



UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
3. LÉKAŘSKÁ FAKULTA



Klinika pracovního a cestovního lékařství

Matěj Chytil

**Onemocnění související s potápěním a
jejich prevence**

*Diseases Related to Diving and Their
Prevention*

Diplomová práce

Praha, prosinec 2008

Autor práce: Matěj Chytil

Studijní program: Všeobecné lékařství

Vedoucí práce: **Doc. MUDr. Evžen Hrnčíř, CSc.**

Pracoviště vedoucího práce: **Klinika pracovního a cestovního lékařství**

Datum a rok obhajoby: 20.1. 2009

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou práci zpracoval samostatně a použil uvedené prameny a literaturu. Současně dávám svolení k tomu, aby tato diplomová práce byla používána ke studijním účelům.

V Praze dne 7.ledna 2009

Matěj Chytil

Obsah

OBSAH	4
1. ÚVOD.....	5
2. FYZIKA.....	7
2.1. SKUPENSTVÍ.....	7
2.2. HUSTOTA	7
2.3. TLAK.....	8
2.4. OCHRANA PROTI ZVÝŠENÉMU TLAKU.....	9
2.5. STLAČOVÁNÍ PLYNŮ.....	10
2.6. ARCHIMÉDŮV ZÁKON.....	12
2.7. ZÁSADY SPRÁVNÉHO VYVÁŽENÍ POTÁPĚČE	13
2.8. DŮSLEDEK ZMĚNY TEPLoty NA OBJEM LÁTEK.....	14
2.9. ZÁKLADNÍ VÝPOČTY PRO ZÁSoby VZDUCHU	15
2.10. HMOTNOST ZÁSoby VZDUCHU.....	17
2.11. SLOŽENÍ VZDUCHU A PARCIÁLNÍ TLAKY PLYNŮ V NĚM OBSAŽENÉ.....	17
2.12. ROZPOUŠTĚNÍ PLYNŮ V KAPALINÁCH	18
2.13. VIDĚNÍ POD VODOU	19
2.14. SLYŠENÍ POD VODOU	20
2.15. PŘENOS TEPLA	21
2.16. SHRNUtÍ K ČÁStI FYZIKA	21
3. NEMOCI SOUVISEJÍCÍ S POTÁPĚNÍM A JEJICH PREVENCE.....	21
3.1. BAROTRAUMA.....	21
3.1.1. <i>Barotrauma středního ucha a bubínku</i>	<i>21</i>
3.1.2. <i>Barotrauma plic a hrudní dutiny</i>	<i>25</i>
3.1.3. <i>Barotrauma vnitřního ucha</i>	<i>27</i>
3.1.4. <i>Barotrauma paranazálních dutin</i>	<i>28</i>
3.1.5. <i>Barotrauma zažívacího traktu</i>	<i>28</i>
3.1.6. <i>Barotrauma očí a ostatních částí obličeje pod maskou</i>	<i>29</i>
3.1.7. <i>Barotrauma zubu</i>	<i>30</i>
3.1.8. <i>Barotrauma kůže vzniklé v souvislosti s používáním potápěčského obleku</i>	<i>30</i>
3.1.9. <i>Barotrauma způsobené poklesem tlaku v potápěčské přilbě</i>	<i>31</i>
3.2. OTRAVY	31
3.2.1. <i>Otrava oxidem uhličitým</i>	<i>31</i>
3.2.2. <i>Otrava oxidem uhelnatým.....</i>	<i>32</i>
3.2.3. <i>Toxicita kyslíku.....</i>	<i>34</i>
3.2.4. <i>Otrava inertními plyny.....</i>	<i>37</i>
3.3. DEKOMPRESNÍ NEMOC	38
3.4. TONUTÍ	43
3.5. PODCHLAZENÍ	44
3.6. VYČERPÁNÍ.....	45
3.7. INFEKČNÍ KOMPLIKACE PŘI POTÁPĚNÍ	46
3.8. PORANĚNÍ VODNÍMI ŽIVOČICHY	46
3.9. MECHANICKÉ PORANĚNÍ NEŽIVÝMI PŘEDMĚTY	49
4. DISKUZE	50
5. ZÁVĚR	51
SOUHRN	52
SUMMARY	52
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:.....	53

1. Úvod

V této době plné technických novinek a především se stále vzrůstající skupinou obyvatel, která od života očekává „něco více“, také narůstá počet aktivních potápěčů, ať již se jedná o potápěče používající přístrojovou techniku nebo potápěče na nádech. S tím se také logicky množí výskyt nemocí a zranění spojených s potápěním. Dříve v naší republice byli jen profesionální potápěči, kteří byli dobře školeni a hlídáni, což mělo za následek menší výskyt nemocí spojených s potápěním. Ovšem po roce 1989 postupně došlo ke změně. Otevřely se hranice, vyskytly se nové možnosti cestování do té doby „zapovězených“ oblastí světa, začaly se dovážet nové věci ze zahraničí a především se naskytla možnost soukromého podnikání. Tyto aspekty vrhly na trh mnoho firem, které se zaměřují na výcvik a školení potápěčů. Takto vyškolení potápěči často přeceňují své schopnosti, nedodržují základní pravidla (nejčastěji při dekompresi) a z těchto důvodů dochází k nehodám a nezdárk bohužel i smrtelným (každoročně máme 3-4 úmrtí v přímé souvislosti s potápěním).

Já jsem sportovec tělem i duchem se zájmem o potápění, i když se jedná spíše o teoretický zájem než o praktickou stránku věci. Proto mě toto téma velice zaujalo. Při podrobnějším zkoumání a pátrání po materiálech s danou tematikou jsem zjistil, že v českém jazyce neexistuje ucelený přehled nemocí souvisejících s potápěním. Pokusím se tedy na nadcházejících stránkách podat přehled dané problematiky. Nevyhnutelnou součástí k pochopení problému je znalost základních zákonů klasické fyziky, především hydrodynamiky, hydrokinetiky a aerodynamiky, proto bych pro začátek uvedl přehled aplikované

fyziky. Znalost anatomie a fyziologie člověka na naší akademické půdě považuji za samozřejmou a proto se ji v mé práci věnovat nebudu.

2. Fyzika

Při potápění se člověk dostává do odlišného prostředí než, ve kterém je zvyklý žít. Místo vzduchu má kolem sebe vodu, kterou není schopen dýchat. Voda vyvíjí na organismus větší tlak, má větší hustotu, většinou také působí jako chladová noxa. Snižuje se také osvětlení, člověk se pohybuje volně v trojdimenzionálním prostředí, na což není z normálního života zvyklý. To má za následek sníženou orientaci v prostoru. Proto je nutné seznámit se s těmito činiteli blíže.

2.1. Skupenství

Vzduch, který nás obklopuje, který dýcháme je za normálních okolností (tlaku a teploty) v plynném skupenství. Oproti tomu je voda za normálních okolností ve skupenství kapalném. Obě tyto skupenství se od sebe výrazně liší svým chováním pod vlivem sil na ně působících. Kapalina působením sil (např. síly gravitační) mění svůj tvar, ale (pokud pomineme působení extrémních sil) nemění svůj objem. Naproti tomu plyn pod vlivem působících sil mění svůj tvar, ale také svůj objem. Pro úplnost dodávám, že skupenství pevné působením vnějších sil nemění ani svůj tvar ani objem.

Tyto vlastnosti jsou dány rozdílným uspořádáním základních stavebních jednotek (atomů a molekul) a vazbami mezi nimi.

2.2. Hustota

Hustota tělesa je přímo závislá na jeho hmotnosti a nepřímo závislá na jeho objemu. Jinak vyjádřeno hustota je rovna podílu hmotnosti a objemu. Základní jednotkou je $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

V praxi to znamená, že dvě tělesa o stejném objemu, jedno vyrobené ze železa a druhé z polystyrénu, mají jinou hmotnost. Podobně i člověk, který je nadechnutý, má celkově menší hustotu než voda a proto volně plave na hladině.

Dobré je pro výpočty vědět, že metr krychlový sladké vody má hmotnost 1000 kilogramů a tudíž její hustota je 1000 kg.m^{-3} . Vyšší hustota mořské vody (zhruba $1020 - 1030 \text{ kg.m}^{-3}$) je zapříčiněna vyšším obsahem solí. Vzduch má za normálního tlaku a teploty hustotu přibližně $1,25 \text{ kg.m}^{-3}$.

2.3. Tlak

Tlak je fyzikální veličina, která je přímo úměrná síle a nepřímo úměrná ploše na kterou síla působí. Základní jednotkou je N.m^{-2} . Newton [N] je jednotkou síly v kg.m.s^{-2} a $[\text{m}^2]$ je jednotkou plochy. Častěji využívanými jednotkami jsou pascaly [Pa]. 1 Pa se rovná 1 N.m^{-2} . Z hlediska praktického využití představuje pascal velice malou jednotku, proto pro výpočty používáme jeho násobky, tisícinásobek – kilopascal ([kPa]; $1 \text{ kPa} = 1000 \text{ Pa}$) a ještě častěji jednotku v řádu miliónů pascalů – megapascal ([MPa]; $1 \text{ MPa} = 1\,000\,000 \text{ Pa}$).

Tlaková síla na nás působí i v pro nás běžném prostředí (na souši) a jsme na ni zvyklí a tudíž jí běžně ani nevnímáme. Okolní normální tlak je vyvolán vrstvami atmosférického vzduchu, které na sebe působí. Z čehož plyne, že u mořské hladiny bude okolní atmosférický tlak nejvyšší – nad sebou je nejvíce atmosférických vrstev vzduchu, tudíž největší hmotnost vzduchu a tudíž největší působící síla. U hladiny moře se nacházíme v takzvaném normálním barometrickém tlaku (b_0), jehož velikost je asi 100 kPa neboli 0,1 MPa. Velikost barometrického tlaku lze vyjádřit v různých jednotkách (uvádím přibližné hodnoty, které plně dostačují pro běžné výpočty):

$$b_0 = 0,1 \text{ MPa} = 1 \text{ bar} = 1 \text{ atm} = 1 \text{ kp.cm}^{-2} = 760 \text{ torr}$$

V našich podmínkách se ve výpočtech nejčastěji používají megapascaly, ale stále frekventovanější jednotkou je bar. Ostatní jednotky se vyskytují spíše ve starší literatuře.

Důležité je si uvědomit, že při vertikálním pohybu pod hladinou dochází na jednom metru k daleko větším změnám okolního tlaku, nežli je to při vertikálním pohybu na vzduchu. Je to dáno tím, že vodní vrstvy nad námi jsou daleko těžší než vrstvy vzduchu. Voda má přibližně 800krát větší hustotu než vzduch při normálním tlaku a teplotě. Přírůstek tlaku ve vodě je přímo úměrný hloubce. Platí, že tlak narůstá o 0,01 MPa (10 kPa) na každý metr hloubky. Vynásobením hloubky v metrech konstantou 0,01 dostaneme hydrostatický tlak v megapascalech (označujeme ho p_h). Pokud ovšem chceme znát celkový tlak, který v dané hloubce na potápěče a na jeho výstroj působí, musíme ještě k danému hydrostatickému tlaku přičíst normální tlak barometrický, působící na hladině. Na příklad, když se potopíme do 50 m tak je celkový tlak který na nás působí 0,6 MPa (hloubka 50 m násobená koeficientem 0,01 dává hydrostatický tlak 0,5 MPa, k této hodnotě ovšem musíme přičíst hodnotu atmosférického tlaku nad hladinou a to 0,1, což nám dá naši hodnotu 0,6 MPa).

2.4. Ochrana proti zvýšenému tlaku

Proti rostoucímu tlaku lze chránit potápěče v principu dvěma způsoby. Ten první je logický a napadne asi každého. Potápěče oddělíme od působících sil pevnou nestlačitelnou překážkou. Tento princip je využíván u ponorek a pancéřových skafandrů. Nemalou daní za ochranu proti zvýšenému tlaku těmito systémy je velice snížená mobilita.

Pro druhou možnost je nutné si uvědomit, že kapalina je nestlačitelná, z čehož plyne, že problémy nám budou tvořit jen prostory (ať ji tělesné nebo v přístrojovém vybavení) vyplněné plynem. Zde se nám cesta dělí do dvou směrů. Za prvé můžeme vyrovnat tlaky přičerpáním nebo naopak odčerpáním plynu (vzduchu) do daných prostor. Nebo je druhá možnost zaplavit dutiny kapalinou, čímž se stanou nestlačitelnými. Oba tyto mechanismy mají své využití, ale také své limity a rizika, ke kterým se dostaneme v pozdějších kapitolách.

2.5. Stlačování plynů

Tlakové síly vyvolané okolním hydrostatickým tlakem působí rovněž na plyny, které jsou tomuto tlaku vystaveny. Nás zajímají především tělesné dutiny vyplněné vzduchem a prostory vyplněné plynem v potápěčské výstroji – uvnitř kompenzátoru vztlaku, v komůrkách materiálu neoprenových izolačních obleků, uvnitř izolačních obleků...

Při sestupu se vlivem zvyšující se tlakové síly plyny stlačují a zmenšují svůj objem. Při výstupu je situace přesně opačná, okolní tlak klesá a plyny se rozpínají.

Nutné je vědět jak se mění objem plynu s určitou změnou okolního tlaku. Tento problém řeší Boyleův Mariottův zákon, který říká:

Kolikrát se zvětší okolní tlak, tolikrát se zmenší objem plynu neboli $p \cdot V = p_0 \cdot V_0$

Kde $p_0 \cdot V_0$ je součin původního tlaku a $p \cdot V$ jsou výsledné hodnoty. Tento zákon platí pro stálé množství plynu.

Krásný příklad je klasický potápěčský zvon. Vezmeme-li si středně velký potápěčský zvon, který má na souši objem 2000 litrů a ponoříme ho nejdříve do deseti a potom do dvaceti metrů. Původní objem vzduchu ve zvonu při normálním atmosférickém

tlaku 2000 litrů se v deseti metrech vlivem zvýšeného tlaku zmenší na 1000 litrů (tlak se z atmosférického tlaku 0,1 MPa zvýší v hloubce deseti metrů na 0,2MPa (0,1MPa atmosférického tlaku plus 0,1 MPa hydrostatického tlaku), což znamená dvounásobné navýšení a pakliže vezmeme v úvahu Boyleův Mariottův zákon, tak se nám také dvakrát musí zmenšit objem plynu a tím dostaneme našich 1000 litrů). Ponořením našeho zvonu o dalších deset hloubkových metrů, do teď už 20 m se okolní tlak zvýší na 0,3MPa. Použijeme-li opět Boyleův Mariottův zákon, tak počítáme, že tlak se zvětšil třikrát oproti původnímu tlaku na hladině a tudíž se původní objem musí zmenšit také třikrát (tudíž na cca 667 litrů). Z tohoto jednoduchého příkladu nám plyne, že objem plynu se poměrově mění stále stejně, ale v absolutních hodnotách ne. V deseti metrech se změnil o polovinu z 2000 litrů na 1000 litrů tedy o 1000 litrů, ve dvaceti metrech se změnil na 667 litrů, tedy při poklesu opět o stejných deset metrů jako před tím o pouhých 333 litrů. Tuto velice důležitou skutečnost je nutné si velice dobře uvědomit, protože z toho plyne, že největší riziko z tohoto pohledu na potápěče číhá paradoxně v nejmenší hloubce!

Pomocí tohoto pravidla také můžeme určit teoretickou maximální hloubku ponoru na nádech. Teoretická maximální hloubka ponoru na nádech je omezena takovým okolním tlakem, který celkový objem potápěčových plic stlačí na jejich zbytkový objem. Zbytkový objem plic je zhruba jeden a půl litru vzduchu. Je to objem vzduchu, který nám zůstane v plicích po absolutním usilovném výdechu. Pakliže by došlo k dalšímu snižování objemu, teoreticky by mělo docházet k poškození plic. Například vezmeme-li si potápěče s vitální kapacitou 4,5 litru, tak jeho celkový objem plic je šest litrů, takže jeho celkový objem můžeme zmenšit čtyřikrát, abychom nepřekročili hranici 1,5 litru.

Tudíž můžeme navýšit okolní tlak také čtyřikrát a tedy maximální hloubka ponoru na nádech pro našeho potápěče je 30 metrů. Teoretickou hloubku bychom mohli zvýšit, navýšením vitální kapacity plic, v důsledku toho celkového objemu plic. Tyto teoretické limity v praxi nejsou úplně tak pravda (tento fyziologický mechanismus bude popsán dále). Příkladem jsou potápěči ve stylu free diving v kategorii no-limits, kde světový rekord drží Herbert Nitsch ze 14.6. 2007 s úctyhodnou hloubkou 214 m.

2.6. Archimédův zákon

Archimédův zákon říká:

„Těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno silou, která je rovna tíze kapaliny tělesem vytlačené.“

V praxi tento zákon pociťujeme na vlastní kůži dnes a denně. Na příklad, vlezeme li si do vody, cítíme jako bychom najednou vážili méně, ve skutečnosti se naše hmotnost nemění, pocit je vyvolán vztlakovou silou, která naše tělo nadlehčuje.

Při potápění je potápěčovou snahou tento zákon aktivně využívat a tím šetřit své síly. Proto když si chce usnadnit zanoření (vertikální pohyb dolu) musí zvýšit svou hmotnost při co nejmenším zvýšení objemu (vezme si zátěž s co největší hustotou materiálu, tím zvýší svou hmotnost, ale nebude vytlačovat mnoho vody, díky malému objemu, a tím poměr sil gravitačních a sil vztlakových bude přikloněn k síle gravitační a potápěč se pohybuje směrem do hloubky). Druhou možností jak využít tohoto zákona je snížit objem a tím snížit vztlakové síly – tento princip využíváme u kompenzátoru vztlaku.

Opačně, chce-li potápěč směřovat k hladině musí snížit svou zátěž, například odhozením opasku (tento princip se využívá jen v krajní nouzi) nebo zvýšit svůj celkový objem

(nafouknutím vztlakového kompenzátoru). Pokud dojde k vyrovnání sil působících na potápěče ve směru od hladiny dolů (síla gravitační) a sil působících na potápěče ve směru k hladině (síla vztlaková), tak se potápěč ve vodě vznáší (bez aktivního pohybu neklesá ani nestoupá). Což je velice důležité nejen pro sportovní potápění, ale i pro pracovní potápěče, protože potápěč šetří síly a pohybem si nekalí vodu, což zvyšuje viditelnost potažmo pasivní bezpečnost, ale i intenzitu zážitku.

2.7. Zásady správného vyvážení potápěče

Základní pravidlo bylo řečeno již výše – zátěžový opasek odhazujeme pouze v nejnnutnějším případě (výstup k hladině se enormně zrychlí a může se stát nekontrolovatelný). Pro vyvažování používáme kompenzátor vztlaku – vestu nebo žaket. Jednoduše řečeno jedná se o prostor (pro představu vak – pytel) do kterého přidáváme nebo z něj upouštíme vzduch. Tím snadno měníme svůj celkový objem a v důsledku toho velikost vztlakové síly.

Při vyvažování musíme kompenzovat vztlak izolačního obleku („neoprénu“) a dýchacího přístroje, včetně všech jeho dutých částí. Plyn v zásobních nádobách má také svou hmotnost (dýchací směs je v tlakovém zásobníku stlačena, takže na relativně nízký objem máme nezanedbatelnou hmotnost). Vydýcháním plynu se tudíž snižuje hmotnost při zachovaném objemu a tudíž se snižuje celková hustota a v důsledku toho také rostou síly působící na potápěče ve směru k hladině. Vztlak způsobený těmito pomůckami kompenzujeme zátěžovým opaskem. Jak poznáme, že jsme správně vyváženi? Oblečení do všech pomůcek. se kterými se budeme potápět (především izolační oblek a dýchací přístroj) vlezeme do vody a na zátěžový opasek si přidáváme zátěž do té doby, než při nádechu ve vodě

budeme volně plovat na hladině a při výdechu volně klesat ke dnu. Dobré je si uvědomit, že v mořské vodě za jinak stejných podmínek budeme potřebovat o něco málo větší zátěž na opasku, protože mořská voda má větší hustotu a tím pádem bude působit větší vztlakovou silou.

Během sestupu dochází ke stlačování kompenzátoru vztlaku, bublinek v materiálu izolačního obleku, vzduchových kapes pod suchým oblekem a tím ke snížení vztlakových sil a rychlejšímu sestupu, proto je nutné do kompenzátoru vztlaku doplňovat plyn. Opačně je tomu při výstupu k hladině, kdy se objem výše zmíněných prostorů zvětšuje a tím zvyšuje vztlakové síly a urychluje vzestup k hladině, proto nesmíme zapomenout z kompenzátoru upouštět plyn. Důležité je si uvědomit, že tyto změny jsou mnohem výraznější v malých hloubkách (do deseti metrů). Proto je důležité (zvláště pro nezkušené potápěče) si velice dobře hlídat v těchto hloubkách svůj výstup a striktně dodržovat dekompresní doporučení.

2.8. Důsledek změny teploty na objem látek

Většina materiálů (látek) se vzrůstající teplotou zvětšuje svůj objem – jinak řečeno zmenšuje svou hustotu. S klesající teplotou se látka chová přesně opačně, tedy snižuje svůj objem. Voda tvoří výjimku, má jeden zlomový bod – 4 stupně Celsia, při této teplotě má největší hustotu – nejmenší objem a na obě strany (ve směru plus i minus) zvětšuje svůj objem. V přírodě tento efekt pozorujeme ve směru minus, když se podíváme na zamrzlou hladinu. Led má menší hustotu než teplejší voda pod ním a tudíž plave a tím umožňuje přežití živočichům žijícím pod hladinou. Opačně, když se voda ohřívá, tak máme teplé vrstvy na povrchu (směrem k hladině). Teplá voda má menší hustotu,

tudíž je vytlačována spodními studenějšími vrstvami, a tím vznikají teplotní vrstvy a teplotní zlomy (termoklinály).

Dobré je si uvědomit, praktický dopad tohoto jevu. Při větrném počasí, potápíme-li se na ostrově, tak máme jednu stranu ostrova, kde vítr fouká od moře směrem na pevninu (strana návětrná) a druhou stranu kde vítr fouká od ostrova směrem na moře (strana závětrná). Na straně návětrné bude vítr nafoukávat vrchní teplé vrstvy vody k pobřeží, tudíž bude voda teplejší (ovšem bude horší viditelnost). Opačná situace nastane na opačné straně ostrova, kde vítr proudící od ostrova na moře odfoukává teplé vrchní vrstvy vody směrem na moře, a tím se odhalují spodnější chladnější vrstvy (výhodou je lepší viditelnost).

Na moři je možné se setkat se zdánlivě paradoxní situací a to, že studené vrstvy vody se nacházejí nad teplými. Vysvětlení je velice jednoduché. Přitékající studená voda z řek, je sice chladnější než mořská voda, ale je sladká. Poměr vlivu teploty vody a toho že voda je sladká (tudíž má menší hustotu – vysvětleno výše) padá na stranu snížení hustoty a tudíž přitékající voda z řek je vytlačována slanou mořskou vodou.

2.9. Základní výpočty pro zásoby vzduchu

Pro potápěče je nezbytně nutné si umět alespoň zhruba vypočítat, na jakou dobu mu vystačí jeho zásoby vzduchu v jeho zásobních láhvích potápěčského přístroje. Nejjednodušší si bude tuto problematiku vysvětlit na názorném příkladu.

Potápěč si vezme deseti litrovou zásobní láhev ($V = 10 \text{ l}$). Do ní napustí vzduch do tlaku dvaceti megapascalů ($p = 20 \text{ MPa}$). Vzduch byl tedy stlačen z původního atmosférického tlaku ($b_0 = 0,1 \text{ MPa}$) na hodnotu $p = 20 \text{ MPa}$. Jinak řečeno byl stlačen dvěstěkrát. Což znamená, vypustíme-li ze zásobní láhve všechny

vzduch za normálního barometrického tlaku, získáme 2000 litrů vzduchu (200 krát 10 litrů vzduchu). Spotřeba kyslíku je závislá na mnoha faktorech, ale především na fyzické a psychické námaze organismu. Při středně velké zátěži (rekreační sportovní potápění) má průměrný člověk spotřebu vzduchu na hladině zhruba třicet litrů za minutu. Čas, na který nám vystačí zásoba vzduchu, vypočítáme velice jednoduše, vydělíme objem vzduchu, který získáme ze zásobníku, minutovou spotřebou organismu. Pro náš případ tedy dělíme objem 2000 litrů spotřebou 30 litrů a tím získáme čas, na který nám vydrží zásoba kyslíku a to 66,7 minuty. Sestoupíme-li pod vodu, spotřeba kyslíku se nezmění, ale musíme si uvědomit, že vzduch ze zásobníku vypouštíme do prostředí s větším tlakem. Z čehož plyne, že ze zásobníku nezískáme 2000 litrů vzduchu jako na hladině. Jsme-li deset metrů pod hladinou, tak okolní tlak je 0,2 MPa. Vypustíme-li zásobník do tohoto prostředí, získáme bublinu o velikosti 1000 litrů (tlak se nám zmenšil z 20 MPa na 0,2 MPa, tedy 100krát). A těchto 1000 litrů při stejné spotřebě nám vystačí na 33,3 minuty. Ponoříme-li se o dalších 10 metrů, tedy do hloubky 20 metrů získáme ze zásobníku třikrát menší objem vzduchu než na hladině tedy 666,7 litru (2000 děleno třemi), který nám při stejné spotřebě vydrží na 22,2 minuty (666,7 litru děleno spotřebou 30 litrů). Adekvátně při výpočtech postupujeme i u jiných hloubek.

Výše uvedené výpočty jsou pouze teoretické, protože nezahrnují rezervu vzduchu pro případ neočekávaných okolností. Podle náročnosti plánovaného ponoru si zvolíme zbytkový tlak, který po vynoření zůstane v tlakové nádobě. Pro jednoduché ponory (většina sportovních ponorů) postačí rezerva 3 – 5 MPa. V praxi to znamená, že od tlaku v zásobní nádobě odečteme příslušnou hodnotu rezervního tlaku a jinak při výpočtech

postupujeme stejně. Ted pro náš případ.: Od tlaku v zásobní láhvi 20 MPa odečteme 4 MPa rezervního tlaku. Získáme tlak 16 MPa, tedy při ponoru do deseti metrů nám zásoba vzduchu vydrží na 26,7 minuty (máme deseti litrovou láhev, ve které můžeme snížit tlak o 16 MPa, okolní tlak je 0,2 MPa, tedy z láhve získáme poloviční objem vzduchu než na hladině – 800 litrů, těchto 800 litrů dělíme spotřebou 30 litrů a získáme našich 26,7 minuty).

2.10. Hmotnost zásoby vzduchu

Vzduch stlačený v zásobních lahvích má také svou hmotnost, která se během ponoru spotřebováváním mění. Pro stanovení hmotnosti zásoby vzduchu vycházíme z jednoduchého principu. Hustota vzduchu za normálního atmosférického tlaku činí zhruba $1,25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Vezmeme-li si naši zásobní láhev z předchozího příkladu o objemu deseti litrů natlakovanou na 20 MPa, tedy po vypuštění za normálního atmosférického tlaku získáme 2000 litrů vzduchu, který bude vážit 2,5 kilogramu.

2.11. Složení vzduchu a parciální tlaky plynů v něm obsažené

Vzduch, který dýcháme a dáváme do zásobních láhví je směsí plynů. Největší zastoupení má dusík N_2 – 78%, druhé místo zaujímá kyslík O_2 – 21%, ostatní plyny mají nepatrné zastoupení. Zbývající procento zahrnují vodní páry, vzácné plyny (Ar, Ne..) a oxid uhličitý CO_2 – 0,03%.

Působení jednotlivých plynů ve směsi závisí na jejich parciálních tlacích. Parciální tlak plynu ve směsi je dán jeho objemovým podílem a celkovým tlakem směsi. Platí, že se na celkovém objemovém tlaku směsi podílí takovou měrou, jakou je jeho objemový podíl ve směsi. Parciální tlak kyslíku při

normálním atmosférickém tlaku ($b_0 = 0,1 \text{ MPa}$) bude při objemovém podílu 21% roven 21 kPa. Obdobně tomu bude i u dalších složek (pro dusík 78 kPa). Musíme si ovšem uvědomit, že pokud se ponořím, tak se zvýší celkový tlak a tím pádem i parciální tlaky. Například ponořme-li se do 20 metrů, celkový tlak vzroste na 0,3 MPa, ovšem objemové podíly se nemění a tudíž parciální tlak kyslíku vzrostl na 63 kPa a dusíku na 234 kPa.

Parciální tlaky jsou pro potápěčskou praxi velice důležité, neboť například parciální tlak kyslíku v dýchací směsi by neměl klesnout pod hodnotu 16 kPa a parciální tlak oxidu uhličitého v dýchací směsi by neměl stoupnout nad 1,5 kPa. Další důležitá skutečnost je, že množství dusíku rozpouštějícího se ve tkáních potápěče při potápění je přímo úměrné jeho parciálnímu tlaku v dýchací směsi.

2.12. Rozpouštění plynů v kapalinách

Množství plynu rozpuštěného v kapalině je přímo úměrné jeho parciálnímu tlaku nad kapalinou. Kolikrát se zvětší parciální tlak nad kapalinou, tolikrát se zvětší množství plynu oproti množství původnímu.

Nejlépe tuto problematiku pochopíme na příkladu z každodenního života. Během výroby limonád s bublinkami se nad limonádou vytvoří atmosféra s oxidem uhličitým a zvýšeným tlakem, tím se limonáda pod touto atmosférou zvýšeně nasytí (saturuje) CO_2 . Pak si my limonádu otevřeme, tím se nad limonádou prudce sníží tlak a z limonády se začnou uvolňovat bublinky CO_2 . Kdybychom tlak nad limonádou snižovali postupně, tak se limonáda desaturuje pomalu a CO_2 se neuvolňuje ve formě bublinek, ale postupně se rozpouští do atmosféry nad limonádou.

Podobná situace nastává při potápění i v lidském organismu. Při sestupu do hlubin, dýcháme plyn pod stále větším tlakem a tedy i pod zvýšeným parciálním tlakem dusíku, což má za následek větší přestup dusíku přes alveolokapilární membránu a větší sycení krve tímto plynem. Což do určité míry nečiní větší problémy. Problém nastává při vynořování a tedy snižování parciálního tlaku dusíku v alveolech. Je to stejný problém, jako když si rychle otevřeme sycenou limonádu. Pakliže nedodržíme doporučenou rychlost výstupu, dusík se nestihne desaturovat a uvolňuje se do krve v podobě malých bublinek. (tato problematika je velice důležitá a proto se jí podrobněji budeme věnovat v dalších kapitolách). Organismus není složen jen z jedné tkáně a dusík se v různých tkáních rozpouští jinak rychle, například v mozku celkem rychle, v kosterním svalu pomaleji a relativně velice pomalu se dusík rozpouští v chrupavce. Z tohoto důvodu, i když dodržíme desaturační limity, tak po potápění máme rozpuštěno větší množství dusíku ve tkáních než před potápěním, což samo o sobě nečiní potíže, pokud dodržíme určitá pravidla. Především se musíme vyvarovat pobytu v prostorách se sníženým atmosférickým tlakem (vyšší nadmořské výšky, ale také je nutno se vyvarovat letům letadlem po potápění – v letadle jsou sice kabiny, kde je udržován vyšší tlak než v okolí letadla, ale stejně je nižší než normální atmosférický tlak u hladiny moře) a zvýšené tělesné námaze.

2.13. Vidění pod vodou

Vidění pod vodou se značně liší od vidění na souši. Což je dáno jednak sníženým osvětlením a jednak dalšími fyzikálními jevy. Musíme si uvědomit, že světlo se ve vodním prostředí šíří menší rychlostí než ve vzduchu, což nejsme našimi smysly schopni zaregistrovat. Ovšem jsme schopni zaznamenat lom

světla na rozhraní prostředí. Světlo se ve vodě šíří nižší rychlostí než ve vzduchu a to zhruba 1,33 krát. Při přechodu světla z prostředí, kde se světlo šíří rychleji (vzduch), do prostředí, kde se šíří světlo nižší rychlostí (voda), se paprsek láme ke kolmici (kolmice na rozhraní prostředí). Opačně paprsek procházející z vody do vzduchu se láme od kolmice.

Snížené množství světla je dáno mnoha činiteli. Hned na rozhraní světla ze vzduchu do vody se část paprsků odrazí. Světlo se ve vodě pohlcuje mnohem více než ve vzduchu a také dochází k rozptylu světla. Dobré je si také uvědomit, že lidské oko se na šero adaptuje 5 -10 minut (ovšem k úplné adaptaci dochází až po 20 minutách) než je schopné rozlišovat detaily. Opačná adaptace na z šera na světlo probíhá mnohem rychleji.

2.14. *Slyšení pod vodou*

Zvuk se pod vodou šíří rychleji než na vzduchu. Není ovšem přenášen na zvukový orgán klasickou cestou přes zevní zvukovod, bubínek a převodní systém středního ucha, ale především přes lebeční kosti. Na souši jsme schopni využívat Dopplerova jevu (Dopplerův jev popisuje změnu frekvence a vlnové délky přijímaného oproti vysílanému signálu, způsobenou nenulovou vzájemnou rychlostí vysílače a přijímače.), který nám umožňuje určovat směr, odkud přichází daný zvuk. Tento jev ovšem nejsme schopni využívat při kostním vedení. Což v praxi znamená, že nejsme schopni pod vodou přesně určit, odkud se na nás blíží nebezpečí. Jediné co jsme schopni vnímat pomocí sluchového orgánu je, jestli se nebezpečí blíží nebo vzdaluje a to pomocí intenzity zvuku.

2.15. Přenos tepla

Voda má odlišné fyzikální vlastnosti než vzduch. Především má daleko větší měrnou tepelnou kapacitu c (vzduch má $c = 1\,003\text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ a voda $c = 4\,180\text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$). Proto na ohřátí stejného množství vody potřebujeme daleko větší množství energie než pro ohřátí stejného množství vzduchu o stejnou změnu teploty. Další odlišností oproti vzduchu je daleko větší tepelná vodivost vody a to třicetkrát více. Což má za následek intenzivní odvod tepla z povrchu těla potápěče.

Tyto fyzikální vlastnosti vody, způsobují zrychlené snižování tělesné teploty potápěče. Tento problém se nejčastěji řeší izolačními obleky.

2.16. Shrnutí k části fyzika

Veškerá problematika, která bude rozebírána na následujících stranách, je pouhým logickým dopadem výše zmíněných fyzikálních zákonů. Proto je naprosto nezbytná její znalost, alespoň v minimálním rozsahu jak byla uvedena výše.

3. Nemoci související s potápěním a jejich prevence

3.1. Barotrauma

3.1.1. Barotrauma středního ucha a bubínku

Barotrauma středního ucha je nejčastěji se vyskytující nemocí související s potápěním. Jedná se o poškození vlivem rozdílného tlaku ve středouší a zevním zvukovodu. Při zanořování stoupá okolní tlak vody, která proniká do zevního zvukovodu a svým tlakem působí na tympanus. Pokud se tlak ve středoušní

dutině vyrovná s tlakem na druhé straně tympanu dochází k jeho invaginaci ve směru působící tlakové síly (do středouší). Při malých tlakových rozdílech dochází k pohmoždění tympanu, sluchových kůstek a k otoku epitelové výstelky středoušní dutiny. Při větším tlakovém gradientu dochází ke krvácení z výstelky stěn středouší. Při limitním gradientu v určitém momentu dojde k laceraci tympanu a zalití středoušní dutiny okolní vodou. Klinickými projevy těchto dějů je postupné zhoršení sluchu, pocit plnosti v uchu, při zhoršování intenzivní bodavá bolest, která náhle odezní při perforaci tympanu, ale také krvácení z ucha. Protržení bubínku samo o sobě nepředstavuje tak akutní problém. Větším problémem je voda, která vnikla do středoušní dutiny. Ta je totiž povětšinou chladná a irituje statické orgány ve vnitřním uchu, což vede k dezorientaci a závratím, dokud se teplota vody nevyrovná s teplotou vnitřního ucha. Druhý problém představuje vniknutá voda možností zavlečení infekce. K invaginaci a následné perforaci bubínku na opačnou stranu (tedy směrem do zevního zvukovodu) může dojít v případě, že potápěč použije kuklu, která vytvoří vzduchovou kapsu mezi okolním prostorem (vodou) a tympanem. Ve vzduchové kapse je nižší tlak než ve středním uchu, kde se zvětšuje tlak vyrovnáváním přes Eustachovu trubici, a tím dochází k vytvoření tlakového gradientu na rozhraní, které tvoří bubínek. Druhý případ je méně častý a dá se mu snadno vyhnout zaplavením dutiny pod kuklou (například jejím nadzvednutím nebo vytvořením otvoru v ní).

První pomoc při perforaci spočívá ve sterilním krytí ucha. Každé takto postižené ucho by mělo být prohlédnuto a případně ošetřeno otorinolaryngologem. Nikdy by si postižený neměl sám do ucha aplikovat jakékoli prostředky. Měl by se také pokud

možno vyvarovat kašle a smrkání, které mění tlak ve středním uchu a mohli by vést k dalšímu poškozování.

Je tedy nesmírně nutné vyrovnávat tlakový gradient, který se vytváří na rozhraní bubínku. Tlak ve středouší se dá vyrovnávat různými technikami přes Eustachovu trubici, která tvoří přirozenou komunikaci mezi středním uchem a nosohltanem. Pro techniky, které budou dále popsány, je tedy nezbytně nutné, aby byla Eustachova trubice dobře průchodná. Nejčastější příčinou její neprůchodnosti je otok její výstelky, který je nejčastěji zaviněn infekčním zánětem. Z čehož vyplývá, že potápěč s infekcí v oblasti ucha a horních cest dýchacích by se neměl potápět.

Metody vyrovnávání tlaku:

Nejjednoduššími metodami jsou zívání, polykání, stisknutí čelistí a naklonění hlavy. Tyto techniky ovšem při potápění nejsou vždy účinné a proto by každý potápěč měl znát další. A to platí především pro začínající potápěče.

Valsávův manévr byl pojmenován po Antoniu Valsavovi, který tento manévr popsal v 17. století. Je to asi nejvíce intuitivní metoda. Provedení je velice jednoduché, ucpeme si obě nosní dírky, zavřeme ústa a snažíme se vydechnout a tím tlačíme vzduch pře Eustachovu trubici do středního ucha. Tímto manévrem můžeme zvýšit tlak šestkrát až desetkrát. Tato technika s sebou přináší také určité nevýhody. Při prodlouženém manévru dochází ke stagnaci venózní krve ve tkáních v okolí Eustachovy trubice a ke sníženému venóznímu návratu do pravého srdce a tím ke snižování krevního tlaku.

Herman Frenzel učil piloty bombardérů Luftwaffe, jak vyrovnávat tlak ve středouší. Piloti zažívali podobné tlakové změny, jako zažívají potápěči pod hladinou. Manévr spočívá v uzavření hlasivkových vazů, uzavření nosních dutin a zvednutí

zadní třetiny jazyka. Stejně jako když tlačíme na stoličici nebo když zvedáme těžké těleso.

Joseph Toynbee v osmnáctém století zjistil, že tlak lze vyrovnat, když si ucpe nos a polkneme, tím dojde k otevření Eustachovy trubice a k vyrovnání tlaků, na obou jejích koncích. Začátečníci s touto technikou mívají problémy, kvůli suchému vzduchu v dýchané směsi. Tento manévr není vhodný pro rychlé sestupy, protože k vyrovnání tlaků nemusí dojít hned na první pokus.

V padesátých letech Francouzské námořnictvo vymyslelo techniku, kterou nazvalo „volní otevření Eustachovy trubice“. Tato technika je velice náročná pro pochopení a samotné provedení. Musíme zatnout svaly měkkého patra a tím svaly hrtanu stahují ústí Eustachovy trubice a tím jí otvírají. Tento jev je podobný, tomu co se stane na konci zívání a také situaci, která nastane při hýbání (stříhání) ušima.

Noel Roydhouse Novozélandský lékař popisuje podobnou techniku jako je technika předchozí. Nejdříve se naučíme před zrcadlem zvedat uvulu a v druhé části se naučíme stejný manévr jazykem, jako když děláme prstýnky z kouře. Když tyto dvě věci spojíme, tak dojde k otevření Eustachovi trubice a k vyrovnání tlaků.

Carl Edmonds pro zefektivnění otevření Eustachovy trubice doporučuje spojit Valsávuův manévr a Ferenzelův manévr.

Jiní autoři doporučují pro zefektivnění vyrovnávání tlaku ve středouší kombinovat předešlé techniky.

Technika, kterou využívají potápěči při potápění na nádech ve velkých hloubkách, má svá velká úskalí, ale často je jedinou možností pro vyrovnání tlaků. Technika spočívá v zaplavení středoušní dutiny mořskou vodou. Tím máme na každé straně tympanu nestlačitelnou tekutinu a nedochází k invaginaci

bubínku. Tuto techniku je důležité používat jen ve velkých hloubkách (zhruba od hloubky sta metrů), kde je již většinou čistá voda a nehrozí zavlečení infekčních patogenů do středouší, jako v malých hloubkách.

3.1.2. Barotrauma plic a hrudní dutiny

Barotrauma plic je poškození plicní tkáně v důsledku přetlaku nebo podtlaku. Pro jednoduchost si představme plíce jako soustavu nafukovacích balónků, které se během dýchání rytmicky rozpínají a kontrahují a různě silných trubek, které jsou napojeny na balónky a společnou trubkou komunikují s okolním prostředím. Během potápění s dýchacím přístrojem potápěč při sestupu postupně dýchá vzduch pod větším tlakem, tudíž vzduch s větší hustotou. Vezmeme si na příklad potápěče, který se potopí do deseti metrů, kde se maximálně nadechne. V plicích má například šest litrů vzduchu (1,5 litru reziduální volum plus 4,5 litru vitální kapacita), který je v plicích pod stejným tlakem jako je tlak okolí, což je v deseti metrech pod hladinou tlak 0,2 MPa. Pokud potápěč během výstupu nevydechne žádný vzduch, v jeho plicích zůstává 6 litrů vzduchu ovšem také pod tlakem 0,2 MPa. V okolním prostředí však dvounásobně klesl tlak, tedy na 0,1 MPa. Což znamená, že v plicích je přetlak, který působí tlakovou silou na alveolokapilární membránu, kterou může zhmoždit a při překročení pevnosti membrány k její ruptuře. Klinicky se tento stav projevuje bolestí na hrudi, dušností a na základě toho vznikající obavou, strachem a panikou. Prevence tohoto poranění je velice jednoduchá, musíme, úměrně snižujícímu tlaku okolí, vypouštět vzduch z dýchacího systému. Jinak řečeno během výstupu k hladině musíme vydechovat. A z toho plyne jedno z nejdůležitějších pravidel potápění.: „Nikdy při výstupu nezadržujeme vzduch v plicích!“ Toto pravidlo platí pro

potápěče, kteří využívají dýchacího přístroje. Opačné pravidlo platí při potápění na nádech.: „Vzduch vydechujeme, až po vynoření na hladinu!“

Barotrauma plic z podtlaku by se teoreticky mělo vyskytnout při potopení na nádech. Do plic není přidáván volum a tudíž se plíce naplněné plynem kontrahují, až do doby kdy v nich zůstane vzduch o něco málo menší, než je reziduální objem plic – 1,5 litru, po té v plicích vzniká oproti okolnímu prostředí podtlak, který ničí membrány úplně stejně jako je tomu při přetlaku. V plicích ovšem dochází k přestupu krevní plazmy přes alveolokapilární membránu a zbytkový objem plic se tudíž naplní tekutinou, která je nestlačitelná, a tak nedochází k poškození membrán.

Při ruptuře alveolů proniká vzduch do okolních struktur, což způsobuje další komplikace. Bublinky vzduchu mohou pronikat do cév plicního řečiště, ze kterého jsou unášeny plicními žilami do levého srdce a dále mohou embolizovat do systémového řečiště. První odbočkou ze systémového řečiště jsou koronární cévy. Při zanesení vzduchu do jejich povodí dochází k infarktu myokardu. Se stejnou klinickou symptomatologií a následky jako u IM z jiných příčin. Dalším postiženým orgánem, který bývá často postižen vzduchovou embolií, je mozek. Opět se stejnou symptomatologií a následky jako při ischemickém iktu. K embolizaci do dalších orgánů dochází méně často a jejich symptomatologie je obdobná jako při embolizaci z jiných příčin. Zajímavá je paradoxní embolizace do plicního řečiště, která může vzniknout prostupem bublinek přes foramen ovale apertum nebo po přestupu vzduchu do žilního řečiště z retroperitoneálního prostoru.

Další možností kam se vzduch může dostávat je pohrudniční dutina, tedy prostor mezi viscerální a parietální

pleurou. Tato situace se nazývá pneumothorax. Postižené plicní křídlo se svou elasticitou smršťuje směrem k plicnímu hilu a tím je vyřazeno ze své funkce. Klinicky se pneumotorax projeví dušností, bolestí na hrudi nad příslušným plicním křídlem, kompenzační tachypnoí, cyanózou pokožky a sliznic, zvýšenou náplní krčních žil a poslechově nalézáme ticho nad postiženou plící. Vzduch během výstupu vlivem snižování okolního tlaku zvětšuje svůj objem a tím dochází k útlaku okolních struktur. Nejzávažnější je útlak mediastina a následný posun mediastina. V důsledku toho dochází k rychlému zhoršování symptomů, a pokud stav není urgentně řešen, tak končí infaustně. První pomocí je vytvořit komunikaci mezi pohrudniční dutinou, ve které je přetlak a okolním prostředím. Nejjednodušší provedení je, že vezmeme silnou jehlu, kterou pícheme do pohrudniční dutiny u horního okraje spodního žebra, tam kde máme poslechové ztišení a pokleповě máme hypersonorní poklep. Kontraindikací při pneumothoraxu je použití barokomory. Pokud je její použití nevyhnutelné, musíme nejdřív alespoň zajistit snížení tlaku v pohrudniční dutině a zamezit, aby se tlak opět zvětšoval.

Další prostory kam se může plyn dostávat je mediastinum – vzniká pneumomediastinum, perikardialní dutina – vzniká pneumoperikard, retroperitoneum, retrofaryngeální prostor, epidurální prostor, ale také může proniknout do podkoží, čímž vzniká podkožní emfyzém.

3.1.3. Barotrauma vnitřního ucha

Je poměrně vzácné a dochází k němu při usilovném a nešetrném vyrovnávání tlaku ve středouší. Zvýšený tlak se přenáší na tkáně uložené ve vnitřním uchu a tím dochází k jejich

poškození. Což se projevuje zhoršeným sluchem, tinitem a závratěmi. Prevencí je šetrné vyrovnávání tlaků.

3.1.4. Barotrauma paranazálních dutin

Za normálních okolností u zdravého člověka jsou průchody do vedlejších dutin nosních dostatečně široké, aby se přes ně mohl vyrovnávat tlak s okolím. Ovšem při zánětech sliznice a jejich otocích z jiných důvodů, se prostupnost snižuje, až dochází k úplné obstrukci. Obstrukce může být i ze špatných anatomických poměrů nebo obstrukce způsobená tumorem. Za těchto podmínek, kdy se tlak nemůže volně vyrovnávat, dochází při sestupu k relativnímu podtlaku v paranazálních dutinách, při výstupu opačně k relativnímu přetlaku. Vlivem tlakových sil dochází k poškození sliznice v dutinách. Což je provázeno jejich otokem a tím, k ještě většímu zhoršení průchodnosti. Při větším tlakovém působení může dojít ke krvácení.

Prevence je velice jednoduchá, nepotápět se, když máme sníženou průchodnost do paranazálních dutin (nejčastěji infekce horních cest dýchacích). Nutné je se vyvarovat použití léků s dekongescenčním účinkem, které nám sice krásně zprůchodní průchody do dutin, ale jejich účinek je relativně krátkodobý a tudíž při delším pobytu pod hladinou dojde k obstrukci a poškození sliznice ze vzniklého přetlaku. Při opakovaných problémech je dobré pomýšlet na anatomické změny, které se dají v současné době většinou velice elegantně řešit endonazální chirurgií.

3.1.5. Barotrauma zažívacího traktu

K barotraumatu zažívacího traktu může dojít ve dvou případech. Za prvé, když se potápěč napolyká během ponoru vzduchu do horních částí trávicí trubice. Musíme si uvědomit, že

vzduch byl spolýkán v prostředí s větším tlakem, tudíž má větší hustotu a při vynořování se rozpíná. Může tudíž dojít pod vlivem zvýšeného tlaku k ruptuře stěny trávicí trubice (nejčastěji žaludeční stěny) a vylití jejího obsahu do příslušných dutin (u žaludku do dutiny peritoneální a k jejímu následnému dráždění). Prevence je, řekl bych, intuitivně jasná – během ponoru se snažíme napolykat co nejméně vzduchu a při případném pocitu plnosti si přebytečný vzduch odříhneme. Toto poškození se vyskytuje zřídka, nejčastěji u potápěčů, kteří podlehnou panice, napolykají při ponoru vzduch a ještě k tomu se rychle vynoří.

V druhém případě dochází k barotraumatu dolních částí zažívacího traktu – střev. Plyn ve střevech je převážně produkován bakteriální flórou při trávicích procesech. Některé potraviny vedou ke zvýšené produkci plynu. Jsou to především luštěniny. Pakliže potápěč tyto potraviny pozře v bezprostřední době před ponorem, tak hrozí zvýšená produkce plynu během ponoru, který je ve střevech pod zvýšeným tlakem a během výstupu dochází k jeho rozpínání a možné ruptuře stěny střevní. Prevence je opět intuitivní – vyvarovat se požití luštěnin před ponorem a nebránit se úniku plynů z konečníku během výstupu.

3.1.6. Barotrauma očí a ostatních částí obličeje pod maskou

Mezi potápěčskou maskou a částí obličeje jí krytou je dutina vyplněná vzduchem. Při ponoru vlivem zvyšujícího se okolního tlaku dochází k podtlaku pod maskou (vzduch pod maskou je stlačován a tudíž zmenšuje svůj objem). Podtlak způsobuje stagnaci krve ve tkáních pod maskou a tím dochází k jejich otoku, při zvyšování tlakového gradientu dochází ke vzniku krevních výronů a to především v očních spojivkách. Může ale také dojít k protruzi očních bulbů a hrozí krvácení do sítnice. Z

důvodu vzniku podtlaku musí potápěč do masky přifukovat během ponoru vzduch, čímž zamezí jeho vzniku. Nesmějí se proto při potápění používat masky, do kterých není možné přifukovat vzduch (například plavecké brýle). Proto se při potápění na nádech používají masky s malým objemem a při ponorech do extrémních hloubek se masky nepoužívají vůbec.

3.1.7. Barotrauma zubu

K barotraumatu zubu může dojít, po špatně provedené sanaci zubního kazu ve smyslu vytvoření dutiny pod výplní. Tato dutina pokud nemá komunikaci s orální dutinou, tak se chová při změně tlaku jako každá jiná dutina – je v ní při ponoru podtlak a při výstupu přetlak. Pokud se tato dutina nachází ve vitálním zubu, může podtlak/přetlak dráždit nervová zakončení, která jsou umístěna v zubní pulpě a tím vyvolávat bolest. Prevencí je správná sanace zubu.

3.1.8. Barotrauma kůže vzniklé v souvislosti s používáním potápěčského obleku

Mezi kůží potápěče a izolačním oblekem se v oblasti záhybů kůže vytvářejí vzduchové kapsy. Pakliže z nich vzduch nemůže unikat/není přidáván vzniká v nich podtlak/přetlak, který způsobuje krevní výrony v pokožce. Tato komplikace je nepříjemná, ale ne život ohrožující. Problému se můžeme vyvarovat vymačkáním co nejvíce bublin nebo jejich evakuací během ponoru.

3.1.9. Barotrauma způsobené poklesem tlaku v potápěčské přilbě

V minulosti se používaly přilby, které kryly hlavu, krk a ramena, byl do nich přiváděn z povrchu hadicí vzduch. Došlo-li k prasknutí hadice v jejím průběhu nad hladinou, tak se okamžitě v přilbě vyrovnal tlak s tlakem atmosférickým na hladině. V přilbě tudíž vzniknul podtlak a hydrostatický tlak okolní vody potápěčovo tělo vtlačil do přilby, což potápěče rozdrtilo a potápěč ihned zemřel. V dnešní době se na helmy, do kterých se přivádí vzduch z povrchu, přidává kompenzační ventil, který při nehodě ihned vyrovnává tlakový gradient.

3.2. Otravy

3.2.1. Otrava oxidem uhličitým

Oxid uhličitý CO_2 má v běžně vdechovaném vzduchu, za normálního atmosférického tlaku, parciální tlak 0,03 kPa. V alveolární směsi má parciální tlak 5,3 kPa a ve vydechované směsi 3,9 kPa. Navýšení parciálního tlaku je dáno produkcí CO_2 během metabolických pochodů, tedy čím je metabolismus větší (nejvyšší nárůst je při fyzické – svalové zátěži), tak nárůst difference mezi parciálním tlakem CO_2 ve vdechované a vydechované směsi bude také vyšší. Hladina CO_2 v krvi je v normálních podmínkách dominantním stimulem pro regulaci dýchání. Nárůst obsahu CO_2 (hyperkapnie) v krvi způsobuje zrychlené a prohloubené dýchání a tím dochází k vydýchání CO_2 v plicích. Zvýšené množství CO_2 také zvyšuje aciditu krve (respirační acidóza) se všemi tomu známými důsledky.

Nejčastějšími příčinami hyperkapnie při potápění jsou: nedostatečná ventilace plic, provádění namáhavé činnosti pod vodou, špatná funkce přístroje s uzavřeným nebo polouzavřeným

okruhem (výdechový ventil v náustku nebo pohlcovač), mrtvé dýchací prostory způsobené výstrojí, znečištění směsi, nesprávné dýchání z plicní automatiky (zadržování dechu mezi nádechem a výdechem).

Důležité je znát příznaky hyperkapnie, které jsou nespecifické ale snadno rozpoznatelné. Postupný nárůst parciálního tlaku CO_2 v krvi se projevuje nejdříve kompenzační snahou a to, jak jsme zmínili výše, vydýcháním plícemi, tedy příznaky jsou zvýšená dechová frekvence a prohloubené dýchání. Při dalším nárůstu dochází k postupné alteraci vědomí, bolestem hlavy, zvýšení krevního tlaku, na vzduchu bychom mohli vidět teple opocenou pokožku, potápěč je otupělý a neschopný jasného myšlení. Na konec postižený upadá do bezvědomí a je postižen generalizovanými křečemi.

Léčba spočívá ve vytažení postiženého na hladinu a necháme mu dýchat kyslík, v případě nutnosti zahájíme řízenou ventilaci se zvýšeným parciálním tlakem kyslíku ve vdechované směsi. V případě křečí podáme antikonvulziva (Diazepam) a provedeme opatření, aby nedošlo během křečí k sebepoškození (pokousání...).

Prevencí je důsledné hluboké dýchání, zabránění prochlazení, snížení námahy pod vodou, pečlivá kontrola výstroje, minimalizace mrtvých prostorů v přístrojové technice (šnorchl), při potápění s dýchacím přístrojem nezadržujeme dech. Přísně je zakázáno vyjímát automatiku z úst v neznamých uzavřených prostorách pod hladinou (zvony, jeskyně).

3.2.2. Otrava oxidem uhelnatým

Otrava oxidem uhelnatým CO může při potápění nastat pouze znečištěním dýchací směsi. Ke znečištění může dojít, výfukovými plyny ze spalovacích motorů, kouřem vznikajícím při

kouření tabáku, při vstupu do kompresoru během plnění zásobních láhví. Druhou možností je znečištění ve válcích kompresoru při spalování nevhodného kompresorového oleje.

Největší problém oxidu uhelnatého je, že má více jak dvounásobně větší afinitu k hemoglobinu než má kyslík, tudíž již při malých koncentracích CO ve vdechované směsi dochází k enormnímu nárůstu saturace hemoglobinu (vzniká karboxylhemoglobin). A v důsledku toho je méně hemoglobinu, který může přenášet kyslík, a dochází k hypoxii. Již při parciálním tlaku oxidu uhelnatého 0,1 kPa ve vdechované směsi je vyvázáno 50% hemoglobinu a parciální tlak 0,2 kPa je bez promptně zahájené terapie infaustní.

Příznaky jsou dost podobné hypoxii, což je logické, když si uvědomíme, že postižený má hypoxii. Hlavními příznaky jsou bolesti hlavy, závratě, nevolnost, zvracení, tachykardie, hypoventilace, ospalost, nepřesná koordinace pohybů, otupělost, abulie a velice specifické je třesně červené zbarvení nehtových lůžek, sliznic a rtů. Při zvyšování koncentrace karboxylhemoglobinu postižený upadá do bezvědomí a při koncentracích nad 60% nastává smrt.

Léčba spočívá ve vytažení potápěče na hladinu a v promptním zahájení řízené ventilace se zvýšeným parciálním tlakem kyslíku až na 200 kPa. Následky otravy CO jsou poškození CNS (například demence).

Prevencí je správná instalace kompresoru a používání vhodných olejů. Nutné je dbát na to, aby sání kompresoru bylo mnohem výše než výfuk motoru a hlavně proti větru od výfuku. Během plnění je přísně zakázáno kouřit (další důvod je riziko výbuchu).

3.2.3. Toxicita kyslíku

Kyslík O₂ je pro lidský život nezbytný, především se uplatňuje při přeměně živin na energii během metabolických pochodů ve tkáních. Zároveň je-li ho moc nebo málo, tak se stává nebezpečný. Také ve formě kyslíkových radikálů je pro organizmus toxický.

Nedostatek kyslíku

Příčinami nedostatku kyslíku je jeho malá koncentrace v dýchací směsi, překážka na jeho cestě do plic (nejrůznější onemocnění horních cest dýchacích), problémy při přenosu na alveolokapilární membráně, omezené schopnosti krve pro transport kyslíku, oběhové potíže a další. Příčiny mohou být stejné jako v ostatních odvětvích medicíny a pro to nemají cenu dále rozvádět.

Příznaky hypoxie se začínají projevovat při parciálním tlaku O₂ pod 16 kPa. Prvními příznaky jsou zívání, ospalost, otupělost nebo rozjařenost, nepřesná koordinace pohybů, větší pocit sebejistoty. Při další progresi tachykardie, hypoventilace, studeně opocená pokožka, centrální cyanóza, pokles krevního tlaku.

Léčba je intuitivně jasná, zvýšíme přívod kyslíku (tedy pokud je příčinou hypoxie jeho nedostatečný příjem, v ostatních případech provádíme další příslušná opatření).

Prevence spočívá v používání dýchacích lahví, které byly naplněny před méně než třemi měsíci. Kontrolujte funkci svých uzavřených a polouzavřených přístrojů. Pokud si mícháte dýchací směsi, kontrolujte obsah kyslíku a přepočítejte si minimální a maximální hloubku pro použití dané směsi.

Akutní forma hyperoxie

Jedná se o rychlou formu otravy kyslíkem při dýchání směsi s vysokým parciálním tlakem kyslíku. Postihuje především CNS, čemuž odpovídají i příznaky. Jiný název, pro toto onemocnění se používá Paul Bertův efekt.

Příznaky jsou záškuby drobného svalstva obličeje (především rtů), smyslové poruchy (například tunelové vidění), neklid, závratě, nauzea, zvracení, křeče v končetinách, které progredují v křeče generalizované, dochází k postupné alteraci vědomí až k bezvědomí.

Léčba spočívá v okamžitém snížení parciálního tlaku kyslíku v dýchací směsi (většinou postačí, když postiženého necháme dýchat atmosférický vzduch). Při křečích podáme antikonvulziva a vložíme něco měkkého mezi zuby, aby nedošlo k pokousání.

Prevenčí je dodržování horní hranice parciálního tlaku O₂ v použité dýchací směsi. Oficiální horní hranice parciálního tlaku kyslíku je 160 kPa, ačkoliv někteří jedinci v klidovém stavu tolerují i 200 kPa. Ponor se však nikdy neuskutečňuje v klidovém stavu. Naopak, někteří lidé jsou vůči kyslíku citlivější. Pro pracovní a technické potápění je rozumné nechat si lékařem udělat test kyslíkové tolerance. Některé léky tuto hranici ještě snižují. Například při užívání efedrinu (obsahují ho některé nosní kapky) hrozí akutní otrava kyslíkem již od hranice 120 kPa. Významnou roli hraje také hladina oxidu uhličitého v krvi. Vyšší obsah CO₂ v krvi přispívá k rychlejšímu nástupu akutní otravy O₂.

Pro zajímavost, limity US NAVY pro speciální operace jsou parciální tlak kyslíku 180 kPa pro ponory do 240 min a 250 kPa pro ponory do deseti minut. Úsměvný je historický limit Sovětské rudé armády 280 kPa, když vezmeme v úvahu, že při 300 kPa

nastává takřka jistě smrt. Tyto limity udávám jen pro ilustraci, ale v žádném případě se nesmějí zkoušet.

Chronická forma hyperoxie

Pomalá forma otravy postihuje především plíce. Jiný název, který se používá, je Lorrain Smithův efekt. Tento jev se v potápění rozšířil především s používáním Nitroxu. V medicíně se často objevuje u pacientů, kteří jsou dlouhodobě na oxigenoterapii se zvýšeným parciálním tlakem kyslíku. Dochází především k poškození alveolokapilární membráně. Alveolární hypoxie vede k vazokonstrikci v plicním řečišti a v důsledku toho ke sníženému průtoku v kapilárním řečišti, který způsobuje postižení pneumocitů, což následně vede ke zvýšené propustnosti a k plicnímu edému (nejprve intraalveolárního). Toto plicní postižení způsobuje hypoxémii a klinicky pocit dušnosti. Mezi další klinické příznaky patří sucho v krku, překrvený nosohltan, dráždění ke kašli.

Léčba musí začít snížením parciálního tlaku kyslíku nebo dýchání vzduchu (o normálním tlaku). Eventuelně lékař podá antibiotika a léky na podporu činnosti plic a srdce.

Prevenčí je dodržování dobře známých pravidel a limitů pro potápění se směsmi uvedených v Diving Manual NOAA.

Tato forma vyžaduje poměrně dlouhou expozici, minimálně jednodenní expozici kyslíku o minimální koncentraci 50 kPa. Otrava má kumulativní účinek. Podle metody Repex (Bill Hamilton) se míra otravy vyjadřuje v OTU (Oxygen Toxicity Unit) resp. UPTD (Unit Pulmonary Toxic Dose), je to jen jiné označení téhož, 1 OTU = 1 UPTD. Při dýchání čistého kyslíku za normálního tlaku na hladině (1 bar) je přírůstek 1 OTU za minutu. Pro parciální tlaky kyslíku 0.5 bar a větší platí vztah přírůstek OTU = $t * e^{0.83 * \ln((pO - 0.5) / 0.5)}$ (kde t je čas působení a pO je parciální tlak vdechovaného kyslíku).

Tabulka maximálních kyslíkových expozií

Tabulka maximálních kyslíkových expozií		
Den potápění	Maximální denní dávka [OTU]	Maximální celková dávka [OTU]
1	850	850
2	700	1400
3	620	1860
4	525	2100
5	460	2300
6	420	2520
7	380	2660
8	350	2800
9	310	2970
10	300	3100

3.2.4. Otrava inertními plyny

Inertní plyny jako neon, argon, krypton, hélium, ale také vodík a dusík působí při vyšším parciálním tlaku narkoticky až toxicky. Přesná podstata působení těchto plynů zůstává zatím neobjasněna. Největší toxicitu má dusík, proto se do dýchacích směsí, které se používají ve větších hloubkách, přidávají jiné inertní plyny a nepoužívá se jen stlačený vzduch.

V našich podmínkách se nevyskytují potápěčské lokality, ve kterých by bylo dosahováno takových hloubek, aby se používaly jiné směsi. Proto jedinou možnou otravou u nás je otrava dusíkem. Při dýchání stlačeného vzduchu začíná působení dusíku od hloubky 20 metrů (tedy tlaku 0,3 MPa). Potápěč ještě nepociťuje žádné subjektivní potíže, ale podle psychologických testů dochází ke snížení intelektových schopností a na EEG dochází ke zpomalení aktivity a objevují se vlny alfa. V hloubce

30 až 40 metrů si potápěč účinek dusíku začíná uvědomovat. S narůstajícím tlakem se účinky narkotického působení prohlubují, změny na EEG se zvětšují (objevují se vlny delta a theta), objevují se velké poruchy v koordinaci pohybů. V hloubce 100 metrů (tedy tlaku 1,1 MPa) nastává téměř u poloviny exponovaných bezvědomí. Senzitivita k působení dusíku je velice individuální a tudíž u některých jedinců nastává bezvědomí již při daleko nižších tlacích a u někoho může nastat třeba až při 1,4 MPa. Z těchto důvodů se nedoporučuje používat stlačený vzduch pro ponory do hloubky větší než šedesát metrů.

Z inertních plynů má nejnižší narkotický účinek hélium, o něco větší neon, ještě více vodík. Argon má zhruba stejné účinky jako dusík. Xenon a krypton je poněkud toxičtější než vodík. Pro ponory do hloubek pod 60 metrů se používají směsi s různým zastoupením hélia, ale i vodíku a neonu. Výhodou používání těchto plynů ve velkých tlacích je kromě snížení toxicity směsi i skutečnost, že proudový odpor dýchacích cest je při jejich inhalaci významně menší, než by byl při inhalaci vzduchu. Při používání směsi hélia a kyslíku se při tlacích vyšších než 1,6 MPa objevují svalové záškuby, až neovladatelný svalový třes, porucha rovnováhy a koordinace pohybů, nauzea až samotné zvracení. Přesný mechanismus tohoto jevu zatím není objasněn. Přidává se tedy do směsi kyslíku a hélia dusík (nejčastěji s deseti procentním zastoupením, nazývaný „trimix“), který tomuto jevu zabrání. Neon a vodík se v potápěčské praxi z různých důvodů nepoužívají.

3.3. Dekompresní nemoc

Základem dekompresní nemoci je fyzikální princip rozpustnosti plynů v kapalinách v závislosti na tlaku a teplotě, které na ně působí. V sestupové fázi ponoru se zvyšuje okolní

tlak prostředí, který je přenášen stejnou měrou na vdechované plyny, které se přímo úměrně zvyšující hloubce rozpouští v kapalinách. Neboli zvýší-li se tlak působící na plyn nad kapalinou dvakrát, zvýší se i množství rozpuštěného plynu v kapalině také na dvounásobek. Z toho plyne, že největší saturace kapaliny (krve) plynem (dusíkem – nejvyšší procentuelní zastoupení ve vdechovaném stlačeném vzduchu) nastane během prvních deseti metrů pod hladinou, protože tlak se zvýší dvounásobně oproti tlaku na hladině. Při dalším sestupu již dochází k pomalejší saturaci krve dusíkem. Tento fakt by do určité hloubky sám o sobě nebyl až tak problematický. Problém nastává při výstupu na hladinu, kdy se dusík přesně obráceně se snižujícím tlakem uvolňuje z krve. Když se tlak snižuje dostatečně pomalu, tak se dusík uvolňuje v malých molekulách nebo mikrobublínkách, které nečiní pro organismus problém. Pokud ale výstup (snižování tlaku) není dostatečně pomalý, dusík se z krve uvolňuje ve formě větších bublin, které již zapříčiňují komplikace s příslušnou symptomatologií.

První popsal vznik bublin v roce 1670 Robert Boyle, který dělal pokusy se zmijí, kterou dával do vývěvy a pozoroval vznik bublin v jejím oku. Od té doby věda značně pokročila a už se o působení bublin na organismus ví přece jen o něco více. Při rychlé dekompresi (explozivní dekompresi) vznikají velké bubliny, které působí obstrukci příslušného kalibru cév a ve tkáních mají tlakový mechanický efekt. Ucpání cév způsobuje jednak ischemii příslušných tkání, které jsou cévou zásobeny a zadruhé se před překážkou zvyšuje tlak. Tím dochází k větší filtraci do tkáně a tím k edému v příslušné oblasti a také se zmenšuje krevní volem a krev se zahušťuje.

Na povrchu bublin se odehrávají nejrůznější fyzikálně-chemické děje. Dlouhé molekuly lipoproteinů přítomných v krvi

se otočí svojí hydrofobní částí směrem k plynu hydrofilní do okolní krve. Na stěně bubliny dojde k vytvoření lipoproteinové vrstvičky. Síly, které způsobují otočení molekul lipoproteinů, jsou tak velké, že dokáží molekuly roztrhnout. Zlomky molekul proteinů se shlukují, zvyšuje se viskozita krve, součástí shluků se stávají červené krvinky a ve výsledku dojde k mikroembolizaci. Při rozpadu bílých krvinek se uvolňuje vazoaktivní serotonin, který způsobuje vazokonstrikci. Tím dochází k ještě většímu sevření bublin a v důsledku toho k ještě většímu působení bublin na cévní stěnu. Což zapříčiňuje uvolňování koagulačních faktorů a následný vznik intraluminálních trombů, které způsobují další obstrukci.

Dekompresní nemoc má různé formy, podle toho kde výše zmíněné děje probíhají. V kůži se ucpávají drobné cévy, což způsobuje ischemii příslušné oblasti. Klinicky se projevuje hyperstezií nebo naopak hypostezií, paresteziemi, vznikem petéchií, některá místa pokožky jsou zarudlá a některá zase naopak bledá.

V kosterních svalech, kloubech a chrupavkách působí bubliny jednak přímo svou tlakovou silou a jednak způsobují ischemii obstrukcí zásobujících cév. Klinicky se dekompresní nemoc v těchto lokalitách projevuje úpornou bolestí, která nutí postiženého držet končetinu ve semiflektované poloze.

Plicní forma dekompresní nemoci je způsobena obstrukcí kapilár bublinami, tím dochází ke zmenšení plochy pro výměnu plynů, ale také ke vzniku nekapilární plicní hypertenze s následným pravostranným srdečním selháváním. Klinicky se postižení projevuje dušností a bolestí na hrudi, při větším rozsahu postižený upadá do bezvědomí a bez terapie zemírá.

Nervové poškození je jednak dáno mechanicky působením tlakových sil bublinek na mozkovou tkáň a jednak ischemií, která

je způsobena obstrukcí přívodných cév. Klinické projevy jsou velice pestré. Od výpadků funkcí kognitivních, přes parézy, plegie, až po nejrůznější parestezie. Jednoduše řečeno může dojít k postižení jakékoli mozkové funkce.

Postižení jiných orgánů není tak časté, ale také k němu čas od času dochází. Symptomatologie je stejná jako při ischemickém postižení z jiných příčin.

Diagnostika dekompresní nemoci se provádí nejdříve na základě klinické symptomatologie a na specializovaných pracovištích hlavně pomocí ultrazvuku s Dopplerovským módem. Tato paraklinická vyšetření jsou z mnoha důvodů nevhodná, dají se provádět pouze na specializovaných pracovištích, což vyžaduje transport postiženého, ale také z ekonomických důvodů. Dr. Michaela Bennetta z lékařské fakulty australské University of New South Wales provedl pokus, kdy postiženým potápěčům, u kterých byla jinými paraklinickými vyšetřeními diagnostikována dekompresní nemoc, odebral z oblasti pod spodním očním víčkem tekutinu, která lubrikuje oční kouli a zjistil, že se v ní nachází asi 20 až 30 bublinek. U nepostižených potápěčů v tekutině našel pouze jednu až tři bubliny. Tato metoda ovšem ještě nebyla plně přijata odbornou veřejností.

Dekompresní nemoc se léčí v dekompresní komoře, kde je postižený potápěč nejprve vystaven postupně se zvyšujícím tlaku. Po vymizení příznaků absolvuje v komoře řízenou dekompresi až na úroveň normálního atmosférického tlaku. Při nemožnosti využití dekompresní komory se potápěč za asistence potopí pod hladinu, kde je vystaven zvýšenému tlaku (tím vymizí příznaky) a po té zahájí pomalý výstup, tedy postupnou dekompresi.

Pro zmenšení pravděpodobnosti vzniku dekompresní nemoci se používají směsi, které obsahují menší množství

dusíku. Při „jo-jo“ ponorech (při vynořování a opětovném zanořování) nedochází ke zkracování dekompresních časů, jak předpokládali staré dekompresní modely, naopak i při dodržení dekompresních zastávek podle dekompresních tabulek nebo počítače může dojít ke vzniku dekompresní nemoci. Při vynoření v těle zůstávají drobné bublinky, které jsou sice asymptomatické, ale fungují jako zárodečné jádro pro vznik dalších bublin při opětovném ponoru.

Pro prevenci dekompresní nemoci je nutno dodržet několik zásad:

Dělat "hladké" ponory - neměnit často a zbytečně hloubku, zejména se vyvarovat plavání nahoru a dolu v malé hloubce po dokončené stupňovité dekomprese.

Udržovat dostatek tekutin v těle, doplnění tekutin by mělo být jednou z prvních činností potápěče po vynoření. Při dlouhých ponorech je nutno zajistit hydrataci i během ponoru. Po opuštění vody je velmi vhodným nápojem "dekompresní" pivo, neboť alkohol i v malém množství přispívá k dilataci cév, cukr pomůže rychle doplnit energii a voda doplní tekutiny. Ovšem nic se nesmí přehnat. Protože alkohol působí mimo jiné jako diuretikum.

Po vynoření udržovat tělo v klidu. Vyvarovat se jakémukoli zvýšení tělesné námahy, to může přivodit problémy. Poslední dekompresní zastávka je vždy na hladině, a tak se podle toho je také třeba chovat.

Vyvarovat se snížení okolního tlaku (především cesta letadlem a cesty do vyšších nadmořských výšek) nejméně 12 hodin od lehčích ponorů.

Nejméně 12 hodin po ponoru je zakázáno sprchování teplou vodou. Zvýšení teploty vede ke zvětšení objemu plynu a tedy k jeho rychlejší desaturaci z kapaliny a již vzniklé asymptomatické bubliny se rozpínají.

Dělat hloubkové bezpečnostní zastávky (deepstops) i při použití dekompresních postupů, které to přímo nevyžadují - což jsou všechny postupy založené na klasických algoritmech, včetně všech současných potápěčských počítačů určených pro rekreační potápění.

Po vynoření setrvat ještě několik minut na hladině. Při výstupu z vody dojde ke změnám v krevním tlaku v různých částech těla, což vyvolá přesuny krve a může vést k lokálnímu snížení tlaku v horních partiích těla až na takovou úroveň, která způsobí vznik bublin. Patrně nebyl ještě proveden žádný seriózní výzkum na toto téma, ale řada technických potápěčů tvrdí, že příznaky dekompresní choroby se zpravidla neprojeví ani při několikahodinové dekompresi, ale běžně už za 20 - 30 minut po vynoření.

Při použití potápěčského počítače dělat zastávky v trochu větší hloubce, než počítač předepisuje. Zejména se to týká ponorů, kdy je potřeba vykonat několik zastávek. Samozřejmě tím dojde k prodloužení celkové doby výstupu.

V případě postupu podle tabulek je zpravidla postup určen metodikou, která tabulky doprovází. Obvykle se bere o jeden řádek vyšší hloubka, než odpovídá skutečné hloubce.

3.4. Tonutí

Tonutí je provázeno akutním nedostatkem přívodu kyslíku za současného přerušení odvodu oxidu uhličitého. Příčinou je nezvládnutí situace pod hladinou nebo na hladině.

Tonutí lze rozdělit na vlhké a suché. Přibližně 80% tonutí je vlhkých. Tonoucí se v krizové situaci napolyká okolní vody a část z ní aspiruje. Další častá příčina tonutí je tonutí při plavání v prudkém dešti, kdy se zhruba v 30 centimetrové vrstvě nad hladinou vytvoří aerosol, který plavec nadýchá. Tonutí může

probíhat buď to ve sladké nebo slané vodě. Sladká voda se dostává snadno z plic do krevního oběhu a způsobuje hypervolémii, hyperkalemii, hemolýzu a intracelulární acidózu. Tím dochází k velkému metabolickému rozvratu a i v období po úspěšné resuscitaci je pacient ohrožen na životě, proto je nutné každého tonoucího pozorovat nejméně 48 hodin na jednotce intenzivní péče.

Suché tonutí je zapříčiněno podrážděním laryngu vodou a následným laryngospasmem, který uzavře dýchací cesty a tím dochází především k hypoxemii. Hypoxemií trpí jako první mozek, který je jako první poškozen a jeho poškození může vést až ke smrti. K suchému tonutí také může dojít bronchospasmem u astmatiků při plavání v chlоровané vodě.

Léčba při tonutí spočívá v promptním vytažení postiženého z vody a zahájení kardiopulmonální resuscitace. V KPR je důležité setrvat poměrně dlouhou dobu, obzvláště u podchlazených lidí, u kterých je možnost na záchranu života bez poškození mozkových funkcí i po značně dlouhé době. U tonutí ve sladké vodě je velice důležité dbát o udržení vnitřního prostředí organismu.

Prevence spočívá v dodržování pravidel potápění. Nikdy se nepotápíme sami. V krizových situacích se snažíme udržet klid a nezmatkovat. A v sekundární prevenci je nutná znalost všech potápěčů provedení kardiopulmonální resuscitace.

3.5. Podchlazení

Podchlazení je snížení teploty tělesného jádra pod 37 °C. Ve vodě dochází k daleko rychlejšímu ztrátám tepla než na vzduchu, což je především zapříčiněno daleko vyšší měrnou tepelnou kapacitou vody. Při snižování tělesné teploty se postupně začínají spouštět kompenzační mechanismy. Spustí se mimovolní chladový třes, kterým se tělo snaží vyprodukovat

teplo. Krev se postupně centralizuje, čímž se snaží udržet teplotu tělesného jádra (mozek a orgány uložené v hrudní a z části břišní dutině) na úkor tělesné periferie, kterou obchází. Při dalším snižování teploty se začínají objevovat srdeční arytmie, které mohou vyústit až v maligní arytmii komor (končící smrtí). Při určité teplotě postižený upadá do bezvědomí, ustává svalový třes, zvýšená tepová frekvence se snižuje a postupně přechází do bradykardie, zrychlené dýchání se zpomaluje, až přechází v bradypnoi. Souhrnně řečeno kompenzační mechanismy postupně selhávají.

Léčba je závislá na stupni podchlazení. Vždy musíme postiženého zbavit termické noxy, která ho podchlazuje. Při malém podchlazení postiženého zahříváme dekami, teplou sprchou (ne nad 40 °C), nutíme ho k pohybu. Při hlubším postižení podáváme ohřáté infúze, zamezíme pohybu, aby studená krev z periferie ještě více neochladila tělesné jádro. Při extrémním podchlazení pacienta napojíme na umělý krevní oběh a krev ohříváme extrakorporálně.

Prevence spočívá v používání vhodných izolačních obleků. Snažíme se zabránit ztrátě orientace v neznámých prostorech (zatopené jeskyně a při potápění pod ledem). Musíme kalkulovat s teplotou vody při plánování ponoru. Snažíme se zabránit ztrátám tělesného tepla v přípravné fázi na ponor.

3.6. Vyčerpání

Při potápění se vyskytuje akutní forma vyčerpání organismu. Při vyčerpání není postižený schopen v důsledku nedostatku energii další fyzické a psychické aktivity a je odkázán na pomoc jiné osoby.

Hlavními příčinami vyčerpání jsou: přecenění vlastních sil, zkušeností a schopností, podcenění rizikových okolností během

ponoru, špatné naplánování ponoru, potápění při psychické nebo fyzické alteraci (při nemoci).

Pomoc zahajujeme vytažením postiženého na hladinu. Poté většinou stačí uložení do klidové polohy na přiměřeně teplém místě, dostatečné rehydrataci a realimentaci. Pakliže se jedná o vyšší stupeň vyčerpání třeba i s bezvědomím, tak je nutná rehydratace a realimentace v intravenózní formě podání. V případě nutnosti podáváme další farmaka.

3.7. Infekční komplikace při potápění

Infekční patogeny obsažené ve vodě mohou napadnout lidský organismus cestou porušeného kožního krytu, při spolýkání vody a při vyrovnávání tlaku ve středouší technikou zaplavování (ohrožení jsou nezkušení potápěči na nádech, kteří tuto techniku použijí v malých hloubkách, kde je větší pravděpodobnost, že voda bude obsahovat patogeny, proto se doporučuje používat tuto techniku až od hloubek kolem sta metrů).

3.8. Poranění vodními živočichy

Poranění vodními živočichy není příliš časté a většinou nenabývá závažného charakteru. Poranění si můžeme rozdělit podle vyvolávající příčiny na poranění chemickými látkami, elektrickým proudem nebo poranění mechanického charakteru.

Nejméně časté je poranění elektrickým proudem, která mohou být způsobena rybami úhořovitými, sumcovitými nebo parejnoky. Také zřídka se vyskytuje napadení a pokousání žralokem, krokodýlem nebo jinými rybami.

Častěji se vyskytují poranění chemického rázu. Většinou se jedná o poranění nepříjemná ale málo kdy smrtelná.

Kmen Žahavci (Cnidaria) zahrnuje medusovce (Scyphozoa), korálnatce (Anthozoa) (kam patří sasanky a větevníci) a polypovce (Hydrozoa). Žahavé buňky (knidoblasty) jsou na povrchu polypů či na vláknech - medusy, sasanky. U medus musíme pamatovat na to, že vlákna mohou být dlouhá i několik metrů. Toxiny žahavců jsou látky uvolňující histamin-podobně jako u alergické reakce, který způsobí zarudnutí postiženého místa, pálení, bolest. Později puchýře, vzácně celkové příznaky - teploty, nevolnost, zvracení. U čtyřhranek jsou popisována úmrtí. Léčba spočívá v chlazení alkoholovým roztokem či vinným octem, pokud ulpěly části vláken na pokožce, tak posypat moukou či pudrem a odstranit. Nepoužívat vodu ani písek. Antihistaminika celkově a lokálně.

Kmen Měkkýši (Mollusca) zahrnuje Plže (Gastropoda), Mlže (Bivalvia) a Hlavonožce (Cephalopoda). Plži mají jedový aparát umístěn v jazykové pásce - radula. Nebezpečí pro potápěče spočívá v neznalosti a sevření plže v dlani. Může dojít k vystřelení raduly a poranění ruky. Toxin není specifikován, působí přímo na sval a způsobí paralýzu. Příznaky otravy jsou lokální: bolest a zarudnutí postiženého místa, ale i celkové: zvracení, teplota, průjem. Těžké otravy se projevují nekoordinovaností svalových pohybů, úmrtí je způsobeno zástavou dechu při obrně bránice. Léčba spočívá v podání analgetik, můžeme zkusit lokální aplikaci tepla.

Kumulace jedu v těle mlže závisí na oblasti a roční době. Otrava je způsobena pozřením. Toxin - mytilotoxin, způsobuje blokádu nervosvalové ploténky a tím obrnu. Příznaky jsou do 3 hodin po požití - nevolnost, křeče břicha, zvracení. Těžká otrava je spojena s rozvojem obrny, úmrtí je způsobeno zástavou dechu. Léčba spočívá ve výplachu žaludku a symptomatologické léčbě.

Hlavonožci mají jako jedový aparát žlázy v ústech. Toxin není specifikován. Kousnutí je nebolestivé, příznaky se dostávají postupně - sucho v ústech, anestezie rtů, nauzea. Závratě a ztráta koordinace pohybů. Ojediněle jsou popisována i úmrtí. Léčba je pouze symptomatická.

Kmen Ostnokožci (Echinodermata) zahrnuje Hvězdice (Asteroidea), Sumýše (Holothuroidea) a Ježovky (Echinoidea). S ježovkami se setkalo mnoho z nás, buď nešťastným šlápnutím či kontaktem při vylézání na břeh ve vlnách apod. Nebezpečím pro nás jsou ostny, které jsou ostré a křehké, snadno se lámou a zůstávají zabodnuty v kůži. Ostny jsou často duté a obsahují jedové žlázy. Poranění je velmi bolestivé, rána pálí, každý dotek bolest zvyšuje. Lokální příznaky jsou občas provázeny i příznaky celkovými - horečka, zvracení, průjem, které za pár dní odezní. Léčba spočívá v extrakci ostnu nejlépe pomocí injekční jehly a potření dezinfekčním prostředkem.

Kmen Strunatci (Chordata), Třída Ryby (Osteichthyes) mají jedový aparát umístěn v prvních ostnech hřbetní ploutve, taktéž v ploutvích skřelových a řitních. U ocasních trnů nebyl prokázán - zde je nebezpečí pouze mechanického poranění. Zranění je provázeno velkou lokální bolestí a rozvíjejícím se masívním otokem, obrnou končetin. Následují celkové příznaky jako horečka, zvracení, poruchy srdečního rytmu. Ojediněle popsána obrna dýchacích svalů a smrt. Léčba spočívá ve vypláchnutí rány, okamžitá aplikace tepla - nad 50 °C. Toxin je termolabilní protein, který se teplem rozkládá a tím je neúčinný. Lokální zdroj tepla - svíčka zapalovač, v nouzi je možno použít i cigaretu. Použití horké vody je problematictější. Z léků se používají velké dávky antihistaminik a kortikoidů.

Čeď Vodnářovití (Hydrophiidae) neboli mořští hadi - všechny druhy jsou jedovaté. Údaje o agresivitě se rozcházejí,

faktem je, že jejich zuby a tlama jsou velmi malé a tudíž riziko uštknutí se zmenší pouze na kousnutí do záhybu kůže, např. mezi palec a ukazováček na ruce. Toxin je myotoxický - způsobuje rozpad svalů. Léčba je pouze symptomatická.

Základní prevence spočívá ve znalosti fauny dané potápěčské lokality.

3.9. Mechanické poranění neživými předměty.

Mechanické poranění může nastat při kontaktu s loděmi a především lodními šrouby. Další možností je poranění o dno nebo pobřeží při velkých vlnách nebo proudech.

Prevencí je především důkladné označení místa ponoru signalizačními bójkami. Nikdy se nepotápíme v oblastech s rušnou lodní dopravou. Pokud možno se snažíme vyvarovat oblastem, kde hrozí náhlé zhoršení počasí a už vůbec se nepotápíme během špatného počasí (velké vlny). Léčba je stejná jako u zranění z jiných příčin.

4. Diskuze

Tato problematika je velice obsáhlá, ale točí se stále kolem jednoho problému a to tlaku. Veškerá problematika barotraumat, poranění živými i neživými objekty, tonutí, podchlazení je již celkem dobře popsána a při dodržování pravidel se jim dá celkem snadno vyvarovat.

Problém ovšem stále zůstává u rozpustnosti plynů v kapalinách (dekompresní nemoc). Máme sice k dispozici stále novější potápěčské přístroje, nové zdokonalené dekompresní tabulky, ale i přesto nám stále nikdo nezaručí, když těchto postupů budeme držet, tak nebudeme postiženi dekompresní nemocí. V této problematice je stále co objevovat a popisovat. Především je potřeba vytvořit lepší matematické modely, které by zahrnovaly více proměnných (hmotnost potápěče, procento tělesného tuku, hydrataci, stresový faktor, složení dýchané směsi, doby strávené při jednotlivých tlacích a další proměnné). Hudbu budoucnosti vidím v přístroji, který všechny tyto parametry bude zohledňovat, flexibilně na ně reagovat a výsledně bude udávat potápěči přesné dekompresní časy pro dané hloubky. Spíše do kategorie science fiction zatím patří flexibilní obleky, které neomezují mobilitu potápěče a zároveň ho chrání před okolním tlakem.

Vždycky ale bude kamenem úrazu lidský faktor, který nelze nikdy úplně eliminovat.

5. Závěr

Jak jsem již uvedl na začátku, tak vyplývá i z předešlého textu, že nejdůležitější pro pochopení problematiky je znalost základních principů fyziky. Poté stačí znát pár dalších zákonitostí a rizika při potápění se dají velice snížit. Poslední větou bych rád popřál všem, kdo se budou potápět hodně štěstí a mnoho krásných zážitků v modrých hlubinách.

Souhrn

Nemoci při potápění jsou zapříčiněny ponejvíce změnami okolního tlaku. Kapaliny, jelikož jsou za těchto podmínek nestlačitelné, nečiní v organismu problémy. Kauzální problém tvoří plyny a prostory, které jsou plyny vyplněné. Plyny, jelikož mění svůj objem se změnou tlaku a teploty, tak působí tlakovou silou na stěny prostorů, které jsou jimi vyplněny. Tento fakt tvoří více jak polovinu příčin všech nemocí souvisejících s potápěním.

Druhou polovinu příčin tvoří problém, měnící se rozpustnosti plynů v kapalinách během měnícího se okolního tlaku. Ostatní příčiny jsou povětšinou okrajové.

Summary

Disease which are connected with diving are mostly caused by changes of surrounding pressure.

Liquids don't make any harm in organism, due to incompressibility under these conditions. Causal problems are caused by gas and spaces that are filled with it. Gas changes its capacity because of changes of the pressure and temperature and it exerts to walls of spaces filling with it. This fact is responsible for more than half causes of all diseases related with diving. The second half of diseases is caused by changing solubility of gas contained in liquids during changes of surrounding pressure. Other causes are mostly marginal.

Seznam použité literatury:

celá kniha:

JÍLEK MIROSLAV, KOŠŤÁL KAREL, SAMEK LADISLAV, ŠTĚPÁNEK ANTONÍN, Fyzika I, ČVUT, 1995

HOLZAPFEL RUDOLF B., Potápění, Koop, 2004, ISBN: 80-7232-231-1

DVOŘÁKOVÁ ZUZANA, Potápění, Grada Publishing, 2005, ISBN: 80-247-1100-1

VRBOVSKÝ VLADIMÍR & CO, Potápění s přístrojem, Svaz potápěčů české republiky, 1997

HEINZ KASINGER, PAUL W. MUNZINGE, Šnorchlování, Kopp, 2004, ISBN: 8072322303

MOUNTAIN, A. *Potápění*. Dopln. a přeprac. vyd. Praha: Svotka & CO, 1998. 160 s. ISBN 80-7237-134-7

článek v tištěném časopise v češtině

HRNČÍŘ E., Zdravotnická problematika potápění, Pracovní lékařství, 2007, No. 1-2, s. 52-56

MACURA P., REITLINGER J., PUDIL R., Zdravotní prohlídky potápěčů, Pracovní lékařství, 2007, No. 1-2, s. 57-59

MACURA P., REITLINGER J., PUDIL R., Perzistentní foramen ovale a potápění, Pracovní lékařství, 2007, No. 1-2, s. 60-62