalidade, disfunção intestinal e da bexiga e queixas cardiopulmonares que podem evoluir à insuficiência respiratória, ao choque e até mesmo à morte. A embolia arterial gasosa acarreta rápido início de sintomas cerebrais geralmente seguidos de alterações da consciência. Usualmente os sintomas da embolia arterial gasosa estão associados a subidas rápidas e se manifestam tão logo ocorra a emersão. No mergulho recreacional, a maior parte dos sintomas é neurológica. Segundo dados relatados pelo DAN, mais da metade dos mergulhadores que são vítimas de doença descompressiva, apresenta sintomas em até uma hora após o mergulho, 30% apresentam sintomas logo após emergir, 10% apresentam sintomas antes do último mergulho e menos de 10% apresentam sintomas 48 horas após o último mergulho. Muitas vezes sinais sutis são difíceis de valorizar, pois não diferem muito de sintomas comuns que todos apresentam habitualmente na vida normal. Não é incomum observar mergulhadores com sintomas leves que continuam mergulhando até surgirem sintomas mais bem definidos e se configurarem situações dramáticas.

Existe a doença descompressiva esperada, que inclui os casos em que há, pelo menos, a violação de uma regra do mergulho, e a inesperada, em que o mergulhador faz tudo certo e mesmo assim apresenta a doença. Mais de 50% dos casos são inesperados e não se identifica qualquer violação das regras do mergulho. Como a desordem não é tão freqüente, é comum que muitos não a reconheçam. Os casos de doença esperada são fáceis de reconhecer, pois aquele que desenvolve a doença, sabe que mergulhou fora dos limites não-descompressivos ou subiu muito rapidamente.

A maior consequência relacionada à demora do reconhecimento da doença é um pior resultado da recompressão. A recompressão precoce está associada a melhores resultados em termos de recuperação de funções e cessação dos sintomas. Cabe salientar que a análise dos relatos das várias séries de casos revela que a demora em relatar e tratar novos casos se mantém a mesma, apesar dos esforços de se divulgar informação para o tratamento precoce dessa patologia.

5.1.1- FATORES PREDISPOONENTES

Alguns fatores fisiológicos e ambientais predispõem a ocorrência ou potencializam a gravidade da doença descompressiva. Eles incluem exercício, preparo físico, temperatura ambiental (água fria, banho quente), idade, obesidade, desidratação, ingestão de álcool, episódio descompressivo prévio, dano tecidual prévio e retenção de gás carbônico. Foi observado que as mulheres, quando expostas à altitude, apresentam uma frequência quatro vezes maior de doença descompressiva que os homens. Cabe salientar que isso não pode ser generalizado para o mergulho ao nível do mar. Existem também fatores predisponentes relacionados ao mergulho propriamente dito como o perfil do mergulho, subidas rápidas, múltiplas subidas, mergulhos sucessivos, vários dias de mergulho e exposição à altitude. Têm sido propostos muitos outros fatores agravantes. Muitos deles se relacionam a alterações bioquímicas sanguíneas como alterações dos lipídios (dislipidemias) e o complemento sérico, bem como fatores de ativação do músculo liso. Outros são exógenos como o fumo e a enxaqueca. Todos eles requerem mais investigação antes de serem confirmados.

5.1.2- PERFIL DO MERGULHO RECREACIONAL E PROBLEMAS ATUAIS RELACIONADOS À DOENÇA DESCOMPRESSIVA

Muito frequentemente podemos observar acaloradas discussões relacionadas à escolha e ao uso das tabelas de mergulho entre mergulhadores recreacionais. Geralmente podemos constatar que todos aqueles que discutem estão bem informados, no entanto, avaliam seu uso com diferentes pontos de vista. O objetivo, em última análise, do uso da tabela descompressiva é a prevenção da doença descompressiva. Acabamos usando um modelo matemático para tentar evitar um fenômeno biológico. À medida que o modelo matemático é usado e os dados observados confirmam a eficiência desse modelo, ele se consagra. No entanto, o sucesso do uso em situações de limite pode acarretar uma valorização mitológica da tabela. Surge o mito de que algoritmos de descompressão em tabelas ou computadores possam ser perfeitos e evitar a doença descompressiva.

Uma das áreas em que podemos observar que muitos mergulhadores carecem de conhecimento mais aprofundado, é a teoria da descompressão. Muitos mergulhadores acreditam que tabelas de descompressão e computadores se baseiam em dados oriundos de pesquisas bem fundamentadas. A maioria dos mergulhadores acredita que, seguindo as orientações relacionadas à profundidade e ao tempo de mergulho contidas nas tabelas de descompressão, não apresentará doença descompressiva.

Segundo dados norte-americanos, sabe-se que o risco de doença descompressiva, em relação ao mergulho recreacional, é pequeno e está em torno de um ou dois casos por 10.000 mergulhos. Além disso, hoje está bem documentado que mais da metade daqueles que apresentaram doença descompressiva, realizou mergulhos não conflitantes com tabelas ou computadores de mergulho. Um certo número de ocorrência de doença descompressiva parece inevitável, mesmo utilizando tabelas com tempos de fundo curtos que não requeiram paradas descompressivas.

Comparativamente à antiga, porém consagrada, tabela da Marinha Norte-Americana, algumas tabelas utilizadas por muitas certificadoras são bastante conservadoras. Isso tudo torna a ocorrência de doença descompressiva mais uma questão de oportunidade do que de ciência.

Todos nós sabemos que a parte menos estimulante nos estudos necessários para a formação de mergulhadores é relativa ao aprendizado do uso de tabelas de mergulho. Tanto mais difícil é tentar entender os princípios subjacentes de cada tabela. Muitos mergulhadores acabam optando por comprar um computador de mergulho, ler rapidamente as instruções de uso, sair mergulhando e segui-las cegamente. Certamente essa atitude não diminui a incidência de doença descompressiva. De outro modo, alguns acabam estudando um pouco as tabelas e adquirem um conhecimento parcial.

O mergulho recreacional, na maioria das vezes, caracteriza-se por ser um mergulho curto, profundo, sendo que a maior parte do tempo de fundo ocorre nas profundidades sub-máximas. É o chamado mergulho de perfil quadrado. Esse perfil decorre das características do tipo de operação que é praticado no mergulho autônomo recreacional. Nesse tipo de mergulho, a característica mais importante é a limitação do volume de ar capaz de ser utilizado. Portanto, a princípio, mergulhando com um único cilindro de mergulho com volume interno entre 10 e 12 litros, não esperaríamos entrar em tabela descompressiva, se realizássemos um único mergulho no dia. Nos primórdios do ensino do mergulho autônomo recreacional, utilizavam-se na íntegra consagradas tabelas de mergulho com suas orientações relacionadas às paradas descompressivas. O modelo mais utilizado era a tabela da Marinha Norte-Americana. No entanto, revendo a história, pelo tipo de mergulho praticado e pelo nível de experiência dos praticantes, ele foi reavaliado e passou-se a usar tabelas que informassem, de maneira clara, os limites de tempo de fundo que não requeressem paradas descompressivas. Parece lógico, pois essa prática prevê, numa situação de emergência, a possibilidade da subida direta à superfície sem acrescentar os riscos de uma doença descompressiva.

À medida que o mergulho foi se popularizando, os equipamentos foram se tornando mais seguros e a operação de mergulho foi ficando mais rápida, começou-se a realizar múltiplos mergulhos num mesmo dia. O perfil do mergulho passou a se alterar e começamos a observar mergulhos sucessivos. Com isso, começou-se a utilizar novas tabelas com grupos de mergulho repetitivos que levam em consideração o volume de nitrogênio residual nos vários tecidos do nosso organismo que sobrou do mergulho anterior. Ao desafio da criação dessas tabelas adicionaram-se as exigências das anteriores.

As exigências de mergulhos sem paradas descompressivas e a necessidade de se considerar, entre um mergulho e outro, o volume de nitrogênio residual possibilitaram a geração de novos estudos e uma variedade de algoritmos matemáticos. Parece que aí os problemas se multiplicaram. Soma-se a isso o desejo de cada entidade envolvida na segurança ou mesmo na formação de mergulhadores autônomos de vencer o desafio de investir na criação da sua própria tabela.

Com o passar do tempo, pôde-se observar que, apesar da variedade de procedimentos de descompressão envolvendo tabelas e computadores de mergulho, muitos dos quais com tempos de fundos menores que os da tabela da Marinha Norte-Americana, portanto mais conservadores, a incidência da doença descompressiva se mantinha a mesma. Adicionaram-se, então, aos menores tempos de fundo paradas de 3 a 5 minutos entre 4, 5 e 6 metros e mais recentemente passou-se a especular a hipótese de que as subidas tenham sido feitas muito rapidamente. Emergências rápidas levam à geração de bolhas, que, por sua vez, levam à doença descompressiva.

As tabelas e os computadores de descompressão utilizam algoritmos, que são modelos matemáticos cuja hipótese operacional se baseia em vários exponenciais de absorção ou eliminação de gases respirados sob pressão enquanto se mergulha. Esses modelos acabam criando "tecidos matemáticos" que se saturam da mistura gasosa nas condições de profundidade e tempo de fundo que ocorrem no mergulho. A verdade é que ainda não temos o conhecimento completo de como o corpo humano absorve e elimina nitrogênio. Na prática, observamos no mundo todo que nos cursos de formação de um mergulhador autônomo amador, é ensinado o uso de tabelas sem paradas descompressivas. É uma medida de segurança baseada no bom senso comum à prática do mergulho autônomo recreacional. Além disso, repetimos, é orientado se realizar uma parada de segurança entre 4, 5 e 6 metros de 3 a 5 minutos. Na prática, muitos mergulhadores, depois de formados, acabam subindo a velocidades maiores do que 9 metros por minuto e realizando paradas de, no mínimo, 3 minutos para então emergir. Essa atitude é adotada, pois o mergulhador acaba confiando num

plano de mergulho que não requer parada descompressiva. Para uma desaturação essa prática parece envolver um espaço de tempo muito curto em relação ao tempo total do mergulho, favorecendo a ocorrência de doença descompressiva. Os problemas dos algoritmos de computadores ou tabelas decorrem do simples uso de um modelo matemático. Nenhum modelo computacional para o mergulho autônomo considera variações relacionadas com a idade, o sexo, a capacidade física do mergulhador, as variáveis de esforço físico durante o mergulho, temperatura da água ou variações de altitude. Por exemplo, Dr. Edmonds preconiza que para cada década de vida a partir dos trinta anos se devam diminuir 10% do tempo de fundo. Qual tabela inclui essa orientação? Apesar de os computadores considerarem, em seus algoritmos, variáveis numéricas decorrentes da grande variabilidade de práticas de mergulho como mergulhos únicos ou múltiplos, acumulativos ao longo de dias, eles não são completos.

Isso tudo fica mais preocupante, pois o mergulho como atualmente é divulgado parece uma atividade isenta de riscos. Hoje em dia, são muitos os destinos em que se pode mergulhar e o mergulho está cada vez mais associado ao turismo. Geralmente os destinos de mergulho são locais com mais de dois dígitos de visibilidade, o que, por si só, é um convite ao mergulho profundo. É comum ouvirmos de amigos o relato de que foram para tal local e fizeram um batismo de mergulho em que chegaram tranqüilamente a vinte ou trinta metros de profundidade. Além disso, existem muitos paraísos para o mergulho onde são ofertados mergulhos ilimitados a partir da praia. Tudo isso se soma no sentido de aumentar a possibilidade de se vir a ter uma doença descompressiva.

- TABELAS PARA MERGULHO

Todo mergulho com ar requer descompressão. Nos últimos 20 anos, podemos observar uma grande variedade de algoritmos computacionais de programas de descompressão. Inicialmente eles se baseavam no modelo de descompressão proposto por Haldane. Pesquisas inicialmente realizadas na Universidade do Havai, que incluem outras variáveis relacionadas à interação dos gases com o corpo humano, disponibilizaram novos algoritmos. Em resumo, os cálculos realizados propunham mergulhos com primeiras paradas mais profundas, mas com duração não muito diferente das tabelas convencionais para o mergulho profundo.

Outras mudanças ocorreram desde os experimentos iniciais de Haldane, principalmente relacionadas à velocidade de subida. Haldane usou uma taxa de subida de 9 metros por minuto, que era lenta o suficiente para evitar a formação de bolhas e compatível com o tipo de equipamento usado, que eram os escafandros. Como o mergulho autônomo permite uma liberdade de subida maior, as taxas de velocidade de subida aumentaram. Após um período de tempo considerável durante o qual se preconizava a velocidade de subida de 18

metros por minuto (Marinha Norte-Americana, 1956), ela acabou diminuindo para 12 metros por minuto (Hills, 1966-76), depois indo para 10 metros por minuto (Buhlmann, 1975), finalmente até os 9 metros por minuto, preconizados pela maioria das entidades relacionadas à prática do mergulho recreacional seguro. As vantagens de diminuir a velocidade de subida vão além da simples oportunidade de eliminação do gás acumulado durante o mergulho. Elas incluem a diminuição da produção de êmbolos gasosos venosos, menos obstrução do filtro pulmonar e menos chance de barotrauma pulmonar.

São muitos os problemas existentes no desenvolvimento de um modelo matemático ideal para prevenir a doença descompressiva. As dificuldades não recaem somente sobre a escolha de beneficiar os tecidos lentos ou rápidos e a sua correlação com mergulhos profundos e rápidos ou demorados. As dificuldades se concentram no fato de não existir um conhecimento claro que defina a escolha a ser seguida, ou seja, por se seguirem argumentos ainda não bem esclarecidos relacionados à difusão ou à perfusão de gás nos vários tecidos. Em geral, o que podemos observar é que as tabelas atuais são mais efetivas em reduzir a doença descompressiva em tecidos de meios-tempos mais lentos do que nos rápidos como o sistema nervoso central.

→ TABELA DESCOMPRESSIVA DO ROYAL NAVAL PHYSIOLOGICAL LABORATORY / BRITISH (SUB-ACQUA CLUB)

Inicialmente esta tabela utilizava o modelo de descompressão de um único tecido. Usava conceitos diametralmente opostos ao de Haldane, que são os seguintes: somente um tecido estaria envolvido na gênese da doença descompressiva tipo I; a taxa de absorção de gás é limitada pela perfusão; a taxa de absorção é maior do que a de eliminação, pois bolhas silenciosas se formam no tecido e interferem com a eliminação máxima do gás em qualquer mergulho; um volume crítico de gás pode ser tolerado sem sintomas e a difusão de gás é análoga à situação do tecido afetado adjacente ao fluxo arterial, resultando em descompressões longas e primeiras paradas profundas. Era comparável à tabela da Marinha Norte-Americana em termos de segurança, pelo menos no que se refere às profundidades de limite do mergulho recreacional. Como existem vários mecanismos envolvidos nos vários tipos de doença descompressiva, a exclusão de um tecido lento não garante proteção para outros, como é o caso das manifestações neurológicas da doença. Isso era mais provável de ocorrer, se estas tabelas fossem utilizadas a grandes profundidades. A tabela básica sofreu várias modificações (1968 e 1972), ora ficando muito conservadora, ora muito liberal. Em 1988, ela foi novamente modificada para calcular mergulhos repetitivos e o conceito de "linha limitante" foi abandonado. Portanto, ela acabou apresentando-se mais conservadora em

termos de limites sem paradas descompressivas, limitando a 6 metros a profundidade segura sem descompressão (comparada com os 9 anteriores). Atualmente ela presume que a taxa de eliminação de gás seja menor em termos de mergulho repetitivo, sendo que cada mergulho repetitivo requer uma descompressão mais conservadora que a anterior. Ela se apresenta como um conjunto de 7 tabelas. A primeira é usada no primeiro mergulho e as outras são determinadas em função do nitrogênio resumidamente acumulado durante esse mergulho e que vai ser levado durante o intervalo de superfície ao próximo mergulho. Elas são comparáveis à atual tabela Buhlmann e do Defence and Civil Institute Of Environmental Medicine (DCIEM) do Canadá para mergulho não-descompressivo. Para mergulhos que requerem paradas descompressivas, elas são geralmente, mas nem sempre, mais conservadoras que a da Marinha Norte-Americana, porém geralmente menos conservadoras que a Buhlmann ou DCIEM.

→ TABELAS DCIEM

As tabelas do Defence and Civil Institute of Environmental Medicine (DCIEM) usam um modelo diferente baseado na idéia de compartimentos organizados em série e não em paralelo como o da Marinha Norte-Americana. Os tempos de mergulho não-descompressivos e a maioria dos mergulhos repetitivos são mais conservadores do que os da tabela da Marinha Norte-Americana. É uma tabela baseada num modelo teórico que foi modificado após muitos estudos experimentais humanos monitorados por Doppler. Esses testes foram realizados em condições adversas como em água fria e com esforço intenso. Cabe salientar que o DCIEM é um dos maiores estabelecimentos de pesquisa do Canadá cujo propósito é garantir a segurança no mergulho. Para tanto a pesquisa relacionada à confecção das tabelas DCIEM envolveu desde a revisão de todo o conhecimento adquirido dos efeitos da pressão sobre a fisiologia humana até a construção de laboratórios próprios para validar hipóteses operacionais. O trabalho do DCIEM culminou com o reconhecimento internacional da qualidade das suas pesquisas nas áreas aeroespacial e do mergulho. Atualmente estas tabelas são utilizadas no ensino do mergulho recreacional pela Professional Diving Instructors Corporation (PDIC), National Association of Scuba Diving Schools (NASDS), National Association of Underwater Instructors (NAUI) e United States Underwater Federation (UFSF, equivalente à CBPDS).

→ TABELAS BUHLMANN

A tabela idealizada pelo cientista Buhlmann utiliza um modelo com compartimentos de 16 tecidos com meios-tempos que variam de 4 a 635 minutos. Ela reduz a taxa de subida para 10 metros por minuto e a duração das paradas profundas permitidas excede a encontrada na tabela da Marinha Norte-Americana.

Todo mergulho não-descompressivo requer uma parada de 1 minuto aos 3 metros. Nela também é considerado que os mergulhos iniciais curtos minimizam a formação de bolhas no primeiro mergulho e que melhora a eliminação de gás na subida, o que permite maiores tempos para os mergulhos sucessivos. Foi a tabela mais cuidadosamente testada em altitude.

→ TABELAS PADI

O "Planejador de Mergulho Recreacional PADI" inclui um sistema repetitivo baseado em meios-tempos de compartimentos teciduais de 40 e 60 minutos em vez de 120 da tabela da Marinha Norte-Americana. O resultado final é que essa definição operacional permite mergulhos repetitivos mais longos após intervalos de superfície mais curtos. Na literatura é comentado que uma quantidade pequena de testes, que foram seletivos e que, em termos de delineamento de pesquisa foram considerados restritos, com Doppler foi realizada para validá-la.

→ TABELAS BASSET

Com o propósito de planejar vôos após o mergulho, o Dr. Bruce Basset foi contratado pela Força Aérea Norte-Americana. Com a informação de que, quando usada no limite, a tabela da Marinha Norte-Americana tinha uma incidência de 6% de doença descompressiva e bolhas eram detectadas em 30% dos mergulhos observados, ele reduziu os limites não-descompressivos dessa mesma tabela e a supersaturação permitida em vários meios-tempos teciduais. Este pesquisador recomendou para mergulhos curtos não-descompressivos uma velocidade de subida de 10 metros por minuto, com uma parada de segurança de 3 a 5 minutos entre 3 e 5 metros, para todos mergulhos mais profundos do que 9 metros. Além disso, ele preconizou a utilização do tempo total submerso, mais do que o tempo na profundidade máxima, para calcular o grupo repetitivo após o mergulho.

5.2 – INTOXICAÇÃO PELO OXIGÊNIO

É um acidente que pode acometer o mergulhador que respira uma mistura gasosa em condições hiperbáricas, por ação tóxica de oxigênio, com manifestações do Sistema Nervoso Central e do aparelho respiratório. Resultam da ação irritante do oxigênio sobre a mucosa alveolar. Podem surgir: tosse, dispnéia e escarros sanguinolentos.

Os sintomas mais comumente encontrados são:

→ Abalos musculares: aparecem precocemente e localizam-se inicialmente na face, nas pálpebras, região periarbitrária e boca.

- Distúrbios visuais: limitação campo visual.
- Náuseas e tonteados: ocorrem frequentemente.
- Distúrbios auditivos: zumbido e surdez progressiva podem surgir como sinais precoces.
- Dispneia: respiração progressivamente difícil.
- Ansiedade: agitado e até mesmo com confusão mental.
- Cansaço.
- Convulsões: é o mais perigoso quadro e pode leva-lo ao afogamento. Podem surgir crises regulares acompanhadas de confusão mental, amnésia, cefaléia e náuseas.

5.3- INTOXICAÇÃO PELO GÁS CARBÔNICO

O excesso de gás carbônico no organismo pode ser consequência do seu teor elevado no ambiente ou de qualquer problema que interfira com o processo normal do seu transporte ou eliminação.

No mergulho, o gás carbônico pode existir em excesso na mistura gasosa ou algum problema respiratório pode impedir o mergulhador de eliminar de forma satisfatória o gás carbônico produzido pelo organismo. A Lei de Dalton diz que o perigo de intoxicação é tanto maior quanto mais profundo for o mergulho.

Os primeiros efeitos atingem a consciência com uma sensação de sede de ar, confusão mental, euforia e distúrbio da coordenação motora. Podem surgir cefaléias, tonteados, suores, sialorréia, dormência nas extremidades, sensação de frio ou calor, agitação, fadiga e palpitações. As sensações de respiração penosa são sinais de alarme, embora nem sempre precoce. Com níveis mais elevados de gás carbônico os sintomas são mais intensos alertando facilmente o mergulhador. As grandes concentrações provocam perda rápida da consciência, com parada respiratória, convulsões, espasmos musculares, rigidez e morte se o indivíduo não for removido do ambiente imediatamente.

5.4- NARCOSE POR NITROGÊNIO

Descrita muitas vezes de forma divertida em cursos de mergulho, e como algo a se atingir pelos "macho divers", a narcose por nitrogênio é uma condição perigosa, que já ceifou indiretamente muitas vidas de mergulhadores recreacionais. É importante tentar prevenir e reconhecer precocemente esta condição, evitando resultados negativos.

À medida que respiramos ar comprimido em profundidades progressivamente maiores, respiramos maiores pressões dos gases componentes. É importante não confundir, o ar tem aproximadamente 21% de oxigênio (O_2) e 79% de nitrogênio (N_2) a qualquer profundidade. O que acontece é que a pressão parcial de qualquer gás aumenta. Por exemplo, a 40 metros de profundidade (pressão absoluta de 5 atmosferas), respiramos 21% destas 5 ata's de O_2 , igual a 1,05 ata's e 79% de N_2 , igual a 3,65 ata's. Enquanto o nitrogênio é um gás inerte (ou seja, inofensivo e inútil) ao nosso organismo ao nível do mar, passa a ter propriedade narcótica com o aumento da sua pressão parcial. Esta narcose é progressiva com o aumento da pressão. Quanto mais fundo, mais narcose. Parece que o nitrogênio dissolvido no tecido nervoso diminui a velocidade de transmissão dos impulsos nervosos, pois forma uma barreira entre as células nervosas. Muitos mergulhadores acreditam, erroneamente, que a narcose começa a partir dos 30 metros de profundidade, e se torna clara a partir dos 40 metros. Na verdade, desde que deixamos a superfície temos um grau de narcose, que passa a ser perceptível em profundidade maior, que varia com diversos fatores.

De maneira jocosa, relaciona-se a narcose à lei de Martini, dizendo que "cada 10 metros de profundidade correspondem a uma dose de Martini" comparando a narcose à embriaguez, aliás um apelido da doença, a Embriaguez das Profundezas. Não só não existe tal lei, como não podemos compará-las totalmente. Embora os sintomas sejam parecidos, começando com alterações do comportamento, euforia, perda geral de sensibilidade (como se ficando anestesiado) e até perda de consciência, nem sempre vêm nesta ordem e alguns "atletas do copo" acabam ficando mais resistentes ao álcool, o que não ocorre com o N_2 . Outra diferença é que os sintomas da narcose desaparecem assim que o mergulhador volta para profundidades menores, o que não acontece com o álcool.

5.4.1- FATORES QUE INFLUENCIAM

1 - Suscetibilidade pessoal à narcose: algumas pessoas narcosão em profundidades menores que outras. Embora outros fatores possam ser modificados, é importante mencionar que nosso corpo não metaboliza nitrogênio, portanto teremos sempre um nível pessoal de narcose.

2 - Ansiedade, respiração, grau de esforço e temperatura da água: um aumento da frequência respiratória, tanto por água fria, ansiedade, esforço exagerado ou simplesmente má técnica respiratória fazem com que respiremos mais N_2 que o necessário, além de reter gás carbônico, aumentando o grau de narcose.

3 - Cansaço antes do mergulho: pessoas cansadas que dormiram pouco têm mais narcose do que quando descansadas.

4 - Visibilidade: em boa visibilidade temos melhor referência e, conseqüentemente, menos narcose. Em águas turvas, devemos evitar grandes profundidades.

5 - Álcool e drogas: o uso de bebidas alcoólicas antes do mergulho se soma à narcose por nitrogênio, que irá se apresentar em profundidades menores. É importante lembrar que podem demorar mais de 24 horas para que o álcool ingerido possa ser totalmente eliminado do corpo. Drogas proibidas também têm este efeito.

6 - Medicamentos: muitas medicações podem potencializar a narcose, é importante obter orientação a respeito. Muitas delas são comumente tomadas por mergulhadores, como descongestionantes, depressores labirínticos (para prevenir enjôos), etc...

7 - Experiência e repetição: à medida que ficamos mais experientes, certos fatores são naturalmente melhorados, como a respiração e a ansiedade. Se pusermos um mergulhador para fazer uma tarefa, numa profundidade que ele esteja narcosado mais consciente, e o fizermos repetir a tarefa em condições idênticas de água, no decorrer de dias, veremos que ele aumentará sua capacidade, até um certo limite. Não que esteja menos narcosado, apenas decorou a tarefa e talvez tenha aprendido a suportar tal grau de narcose. A narcose mata e deve ser evitada. Nossa condição física varia de dia para dia e devemos dar uma boa margem de segurança. O limite estabelecido para o mergulho esportivo, de 40 metros, pode funcionar em condições de água muito boa, mas não em qualquer condição. O melhor mergulho está com muito mais frequência em profundidades menores, mais duradouro e divertido. Se você tem fome de profundidade, pegue bastante experiência antes de se aventurar no mergulho técnico.

6- MISTURAS GASOSAS

Durante o curso básico de mergulho autônomo muitas pessoas fazem uma descoberta: que o famoso "cilindro de oxigênio" é na realidade cheio de ar atmosférico (aproximadamente 21% de oxigênio e 79% de nitrogênio) e que hoje 99% dos mergulhos amadores são feitos utilizando-se ar como mistura respiratória. No entanto, com os mergulhadores procurando atingir profundidades e tempos de fundo cada vez maiores e paralelamente tentando diminuir os tempos de descompressão, chegou-se a uma conclusão: o ar não é, na maioria dos casos, a mistura gasosa ideal para o mergulho. Apesar do baixo custo e da alta disponibilidade, o ar está longe de ser a alternativa ideal para a maioria dos mergulhos. Nos mergulhos entre 15 e

40 metros o uso do ar implica em tempos de descompressão muito grandes. Abaixo de 40 metros surge o fantasma da narcose pelo nitrogênio, que pode deixar o mergulhador em um estado de embriaguez semelhante ao causado por bebidas alcoólicas e que afeta os reflexos e a capacidade de julgamento. Além dos 66 metros o mergulhador corre o risco de sofrer convulsões devido à influência tóxica do oxigênio no sistema nervoso central. Desde a década de 50, misturas gasosas diferentes do ar são utilizadas rotineiramente no mergulho comercial e desde 1985 vêm ganhando popularidade no mergulho amador.

A utilização de misturas especiais permite que os mergulhadores aumentem seus tempos de fundo, diminuam o risco da narcose pelo nitrogênio e de intoxicação pelo oxigênio, o que facilita aquilo que eles mergulhadores mais querem: permanecer no fundo com segurança o maior tempo possível.

6.1- NITROX

Desde 1985 um conjunto específico de misturas vem se popularizando cada vez mais no mergulho amador: as misturas nitrox, compostas por oxigênio e nitrogênio em porcentagens diferentes daquelas encontradas no ar atmosférico. Oferecendo tempos de fundo maiores e intervalos de superfície menores com uma boa margem de segurança para mergulhos entre 10 e 40 metros de profundidade, espera-se que o nitrox passe por uma explosão de popularidade nos próximos anos, principalmente após o aval de grandes certificadoras como a PADI.

Além de ser utilizado por mergulhadores recreativos como um substituto para o ar (com muitas vantagens), mergulhadores técnicos utilizam nitrox para reduzir o tempo de descompressão em mergulhos profundos.

6.2- HELIOX E TRIMIX

A primeira aplicação em larga escala do Heliox aconteceu em 1939. Na época a marinha dos EUA realizava diversos estudos visando determinar a viabilidade do uso de misturas para mergulhos profundos. O Heliox era o candidato mais promissor. Quando o submarino U.S.S. Squalus afundou a 74 m de profundidade e foi rapidamente localizado com seus tripulantes ainda vivos. A Marinha iniciou um esforço frenético para resgatá-los. No entanto, as tentativas falharam porque mergulhadores, utilizando ar, eram incapazes de prender um cabo que guiaria a câmara de resgate até o submarino, afetados pela narcose pelo nitrogênio. A marinha decidiu então tentar utilizar as novas misturas Heliox. Logo, um

mergulhador prendeu o cabo que permitiria o resgate dos 33 sobreviventes. Em seguida, após 100 mergulhos com a nova mistura, o Squalus foi trazido de volta à superfície, reparado, rebatizado de Sailfish e recolocado na ativa, onde permaneceu durante a 2ª Guerra Mundial. Estava encerrada a era dos mergulhos profundos utilizando ar.

Embora o Heliox seja largamente utilizado em mergulho comercial, ele apresenta três problemas: alto custo, tempos de descompressão inviavelmente longos para mergulhos curtos e a síndrome nervosa das altas pressões (SNAP). Em 1965 descobriu-se que mergulhadores utilizando Heliox a mais de 150 m de profundidade eram acometidos de tremores incontrolláveis, mas que a adição de pequenas quantidades de nitrogênio à mistura eliminavam este efeito do hélio. Nascia então o Trimix - um conjunto de misturas de hélio, oxigênio e nitrogênio que permitia que mergulhadores atingissem profundidades de mais de 700 m em ambiente de laboratório.

No mergulho técnico o Heliox teve uma vida curta, já que o Trimix foi utilizado desde o início. Estas misturas eram muito mais baratas que o Heliox (devido ao alto custo de hélio) e permitiam descompressões muito mais rápidas. Por exemplo, para um mergulho a 80 metros de profundidade com 20 minutos de tempo de fundo, uma mistura Heliox 16 (16% de oxigênio e 84% de hélio) implica em mais de 30 horas de descompressão. O mesmo mergulho com Trimix 16/24 (16% de oxigênio, 24% de hélio e 60% de nitrogênio) exige uma descompressão de menos de 5 horas. Hoje o Trimix é a mistura preferida dos mergulhadores que se aventuram a mais de 60 m de profundidade, principalmente em ambientes que exigem alta concentração como naufrágios e cavernas.

6.3- COMO ESCOLHER A MELHOR MISTURA

Mas quais são os critérios para o mergulhador selecionar a melhor mistura? Nos mergulhos até 40 m de profundidade, a receita é relativamente simples, já que a mistura escolhida será provavelmente Nitrox. O único fator a ser considerado é a toxicidade do oxigênio: calcula-se a pressão parcial do oxigênio na profundidade máxima e esta não deve exceder 1.4 ata. Tomemos como exemplo um mergulho a 28 metros. Nesta profundidade, a pressão ambiente é de 3.8 ata. Dividindo-se a pressão parcial desejada para o oxigênio (1.4 ata) pela pressão ambiente (3.8 ata), chegamos a uma fração de oxigênio de 36%, o que implica em uma mistura com 36% de oxigênio e 64% de nitrogênio. Em um curso de mergulho com Nitrox você aprende facilmente como efetuar estes cálculos e determinar as paradas de descompressão necessárias para este mergulho.

Para profundidades entre 40 m e 60 m, a mistura ideal ainda é o ar, mas o mergulhador pode optar por misturas com maior teor de oxigênio (como o Nitrox 36 ou o Nitrox 80) para reduzir o tempo de descompressão. Nos mergulhos mais fundos a mistura é normalmente algum tipo de Trimix. Os cálculos são um pouco mais complexos e devem levar em conta três fatores: toxicidade pelo oxigênio, narcose pelo nitrogênio e tempo de descompressão (uma consequência direta dos dois primeiros fatores). O primeiro passo é calcular a fração de oxigênio da mesma forma que nos mergulhos com Nitrox. Em seguida, é preciso determinar a fração de nitrogênio, o que é feito selecionando-se o nível de narcose pelo nitrogênio que o mergulhador está disposto a tolerar e aplicando um conceito chamado "profundidade equivalente narcótica" (PEN ou END), que equipara a narcose de um mergulho com Trimix a de um mergulho com ar a uma profundidade menor. Assim, para um mergulho a 90 m, se o mergulhador está disposto a tolerar um nível de narcose equivalente àquele que teria em um mergulho a 45 m com ar, escolheria uma mistura com 14% de oxigênio, 43% de hélio e 43% de nitrogênio.

6.4- OS RISCOS DAS MISTURAS

Como não poderia deixar de ser, embora o mergulho com misturas traga diversas vantagens, ele também cria novos riscos. Ao decidir usar uma mistura em um determinado mergulho, o mergulhador deve pesar as vantagens e as desvantagens de sua aplicação naquele mergulho específico.

O primeiro problema é a quantidade de equipamento. Para cada mistura, o mergulhador é obrigado a carregar pelo menos um cilindro com regulador. Assim, em um mergulho Trimix com duas misturas Nitrox para descompressão, o mergulhador carrega no mínimo 3 cilindros, sendo 5 o número mais comum: uma dupla com o Trimix a ser usado no fundo, um de 10 ou 12 litros com Nitrox 36, um menor com Nitrox 80 ou oxigênio puro e mais um pequeno com argônio para a roupa seca - são mais de 100 kg de equipamento. Além disto, todos os cilindros devem ser limpos para uso com oxigênio puro. O segundo problema é relacionado à qualidade das misturas e suas trocas debaixo d'água. É necessário um controle preciso dos teores dos diversos gases utilizados, já que qualquer falha pode causar doença descompressiva, narcose excessiva ou intoxicação pelo oxigênio, erros que podem ser fatais a 80 m de profundidade. Debaixo d'água o mergulhador deve estar atento a qual mistura utilizar em cada etapa do mergulho. Não são poucos os casos em que, por alguma razão, o mergulhador pega o regulador do cilindro de oxigênio puro e passa a respirar este gás a 80 ou

90 m de profundidade, resultando em convulsões e afogamento praticamente imediato. Por isto é importante identificar corretamente cada regulador, a profundidade máxima em que ele pode ser utilizado e prover algum meio de impedir que por descuido o mergulhador respire uma mistura com alto teor de oxigênio na profundidade errada.

Outro problema que muitas vezes passa despercebido é o frio. Como o hélio é um excelente condutor de calor, o mergulhador perde calor muito mais rapidamente que quando exposto ao ar ou a água, o que pode levar a uma séria hipotermia. Nos mergulhos com Trimix ou Heliox, as roupas secas são praticamente indispensáveis e são geralmente cheias de outro gás com maior poder de isolamento, como o argônio. No mergulho comercial a alternativa mais comum para evitar o frio é a utilização de roupas de água quente. Por fim, as misturas implicam em mais uma dificuldade: o cálculo da descompressão. As tabelas e computadores tradicionais não podem ser usados a não ser nos mergulhos Nitrox mais simples. O mergulhador é então obrigado a recorrer a programas como o Abyss para determinar as paradas de descompressão necessárias. Embora os cálculos sejam efetuados automaticamente pelo programa, é fundamental um bom conhecimento da teoria da descompressão para que os parâmetros do programa possam ser ajustados adequadamente, resultando em uma descompressão segura.

7- TREINAMENTO

O primeiro passo para quem quer conhecer melhor as misturas gasosas é um curso de Nitrox Básico, oferecido regularmente por várias escolas filiadas à PDIC, PADI ou TDI. Neste curso o mergulhador começa a conhecer os riscos da toxicidade pelo oxigênio e os cálculos necessários para executar mergulhos recreativos utilizando misturas Nitrox com até 40% de oxigênio.

Daí para frente, o mergulhador entra no âmbito do mergulho técnico e os cursos se tornam mais escassos. O curso de Nitrox Avançado é oferecido apenas pelas escolas filiadas a TDI e visam mostrar ao mergulhador as vantagens e os riscos da utilização de misturas Nitrox com teor de oxigênio entre 32% e 100% para reduzir o tempo de descompressão. Este curso aborda a preparação do equipamento, o controle da pressão parcial do oxigênio, os cálculos de descompressão para mergulhos em que mais de uma mistura gasosa é utilizada e as técnicas para uma descompressão segura, normalmente omitidas dos cursos de mergulho recreativo. Este curso é pré-requisito para os cursos de mergulho profundo com ar, o passo seguinte para aqueles que querem continuar o currículo de mergulho técnico. Poucos mergulhadores seguem até o ponto máximo do mergulho técnico: os cursos de mergulho com misturas

compostas por hélio, oxigênio e nitrogênio (Trimix ou Heliox). Muito mais complexo que os cursos anteriores, requer dedicação intensa e só é oferecido no Brasil sob demanda, embora em alguns pontos dos EUA seja oferecido regularmente. O objetivo é capacitar os mergulhadores para realização de mergulhos profundos (de 80 a 100 metros) utilizando equipamento autônomo de circuito aberto.

8- O FUTURO

Como os mergulhadores estão buscando cada vez mais atingir profundidades e tempos de fundo maiores, o uso de misturas gasosas deverá crescer nos próximos anos, principalmente a utilização de Nitrox. Caso a tecnologia dos equipamentos de circuito fechado ou semifechado (rebreathers) venha a se firmar, as misturas terão importância ainda maior, já que praticamente todos os modelos atuais utilizam Nitrox, Heliox ou Trimix como mistura respiratória.

E a busca por novas alternativas não para por aí. Há vários anos, os cientistas buscam misturas melhores que as conhecidas. Misturas compostas por hidrogênio e oxigênio (HidroX e Hidreliox) são testadas a mais de 50 anos, embora o risco de explosão desta mistura tenha dificultado sua aplicação comercial. E alguns mergulhadores técnicos vêm testando misturas à base de neônio como uma forma de reduzir os tempos de descompressão nos mergulhos mais fundos.

9- MERGULHO EM APNÉIA – HIPÓXIA

9.1- RESPOSTA FISIOLÓGICA ÀS COMPLICAÇÕES

O mergulho é uma atividade com uma grande variedade de modalidades, desde o livre em apnéia até os sofisticados mergulhos comerciais. Possivelmente a atividade de mergulho mais praticada no mundo todo seja o mergulho livre. Em relação ao mergulho livre, o que mais tem surpreendido a todos e particularmente a comunidade de mergulhadores, é a contínua quebra de recordes nas suas várias categorias e em especial na No Limits. Essas quebras de recordes têm impressionado a todos em relação aos limites da capacidade humana. Eles impressionam, pois extrapolam em muito o desempenho do homem normal e, por isso, são objetos de inúmeros estudos. O mergulho em apnéia tem atraído o interesse de muitos pesquisadores da área da fisiologia humana nos últimos 50 anos. Com o seu estudo, podemos entender melhor a sua fisiopatologia. Infelizmente o mergulho livre recreativo e mesmo o profissional têm apresentado um número considerável de acidentes.

Recentemente o mergulhador cubano Francisco Pipin Ferreras, um ano após o acidente que vitimou sua esposa, a mergulhadora Audrey Mestre, na tentativa de quebra do recorde mundial na categoria No Limits, ultrapassou os 160 metros, colocando a atual marca nos 170 metros de profundidade. Meses antes, tivemos o prazer de ler o incrível relato da atleta Tanya Streeter, numa revista especializada, sobre a quebra do recorde mundial feminino de mergulho livre na categoria No Limits. A descrição do seu feito é uma aula de fisiologia do mergulho e um exemplo de dedicação, treino e tudo mais que eles representam para o sucesso de uma empreitada dessa envergadura. Usaremos os seus relato para exemplificar as alterações fisiológicas que ocorrem no mergulho livre ou em apnéia.

Durante o mergulho livre ou em apnéia, ocorre uma série de respostas adaptativas fisiológicas para a sobrevivência nessa condição. Nosso corpo tem condições de funcionamento durante algum período de tempo às mais variadas condições ambientais. No caso do mergulho, as adaptações que se apresentam, iniciam com a parada voluntária da ventilação a uma pressão ambiente seguida do aumento progressivo da pressão externa à medida que se mergulha e que dependerá da profundidade que se pretende alcançar. Essa temporária e voluntária condição adversa de vida termina com o retorno do mergulhador à superfície e o restabelecimento da ventilação. Portanto, as respostas fisiológicas do organismo humano que descreveremos, serão aquelas que se fazem necessárias para manter a vida numa condição de diminuição crescente dos níveis de oxigênio (hipóxia) e de acúmulo de gás carbônico no organismo (hipercapnia), desencadeado pela parada voluntária da ventilação enquanto se mantém a respiração celular. Além disso, acrescenta-se a necessidade de outro conjunto de respostas fisiológicas para a manutenção da vida numa pressão ambiental maior que uma atmosfera. As alterações fisiológicas adaptativas apresentam limites de profundidade e de tempo a partir dos quais se podem instalar lesões graves e até mesmo a morte. São os limites da capacidade humana.

A existência dessa resposta adaptativa demonstra a manutenção na nossa espécie de respostas fisiológicas adaptativas e evolutivas comuns a outros mamíferos. Num determinado momento da evolução dos mamíferos, anterior ao surgimento do homem, essas adaptações ocorreram e permaneceram conosco, apesar da nossa vida terrestre. O gosto e a capacidade de nadar e de mergulhar tornam evidente uma relação ancestral com a água. Os resultados do treinamento demonstram que a resposta adaptativa pode ser ampliada, reforçando ainda mais a resposta fisiológica. Infelizmente existem limites que nos fazem retornar à vida terrestre. Ultrapassar os limites do nosso corpo nessas condições significa doença ou trauma. O estudo da biologia comparativa no que se refere aos mamíferos aquáticos que evoluíram nesse meio,

torna evidente que apresentamos somente resquícios evolutivos e que nossa espécie se distanciou muito da água. Tanto quanto no mergulho autônomo, observações relacionadas à saúde dos mergulhadores livres e medidas de segurança devem ser consideradas e adotadas no sentido de se evitarem acidentes.

10- CONCLUSÃO

A prática do mergulho desenvolveu-se muito nos últimos tempos e o meio subaquático recebe cada vez mais a conotação de ser o futuro da subsistência da humanidade, já que apresenta ainda riquezas desconhecidas e inexploradas.

Tanto o mergulho comercial (a indústria pesqueira, a exploração petrolífera, as manobras da Marinha e o mergulho de resgate) como o turismo subaquático, aumentam o número de pessoas envolvidas na prática do mergulho. Com a tecnologia e equipamentos de ponta, os mergulhos podem se tornar cada vez mais radicais e profundos. Para isto, faz-se necessários cuidados, orientações e medidas de precaução para que sejam evitados os acidentes e doenças do mergulho.

Todos os candidatos a tornarem-se mergulhadores deveriam ser submetidos inicialmente a um rigoroso exame médico para verificar se as condições anatomofisiológicas estão compatíveis com esta prática. Todos os exames médicos, especialmente os otorrinolaringológicos devem ser realizados para evitar casos de infecções e barotraumas. O mergulhador deve ser instruído a não mergulhar na vigência de um resfriado ou qualquer outro problema das vias aéreas superiores. Há a necessidade de orientações como a da manobra de compensação da pressão do ouvido médio com a do meio ambiente. Deve-se praticar manobras de insuflação tubária, estas por sua vez, devem ser executadas cada vez mais com destreza e precisão.

Os exames audiométricos e imitanciométricos devem ser realizados antes de se iniciar esta prática, como também periodicamente, evitando o agravamento de qualquer alteração auditiva que possa surgir.

A otoscopia será um exame preliminar que seguido de testes em câmaras hiperbáricas, comprovará a capacidade do indivíduo de equilibrar a pressão do ouvido médio com a do meio ambiente. Qualquer sinal de pneumopatias crônicas ou instabilidade psicoemocional devem ser muito bem observado. A avaliação deve conter outros exames clínicos, como eletrocardiograma, exames radiológicos e laboratoriais. Faz-se necessário ainda, um exame odontológico e dermatológico.

Pode-se concluir que é amplo o leque de profissionais envolvidos e estes devem ter uma formação adequada para prevenir e atender aos acidentes e doenças causadas pelo mergulho. Faz-se necessário uma conscientização dos próprios praticantes do mergulho profissional ou amador que a minimização dos acidentes de mergulho, dependem de alguns pontos básicos. Um dos principais, sem dúvida, é o check up geral inicial, além de acompanhamentos periódicos. O outro é a adequada instrução teórica/prática sobre as técnicas e manobras do mergulho. Desta forma acredita-se que se consiga prevenir os acidentes e doenças do mergulho, tornando esta prática segura e proveitosa.

11- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADOLFSON, J. A, e BERGHAGE, T. E. - **Perception and Performance Underwater**. Ney York Jonh Wile e Sons, 1974.

ALBANO, G. - **Principles And Observations on the Physiology of the Scuba Diver** Arlington, Virgínia office of Naval Reserarch, Departament of the Navy, 1970.

ALBANO, G. - **Fisiologia Della Respirazione Iperbárica** Gli Scambi Gasosi, Annali di Medicina Navale, LXXIX, fasc.I (33-62), 1974.

BAYLISS, G. J. A - **Aural Barotrauma in Naval Divers**, Archives Otorrinolaryngology. 49-55, 1976.

BENNET, P. B. e ELLIOT, D. H. - **The Fisiology and Medicine of Diving and Compressed Air Work**. London: Baillière Tindal and Cassel, 1969.

DUEKER, W. C. - **Medical Aspects of Sport Diving**. New York: A. Barnes andco, 1970.

FRAZÃO E. M. - **Manual Didático de Medicina Submarina**, Ministério da Marinha, Imprensa Naval, R.J., 1987.

GALLAR F. - **Medicina Subaquática e Hiperbárica**, Artes Gráficas, Madrid, 2ªEdicion, 1991.

HERCULES, H. C., LENS, L. e FONSECA N. M - **Embolia pelo Ar na Imersão Rápida**, Revista do Instituto Médico Legal, I – 4: 11 – 26, 1970.

LAMBERTSEN, C. J. - **Oxygen Toxicity, Fundamentals of Yperbáric Medicine**. National Academy of Sciences, 1966.

LOPES FILHO O. e CAMPOS C. A H. - **Tratado de Otorrinolaringologia**, Ed. Roca, São Paulo, 1994. Pág 541, 630, 679, 683, 684, 838, 853, 877.

ESTINES, R. J. e MARCUS, R. H. - **Emergências Médicas**, Ed. Médica e Científica Ltda., RJ, 1987.

MATOS, A., VELASCO, A. e SILVEIRA, M. C. - **Atualidades e Perspectivas da Medicina Submarina**. Revista de Química e Farmácia, IX: 65 – 72, 1970.

ABSTRACT: The aim of this research project was to highlight the existence of an inter-relationship between man and the underwater environment and the fact that many factors can cause several changes to happen in the diver's body. Some of these changes are decompression disease, intoxication caused by gas and work-related accidents. The authors therefore, attempt to show that diving should only be undertaken by professionals or athletes that have been adequately trained. In these circumstances, this activity will become both a safe and enjoyable one.

Key words: diving, underwater environment, training.