



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Sciences

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

**Vypracování a otestování uživatelského manuálu pro
obsluhu transportní barokomory Haux Medicom
určené k léčení dekompresních nehod spojených
s potápěním, ověření transportu postižené osoby
a jejího předání k následné léčbě**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studijní program:

OCHRANA OBYVATELSTVA

Autor: Bc. Jakub Karvánek

Vedoucí práce: RNDr. Karel Roháček, CSc.

České Budějovice 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci s názvem *"Vypracování a otestování uživatelského manuálu pro obsluhu transportní barokomory Haux Medicom určené k léčení dekompresních nehod spojených s potápěním, ověření transportu postižené osoby a jejího předání k následné léčbě"* jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby diplomové práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé diplomové práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce panu RNDr. Karlu Roháčkovi, CSc. za jeho vedení, a zejména za velkou trpělivost během vypracování mé diplomové práce.

Největší dík patří MUDr. Štěpánovi Novotnému a MUDr. Haně Pácové za jejich čas, odborné rady a průběžnou korekturu týkající se nejen lékařské stránky této práce.

Děkuji firmě Kübeck s. r. o. za umožnění a za pomoc při realizaci taktického cvičení Hasičského záchranného sboru.

Velké poděkování patří mým dětem Elle, Emmě, Matoušovi a Šimonovi a zejména mé manželce Míše za jejich podporu a trpělivost.

Zvláště bych chtěl poděkovat mé mamince Aleně.

Rád bych také poděkoval kolegům hasičům - potápěčům za pomoc při řešení praktické části mé diplomové práce.

Vypracování a otestování uživatelského manuálu pro obsluhu transportní barokomory Haux Medicom určené k léčení dekompresních nehod spojených s potápěním, ověření transportu postižené osoby a jejího předání k následné léčbě

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je vypracovat a otestovat uživatelský manuál sloužící k obsluze mobilní transportní barokomory Haux Medicom určené pro léčbu dekompresních nehod spojených s potápěním, dále ověření průběhu transportu postižené osoby v barokomoře, následné připojení na stabilní léčebnou barokomoru a předání postiženého potápěče k následné komplexní léčbě.

Barokomoru Haux Medicom používají členové potápěčské skupiny Hasičského záchranného sboru Jihočeského kraje pro zajištění bezpečnosti při zásazích a výcviku pod vodní hladinou. Barokomora je využívána ke zmírnění následků potápěčských nehod a zejména k léčbě dekompresních nemocí. Tato léčba je založena na principu rekompresní terapie, kdy v hyperbarické komoře dochází k postupnému navyšování tlaku až na předepsaný terapeutický tlak s následnou pomalou dekompresí v kombinaci s dýcháním stoprocentního kyslíku.

Ovládání této barokomory vyžaduje řadu zkušeností a pravidelný cvik. Jedním z cílů této práce je vypracování jednoduchého, přehledného a zároveň funkčního uživatelského manuálu, sloužícího pro podporu osoby zajišťující obsluhu barokomory. Tento manuál byl vypracován a jeho funkčnost byla vyzkoušena příslušníky potápěčské skupiny i dalšími odborníky zabývajícími se touto problematikou. Druhým úkolem bylo ověření transportu potápěče v barokomoře a jeho následný přesun do stabilní hyperbarické komory k zajištění další léčby. Pro splnění tohoto úkolu bylo uspořádáno taktické cvičení potápěčské skupiny Hasičského záchranného sboru ve spolupráci s oblastní nemocnicí Kladno a tento unikátní, doposud nikdy nerealizovaný pokus, byl úspěšně uskutečněn.

Klíčová slova: potápění, barokomora, dekompresní nemoc

The Development and testing of a user manual for operating the Haux Medicom transport hyperbaric chamber designed for the treatment of decompression accidents associated with diving, The transport verification of the affected person and their transfer for the subsequent treatment

Abstract

The aim of this thesis is to develop and test a user manual for the operation of the Haux Medicom mobile transport hyperbaric chamber designed for the treatment of decompression accidents associated with diving, as well as the verification of the transport of the affected person in the barochamber, following connection to the stable treatment barochamber and the transfer of the affected diver for subsequent complex treatment.

The Haux Medicom barochamber is used by members of the diving group of the South Bohemia Fire Rescue Corps to ensure safety during rescue operations and underwater training. The Baro Chamber is used to mitigate the consequences of diving accidents and especially to treat decompression sickness. This treatment is based on the principle of recompression therapy, where the pressure in the hyperbaric chamber is gradually increased up to the prescribed therapeutic pressure, followed by a slow decompression in combination with breathing 100% oxygen.

Operating this chamber requires a lot of experience and regular practice. One of the aims of this thesis is to develop a simple, clear and functional user manual to assist the person operating the barochamber. This manual has been developed and its functionality has been tested by members of the diving group and other professionals involved in this field. The second task was to verify the transport of the diver in the barochamber and his subsequent transfer to a stable hyperbaric chamber to provide further treatment. In order to accomplish this task, a tactical drill was organized by the diving group of the Fire Rescue Corps in cooperation with the Kladno Regional Hospital and this unique, never before realized attempt was successfully carried out.

Keywords: diving, barochamber, decompression sickness

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| ÚVOD..... | 10 |
| 1 TEORETICKÁ ČÁST..... | 12 |
| 1.1 HISTORIE POTÁPĚNÍ..... | 12 |
| 1.1.1 Lidé pod vodou..... | 12 |
| 1.1.2 Nejstarší doklady o potápění | 13 |
| 1.1.3 Středověk a renesance | 13 |
| 1.1.4 17. - 18. století:..... | 14 |
| 1.1.5 19. století: | 14 |
| 1.1.6 20. století a současnost:..... | 14 |
| 1.2 HLOUBKOVÉ POTÁPĚNÍ..... | 15 |
| 1.3 DLOUHODOBÉ POBYTY POD VODOU - SATURAČNÍ POTÁPĚNÍ | 15 |
| 1.4 DÝCHÁNÍ KAPALINY | 16 |
| 1.5 HISTORIE DEKOMPRESNÍ NEMOCI..... | 16 |
| 1.6 DÝCHÁNÍ..... | 18 |
| 1.6.1 Fyziologie dýchání..... | 18 |
| 1.6.2 Rozdělení dýchání..... | 19 |
| 1.6.3 Dusík..... | 20 |
| 1.6.4 Kyslík | 21 |
| 1.6.5 Proces přestupu plynů během dýchání | 21 |
| 1.7 SATURACE LIDSKÉHO ORGANISMU DUSÍKEM | 23 |
| 1.7.1 Faktor tlaku..... | 25 |
| 1.7.2 Faktor času | 25 |
| 1.7.3 Faktor kapilarizace..... | 26 |
| 1.7.4 Faktor absorpce..... | 26 |
| 1.7.5 Kompartmenty a poločasy sycení | 27 |
| 1.8 DESATURACE | 29 |
| 1.8.1 Faktory ovlivňující desaturaci..... | 29 |
| 1.8.2 Biofyzikální principy desaturace | 30 |
| 1.8.3 Dynamika desaturace | 30 |
| 1.8.4 Rychlost desaturace | 31 |
| 1.8.5 Zásady bezpečného výstupu..... | 31 |
| 1.8.6 Reverzní saturace..... | 32 |
| 1.9 TVORBA BUBLIN A JEJICH POHYB V TĚLE POTÁPĚČE | 33 |
| 1.9.1 Foramen ovale a Patent foramen ovale (PFO)..... | 34 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1.10 | DEKOMPRESSE POTÁPĚČE..... | 36 |
| 1.10.1 | Dekompresní tabulky, kalkulátory a osobní počítače..... | 38 |
| 1.10.2 | Kontinuální a stupňovitá dekomprese..... | 39 |
| 1.11 | DEKOMPRESNÍ NEMOC | 41 |
| 1.11.1 | Rozdělení dekompresní nemoci..... | 42 |
| 1.12 | DCS I. TYPU..... | 42 |
| 1.12.1 | Kožní forma..... | 42 |
| 1.12.2 | Muskuloskeletální forma..... | 43 |
| 1.12.3 | Lymfatická forma | 43 |
| 1.12.4 | Kardiální forma | 44 |
| 1.12.5 | Únavová (nespecifická) forma | 44 |
| 1.13 | DCS II. TYPU | 45 |
| 1.13.1 | Kardiopulmonální forma | 45 |
| 1.13.2 | Neurologická forma | 45 |
| 1.13.3 | DCS vnitřního ucha | 47 |
| 1.13.4 | Taravana..... | 47 |
| 1.13.5 | Predispozice pro vznik dekompresní nemoci | 47 |
| 1.13.6 | Příčiny vzniku DCS..... | 48 |
| 1.13.7 | Časové rozpětí projevu klinických příznaků DCS..... | 49 |
| 1.14 | LÉČBA DEKOMPRESNÍ NEMOCI POTÁPĚČŮ | 49 |
| 1.14.1 | Barokomora | 51 |
| 1.14.2 | Dekompresní a rekompresní barokomory..... | 52 |
| 1.14.3 | Princip rekompresní léčby..... | 53 |
| 1.14.4 | Provedení rekompresní léčby v barokomoře | 54 |
| 1.14.5 | Komplikace a rizika spojená s léčbou v barokomoře | 56 |
| 1.14.6 | Mokrý rekompresní | 59 |
| 1.14.7 | Cíle rekompresní terapie | 60 |
| 2 | CÍL PRÁCE, VÝZKUMNÁ OTÁZKA A ŘEŠENÉ ÚKOLY | 61 |
| 2.1 | CÍL PRÁCE..... | 61 |
| 2.2 | VÝZKUMNÁ OTÁZKA | 61 |
| 2.3 | ŘEŠENÉ ÚKOLY PRÁCE | 61 |
| 2.4 | METODIKA PRÁCE | 61 |
| 2.5 | VYUŽITÍ PRÁCE V PRAXI..... | 62 |
| 3 | METODIKA VÝZKUMU..... | 63 |
| 3.1 | REŠERŠE ODBORNÉ LITERATURY..... | 63 |
| 4 | METODICKÁ ČÁST | 65 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.1 | <i>BAROKOMORA HAUX MEDICOM 5,5</i> | 65 |
| 4.2 | <i>KONSTRUKCE A VYBAVENÍ BAROKOMORY</i> | 68 |
| 4.3 | <i>ZÁSOBOVÁNÍ DÝCHACÍM MÉDIEM</i> | 70 |
| 4.4 | <i>OBSLUHA BAROKOMORY</i> | 71 |
| 4.5 | <i>POTŘEBA VZNIKU UŽIVATELSKÉHO MANUÁLU</i> | 71 |
| 4.6 | <i>SESTAVENÍ UŽIVATELSKÉHO MANUÁLU</i> | 72 |
| 4.7 | <i>POUŽITÍ UŽIVATELSKÉHO MANUÁLU</i> | 75 |
| 4.8 | <i>OVĚŘENÍ UŽIVATELSKÉHO MANUÁLU</i> | 75 |
| 4.9 | <i>UKONČENÍ PO POUŽITÍ BAROKOMORY</i> | 76 |
| 5 | PRAKTICKÁ ČÁST | 77 |
| 5.1.1 | <i>Rozhodující faktor času</i> | 77 |
| 5.1.2 | <i>Výhody a nevýhody mobilních a transportních barokomor</i> | 78 |
| 5.1.3 | <i>V jakých případech zahájit transport</i> | 82 |
| 5.2 | <i>PLÁNOVÁNÍ CVIČENÍ TRANSPORTU BAROKOMORY</i> | 84 |
| 5.2.1 | <i>První pokus</i> | 85 |
| 5.2.2 | <i>Nápravná opatření nemocnice Kladno</i> | 86 |
| 5.3 | <i>TAKTICKÉ CVIČENÍ</i> | 87 |
| 5.3.1 | <i>Plánování a projednání taktického cvičení</i> | 87 |
| 5.3.2 | <i>Sestavení plánu taktického cvičení</i> | 88 |
| 5.4 | <i>PŘÍPRAVA TAKTICKÉHO CVIČENÍ</i> | 92 |
| 5.5 | <i>POTÁPĚČSKÁ NEHODA S RIZIKEM VZNIKU DEKOMPRESNÍ NEMOCI</i> | 93 |
| 5.5.1 | <i>Pod vodou a ve vodě</i> | 93 |
| 5.5.2 | <i>Transport na břeh</i> | 93 |
| 5.5.3 | <i>Příprava potápěče na umístění v barokomoře</i> | 94 |
| 5.5.4 | <i>Vyšetření postiženého potápěče</i> | 94 |
| 5.6 | <i>ZAHÁJENÍ A PRŮBĚH TAKTICKÉHO CVIČENÍ</i> | 95 |
| 5.6.1 | <i>Komunikace</i> | 96 |
| 5.6.2 | <i>Doprava a bezpečnost během jízdy</i> | 96 |
| 5.6.3 | <i>Rekompresní terapie</i> | 98 |
| 5.6.4 | <i>Nedostatek zásoby kyslíku</i> | 99 |
| 5.6.5 | <i>Propojení barokomor</i> | 100 |
| 6 | DISKUZE | 102 |
| 6.1 | <i>ZDROJE A LITERATURA</i> | 102 |
| 6.2 | <i>VYPRACOVÁNÍ A OTESTOVÁNÍ UŽIVATELSKÉHO MANUÁLU TRANSPORTNÍ BAROKOMORY HAUX MEDICOM</i> | 103 |
| 6.3 | <i>OVĚŘENÍ TRANSPORTU PACIENTA DO NEMOCNIČNÍHO ZAŘÍZENÍ V REÁLNÝCH PODMÍNKÁCH, PŘIPOJENÍ TRANSPORTNÍ BAROKOMORY NA STABILNÍ NEMOCNIČNÍ</i> | |

BAROKOMORU S NÁSLEDNÝM PŘESUNEM POSTIŽENÉ OSOBY A POKRAČOVÁNÍM ODBORNÉ LÉČBY 105

| | | |
|-----------|--|------------|
| 6.3.1 | <i>Stanovení výzkumných otázek</i> | 106 |
| 6.3.2 | <i>Praktický výzkum - taktické cvičení HZS Jihočeského kraje</i> | 106 |
| 6.4 | <i>ZODPOVĚZENÍ VÝZKUMNÝCH OTÁZEK</i> | 108 |
| 7 | ZÁVĚR | 110 |
| 8 | SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ | 111 |
| 9 | SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A PŘÍLOH | 114 |
| 10 | SEZNAM ZKRATEK | 116 |
| 11 | PŘÍLOHY | 118 |

ÚVOD

Tato práce se zabývá problematikou dekompresní nemoci, principem jejího vzniku a zejména její léčbou za pomoci dekompresní hyperbarické komory. Jsem příslušníkem Hasičského záchranného sboru Jihočeského kraje (HZS Jhc) a členem potápěčské skupiny HZS Jhc, potápění a technickému potápění se věnuji rovněž mimo službu ve svém volném čase. Potápěčská skupina HZS Jhc je vybavena barokomorou typu Haux Medicom určenou pro léčbu dekompresních nemocí vzniklých v souvislosti s potápěním.

Dekompresní nemoc, dříve známá také jako Kesonová nemoc, je závažným zdravotním stavem, který postihuje potápěče a další osoby vystavené vysokým tlakům s následným rychlým poklesem tlaku. Tato nemoc je způsobena uvolněním rozpuštěného dusíku v tkáních těla při exponenciálním poklesu tlaku, což vede ke vzniku bublinek dusíku v krevním řečišti a v tkáních. Dekompresní nemoc se projevuje širokou škálou příznaků a může postihnout různé systémy těla, včetně nervového, kardiovaskulárního, respiračního a muskuloskeletálního systému. Mezi nejčastější příznaky patří bolesti kloubů a svalů, únava, závratě, nevolnost, dušnost a neurologické problémy, jako je ztráta paměti nebo poruchy řeči. Dekompresní nemoc představuje vážné ohrožení zdraví a dokonce života postižených jedinců. Je proto důležité porozumět mechanismům vzniku této nemoci, jejím klinickým projevům a vhodným léčebným strategiím. Cílem této diplomové práce je poskytnout komplexní přehled o dekompresní nemoci, zahrnující její patofyziologii, diagnostiku, prevenci, ale zejména o první pomoci a léčbě pomocí hyperbarické komory

Barokomora (také nazývaná hyperbarická komora) je speciální zařízení používané k léčbě dekompresní nemoci. Jedná se o hermeticky uzavřenou komoru, ve které jsou potápěči vystaveni vyššímu tlaku, než je tlak atmosférický. Léčba dekompresní nemoci v barokomoře se nazývá hyperbarická oxygenoterapie. Potápěč je umístěn do barokomory, kde se postupně zvýší tlak na vyšší než je tlak atmosférický. Tím se podporuje rychlejší vylučování bublinek dusíku z tkání a zlepšuje se prokrvení postižených oblastí. Kromě toho je pacientovi podáván čistý kyslík, což pomáhá snížit škodlivé účinky dekompresní nemoci.

Mobilní barokomora Haux Medicom, která je ve výbavě HZS Jhc umožňuje transport pacienta z místa potápěčské nehody do nemocničního zařízení s jejím následním připojením ke stabilní barokomoře stejného výrobce a k přesunu pacienta do větší barokomory s možností přístupu lékaře pro efektivnější a komplexnější léčbu.

V rámci této práce bude vypracován návod pro použití barokomory Haux Medicom. Tato barokomora je v České republice pouze jedna jediná a uživatelský návod nebyl výrobcem nikdy dodán. Dle dostupných informací od výrobce návod pro ovládání barokomory neexistuje ani v německém jazyce a není jej tudíž možné přeložit. Výrobce poskytuje pouze proškolení obsluhy.

Dalším úkolem práce je praktické ověření možnosti transportu pacienta na oddělení hyperbarické medicíny nemocnice Kladno, připojení barokomory ke stabilní barokomoře toho oddělení, přesun pacienta a následné odpojení mobilní barokomory. Tato praktická část práce bude provedena v rámci plánovaného taktického cvičení potápěčské skupiny HZS Jihočeského kraje s názvem "Transport potápěče po potápěčské nehodě v mobilní barokomoře Haux Medicom s jejím následným připojením na stabilní barokomoru v nemocnici Kladno".

Cílem této diplomové práce je přispět k efektivnějšímu řešení případných potápěčských nehod za pomoci mobilní barokomory Haux Medicom. Doufáme, že výsledky této práce přispějí k zlepšení bezpečnosti a zdraví potápěčů a dalších profesionálů vystavených podobným rizikům.

1 TEORETICKÁ ČÁST

Teoretická část této diplomové práce se stručně zabývá ohledem do historie dekompresní nemoci (DCS), dále fyzikálním vysvětlením principu vzniku dekompresních nemocí, ochranou a bezpečnými postupy jako prevencí před postižením DCS. Podrobněji jsou zde rozebrány metody poskytnutí první pomoci a léčby dekompresní nemoci. Dále je zde detailně popsána a rozebrána hyperbarická dekompresní komora Haux Medicom, včetně vytvoření návodu na její ovládání.

1.1 Historie potápění

1.1.1 Lidé pod vodou

Potápění, fascinující aktivita, která nám otevírá dveře do tajemného podvodního světa, má bohatou historii sahající až do starověku. První potápěči se s primitivními nástroji a technikami nořili do hlubin, aby lovili, sbírali perly a zkoumali nepoznané. V průběhu historie se potápěči vyvinuli jako klíčová postava při vyzvedávání trosek, opravách lodí a zkoumání podmořských záhad. Nicméně, skutečný pokrok v potápění nastal až v moderních dobách. V průběhu 20. století se potápění stalo nejen průmyslovou činností, ale také populární rekreační aktivitou. Zájem o potápění stoupal, a s ním i technologické inovace a vylepšení v potápěčském vybavení. S růstem popularity potápění se začala zdůrazňovat potřeba vzdělávání a bezpečnosti. Vznikly různé potápěčské asociace a organizace jako Confédération Mondiale Des Activités Subaquatiques (CMAS), Professional Association of Diving Instructors (PADI), Scuba Schools International (SSI) a další, které poskytují výcvik a certifikace potápěčům po celém světě. Tyto organizace nejen školí potápěče, ale také kladou důraz na bezpečnostní postupy a zachování životního prostředí. V dnešní době je potápění ovlivněno neustálým technologickým pokrokem. Moderní potápěčské vybavení je lehčí, efektivnější a bezpečnější než kdy jindy. Sonary, podvodní kamery a jiné technologické vymoženosti umožňují potápěčům prozkoumávat podmořský svět s větší přesností a pohodlím. Budoucnost potápění zahrnuje nejen technologické inovace, ale také zdokonalování ekologických praktik. Ochrana podmořského ekosystému a udržitelné potápěčské praktiky se stávají stále důležitějšími výzvami pro potápěčskou komunitu. Historie potápění je plná odvahy, objevů a zdokonalování. Od pradávných začátků

až po moderní dobu, potápění překonalo mnoho překážek a stalo se nejen důležitou průmyslovou činností, ale také oblíbenou rekreační aktivitou. S neustálým vývojem technologií a zvýšeným důrazem na bezpečnost a udržitelnost si potápění udržuje svou pozici jako fascinující a dobrodružná činnost pro miliony lidí po celém světě.

1.1.2 Nejstarší doklady o potápění

8500 let př. n. l.: Archeologické nálezy z Japonska ukazují perly, které mohly být získány potápěním. Tyto nálezy svědčí o tom, že potápění se praktikovalo již v pravěku a sloužilo k získávání cenných materiálů.

5000 let př. n. l.: Sumerové, starověká civilizace v Mezopotámii, znali techniku zadržování dechu pod vodou a používali ji k lovu ryb a sběru perel. Zmínky o potápění se objevují v sumerských textech a na reliéfech, které zobrazují potápěče s primitivními nástroji.

3000 let př. n. l.: Asyřané a Egypťané, mocné říše starověkého světa, používali potápěče k válečným účelům. Potápěči se plazili pod vodou k nepřátelským lodím a sabotovali je. V Egyptě se potápění praktikovalo i pro komerční účely, například k těžbě perel a korálů.

5. století př. n. l.: Hérodotos, řecký historik, popisuje ve svých spisech potápěče Scyllise, který sloužil perskému králi Xerxovi. Scyllis dokázal pod vodou vydržet až 10 minut a během bitvy u Salamíny potopil několik řeckých lodí.

1. století př. n. l.: Plinius Starší, římský učenec, popisuje ve svém encyklopedickém díle *Naturalis Historia* potápěčský zvon. Jednalo se o primitivní zařízení, které umožňovalo potápěčům dýchat pod vodou po krátkou dobu.

2. století n. l.: Římané používali potápěče k lovu mořských živočichů, jako jsou humři a ústřice, a k těžbě pod vodou. Římský císař Claudius údajně pořádal podmořské hostiny, kde se servírovaly exotické mořské plody.

1.1.3 Středověk a renesance

13. století: Vzniká první potápěčská helma s přívodem vzduchu z povrchu. Tato helma, nazývaná "klobouk s dýchací trubicí", umožňovala potápěčům dýchat pod vodou delší dobu a pracovat v hlubších hloubkách.

15. století: Leonardo da Vinci, renesanční génius, navrhuje řadu potápěčských vynálezů, včetně potápěčského skafandru a ponorky. Jeho návrhy, i když v té době nerealizovatelné, předznamenaly budoucí vývoj potápěčské technologie.

16. století: Španělští dobyvatelé používali potápěče k hledání pokladů v potopených lodích. Potápění se stává důležitým nástrojem pro kolonizaci a expanzi evropských mocností.

1.1.4 17. - 18. století:

17. století: V roce 1690 vynalezl Augustus Siebe první funkční potápěčský skafandr. Skafandr se skládal z helmy, kovového obleku a boty s přívodem vzduchu. Tato technologie znamenala revoluci v potápění a umožnila potápěčům pracovat v hloubkách, které dříve nebyly dostupné.

18. století: V roce 1775 vynalezl John Smeaton první dekompresní komoru.

1.1.5 19. století:

V 19. století se potápění rozvíjí jak pro průzkum podmořského světa, tak pro komerční účely. V roce 1878 vynalezl Benoît Rouquayrol první regulátor, který umožňoval potápěčům dýchat stlačený vzduch pod vodou. Potápění se používá i pro komerční účely, jako je těžba mořských plodů, pokládání kabelů a údržba lodí.

1873: V roce 1873 vedl Charles Wyville Thomson expedici Challenger, během které byla objevena nejhlubší část oceánu, nazvaná Challenger Deep. Nachází se v Mariánském příkopu v Tichém oceánu a dosahuje hloubky 11 034 metrů.

1897: Henry Fleuss vynalezl první potápěčský přístroj s kyslíkem. Tento přístroj umožnil potápěčům dýchat pod vodou bez závislosti na povrchu. Potápění se stává důležitým nástrojem pro průzkum oceánů.

1.1.6 20. století a současnost:

1942: Jacques-Yves Cousteau a Émile Gagnane vynalezli aqualung - autonomní potápěčský přístroj, který umožňuje potápěčům dýchat pod vodou bez přívodu vzduchu z povrchu. Aqualung znamenal revoluci v potápění a zpřístupnil ho široké veřejnosti.

1960: Edwin Link vyvinul podmořský simulátor, který umožňuje potápěčům trénovat hloubkové ponory v bezpečných podmínkách. V 21. století se potápění těší velké

popularitě jako rekreační aktivita a sport. Existuje mnoho druhů potápění, od rekreačního potápění v mělké vodě až po technické potápění ve velkých hloubkách.

1.2 Hlubkové potápění

Hlubkové potápění se směsí speciálního dýchacího média se začalo rozvíjet od počátku 20. století, když americký vědec Elihu Thompson navrhl nahrazení dusíku ve vzduchu héliem. Jedná se z hlediska potápění o inertní plyn bez účinků dusíkového opojení. V roce 1925 byla poprvé dýchána laboratorními zvířaty směs kyslíku a hélia v poměru 20:80. Tato směs byla nazvána HELIOX. V roce 1937 byl s touto směsí vykonán historicky první ponor a to do hloubky 128 m. Velký rozmach si hlubkové potápění vysloužilo zejména díky pozornosti armády a také díky využití v komerční sféře, na vrtných plošinách, při opravách podmořských dálkových kabelů, aj. Ve čtyřicátých letech vstupuje do hry další plyn, a to vodík, který byl přidáván do směsi HELIOX. S nově vzniklou směsí zvanou HYDRELIOX uskutečnil v roce 1992 potápěč Theo Mavrostomos experimentální (suchý) ponor do hloubky 701 m. Pro tento ponor použil směs 0.56 % kyslíku, 71.27 % hélia a 28.17 % vodíku. Další velmi významnou směsí používanou v hlubkovém a technickém potápění je TRIMIX, směs kyslíku, hélia a dusíku. Francouzský potápěč Pascal Barnabé dosáhl s touto směsí v roce 2005 hloubky 330 m, což je doposud považováno za největší dosaženou hloubku ve volném potápění s přístroji. Po tomto ponoru trvalo vynoření zpět na hladinu s absolvováním všech stanovených dekompresních zastávek 8 hodin a 49 minut. I přes stále masivnější využívání moderní robotické techniky mají lidské ruce a lidská šikovnost své pevné a nenahraditelné místo v oblasti práce pod vodní hladinou a zejména v hlubkovém potápění. (Novomeský, 2013)

1.3 Dlouhodobé pobyty pod vodou - Saturační potápění

Zejména v komerčním (pracovním) potápění sílily snahy o co možná nejdelší pobyt člověka pod vodou bez potřeby opakovaného vyhořování s nutností procesu zdlouhavé dekomprese. Vizi s hlubkovými podmořskými domy, z nichž potápěči vystupují do volné vody a vracejí se zpět do habitatu, přičemž setrvávají pod vodní hladinou několik dní, podpořil také Jacques-Yves Cousteau, který v rámci projektu Précontinent I sestavil první podmořský dům. V tomto domě, v hloubce 10 m strávili akvanauté celých 10 dní a pravidelně prováděli výstupy do volné vody v délce 4 hodin. Dalším z průlomů byl projekt TEKTITE I, což byl podmořský habitat a laboratoř umístěná u pobřeží

ostrova St. John v Amerických Panenských ostrovech. Byl provozován Národním úřadem pro letectví a vesmír (NASA) a Národním úřadem pro oceány a atmosféru (NOAA) v roce 1969. Program Tektite I byl prvním národně sponzorovaným programem vědců v moři ve Spojených státech. Čtyři potápěči strávili v tomto podvodním domě v roce 1969 celých 58 dní. Jejich následný dekompresní výstup trval 19 hodin. Také Česká republika zanechala svou stopu ve výzkumu saturačního potápění, když v projektu Permon IV strávili 102 hodin potápěči báňské záchranné služby v lomu Šífr u Svobodných Heřmanic pod vodou v hloubce 25 m. Český rekord v pobytu pod vodní hladinou nyní drží David Vondrášek se svým týmem. Rekord padl v roce 2019 v lomu Slověnice u Českých Budějovic a činí 107 hodin.

1.4 Dýchání kapaliny

Hrozba poškození plic v souvislosti se objemovými změnami při kompresi a expanzi plynů a zároveň fakt, že vývoj lidského plodu probíhá v plodové vodě, přivedl holandského lékaře Johannese Arnolda Kylstra na myšlenku výměny dýchacích plynů mezi kapilární krví plic a vhodnou kapalinou, kterou by byly plíce člověka zaplaveny. Při prvních pokusech se solným roztokem supersaturovaným kyslíkem představoval největší problém neschopnost odstranit odpadní CO₂ z krve a následná hyperkapnie, neboli otrava CO₂. Pokrok v této oblasti znamenal vstup US NAVY a vývoj látky zvané perfluorokarbon, s kterou byly prováděny i první pokusy přímo na lidech. Testovaný subjekt nezaznamenal žádné potíže s dýcháním přes tuto látku a ani po odčerpání látky z plic. Výměna plynů v plicích však probíhala bezproblémově pouze za předpokladu, že potápěč byl v naprostém klidu. Jakákoli, byť i minimální fyzická zátěž vyvolávala okamžitě hyperkapnii. Po dalších pokusech s dýcháním kapaliny se toto však ukázalo pro potřeby potápění jako slepá ulička a experimenty nadále pokračují pouze v klinické medicíně. (Novomeský, 2013)

1.5 Historie dekompresní nemoci

Pokud hovoříme o historii dekompresní nemoci, máme na mysli spíše první pozorování příznaků této nemoci, její zkoumání a také její pojmenování. První, i když nevědomé pozorování důsledku dekomprese, popsal roku 1670 irský přírodovědec Robert Boyle, který při pokusech se stlačováním a ředěním vzduchu objevil v zorníčkách hada malé plynové bubliny, poté co jej vystavil náhlému podtlaku.

Zakladatel moderní anatomické patologie Giovanni Battista Morgagni objevil v roce 1769 plynové bubliny v krevním řečišti v mozku mrtvého muže, přičemž jako první lékař v historii dal tento jev do souvislosti se smrtí člověka.

Dekompresní nemoc potápěčů (DCS - decompression sickness) se též nazývá kesonovou nemocí. Některé zdroje uvádějí původ tohoto slova jako odvozeninu od italského slova *cassa* (krabice), jiné zdroje zase toto pojmenování spojují s Jacquesem Caissonem. Tento francouzský inženýr sestrojil v podstatě první dekompresní komoru pro hyperbarickou terapii, když do okované bedny s otevřeným dnem umístěné pod vodou vháněl vzduch, který byl vlivem pronikající vody stlačován a následně vháněn do místnosti, kde byl jeho syn, trpící chronickým onemocněním plic. První pracovní "keson" byl použit při stavbě základů pro nový most přes řeku Loiru u francouzského města Chalonnes. Jednalo se o velkou a těžkou nádrž ve tvaru kostky bez dna, vyrobenou z kovu, kterou spustili na dno řeky a pomocí hadic a pumpy byl do této nádrže vháněn stlačený vzduch, v důsledku čehož odtud byla vypuzena voda a bahno. Přejížděním tunelem do kesonu vstoupili dělníci, kteří zde mohli pracovat na hloubení základů. Dle dochovaných historických poznámek, se dvou pracovníků po sedmihodinové směně v přetlaku objevili mučivé bolesti kloubů. Inovované kesony byly použity také v USA při stavbě mostů v St. Louis a v New Yorku. Zde bylo zaznamenáno již několik stovek lehčích, ale i vážných případů dekompresní nemoci a také poměrně dost úmrtí v souvislosti s DCS. Dělníci pracující v mnoha hodinových směnách trpěli neznámou nemocí kloubů, která byla zpočátku připisována revmatizmu z pobytu ve vlhkém prostředí. Velmi častým důsledkem těchto záhadných nemocí byla paralýza a také smrt. Problémem se začali zabývat lékaři Alphonse Jaminet a Andrew Smith. Jaminet dokonce po pobytu v kesonu a následném rychlém výstupu popisoval bolesti břicha, závratě a následně po návratu domů na 10 hodin ochrnul na dolní končetiny. Po několika dalších týdnech však přetrvávala únava a slabost. Léčba, v té době neznámé nemoci, probíhala pomocí ledových obkladů, horkých kukuřičných placek, aplikací morfinu, nebo whisky s medem. Pozorováním a pokusy bylo zjištěno, že postupné snižování tlaku v kesonu je pro dělníky méně bolestivé než rychlý výstup na hladinu a skokové snížení tlaku. Také pracovní doba kesonářů byla snižována postupně na 4, 3, 2, a posléze až na pouhou jednu hodinu. Také bylo prokázáno, že opakované vstupy do kesonu napomáhají odeznění bolestí. Smith také v této době sestrojil první, skutečně funkční, přetlakovou komoru, ve které pobývali dělníci

na základě akutních příznaků. Ještě však nebyly sestaveny žádné funkční léčebné dekompresní algoritmy.

S rozšiřujícím se fenoménem podvodních prací a vojenských potápěčů byly po dlouhých ponorech stále častěji popisovány příznaky dekompresní nemoci. V té době byly však ještě nezdědky připisovány revmatismu z chladu, nebo toxicitě dýchaného stlačeného vzduchu (jako například u řeckých sběračů mořských hub) a nedocházelo ještě k propojení souvislostí mezi nemocí kesonářů a potápěčů. V roce 1873 Smith poprvé tuto neznámou nemoc nazval Kesonovou nemocí, nebo též Nemocí ze stlačeného vzduchu. Paul Bret zveřejnil v roce 1878 svou teorii, že kesonová nemoc je způsobena bublinkami inertního plynu (dusíku N_2). Tento plyn se v tkáních nejprve vlivem vyššího tlaku rozpustí, aby při náhlém snížení tlaku opět nabyl formu plynu (bublin). Také poukázal na vhodnost dýchání čistého kyslíku O_2 , při postupném snižování tlaku. Touto teorií v podstatě položil základy kyslíkové rekompresní léčby. Na jeho práci navázal již počátkem 20. století britský fyziolog John Scott Haldane spolupracující s potápěči královského námořnictva. Haldane věděl, že problém představují vznikající bubliny dusíku při náhlém snížení tlaku, sestavil proto spíše na základě empirických pozorování, než na základě matematických výpočtů, postup pro vynořování potápěče z hloubek. Ten se skládal z postupných dekompresních zastávek v čím dál tím menší hloubce. V roce 1908 byla na principu Haldaneho teorie sestavena první dekompresní tabulka. US NAVY zveřejnilo v roce 1924 první rekompresní tabulky určené k léčbě dekompresních onemocnění a v roce 1935 zavedl lékař Albert R. Behnke do těchto postupů dýchání 100 % kyslíku během pobytu v barokomoře.

Tento postupný vývoj pomohl potápěčům pronikat do větších hloubek a na delší dobu. Avšak i přes dvě stě let poznání a objevování ještě dnes zůstává v této oblasti celá řada neznámých. (Dobeš, 2013; Novomeský, 2013)

1.6 Dýchání

1.6.1 Fyziologie dýchání

Dýchání je základní fyziologický proces, který zajišťuje výměnu plynů mezi organismem a okolním prostředím. Jeho hlavním účelem je přivést kyslík do těla a odstranit oxid uhličitý, který je vedlejším produktem metabolismu. Proces dýchání zahrnuje několik klíčových kroků:

- **Inspirace (nádech):** Během inspirace se vnější svaly mezižebních prostorů a bránice stahují, což zvyšuje objem hrudníku. Tím se snižuje tlak v plicích a vzduch proudí do plicních alveol.
- **Exspirace (výdech):** Během exspirace se inspirační svaly uvolňují, zapojují se výdechové svaly (vnitřní mezižební svaly a svaly přední stěny břišní), objem hrudníku a plic se zmenšuje a tlak v plicích stoupá, čímž se vzduch vydechuje z plic.
- **Výměna plynů:** V plicích dochází k výměně plynů mezi vzduchem a krví skrze plicní membrány. Kyslík z plicního vzduchu je přenášen do krevního řečiště a distribuován po těle, zatímco oxid uhličitý je odváděn z těla do plic.

Centrum dýchání je komplexní síť neuronů v mozku, která reguluje rytmus a hloubku dýchání. Nachází se v mozkovém kmeni, konkrétně v prodloužené míše a v mozkovém mostu. Existují dvě hlavní centra dýchání:

- **Dýchací centrum ve ventrální části prodloužené míchy:** Toto centrum je odpovědné za základní dýchací rytmus a kontroluje frekvenci a hloubku dýchání. Tvoří jej především skupina neuronů nazývaná neuronové jádro solitárního traktu a ventrální respirační jádro.
- **Dýchací centrum v mozkovém mostu:** Toto centrum je zodpovědné za koordinaci složitějších aspektů dýchání, jako je synchronizace dýchání s jinými tělesnými funkcemi, jako je řeč a polykání.

Tato centra dýchání jsou regulována různými signály, včetně hladiny kyslíku a oxidu uhličitého v krvi, pH krve a nervových signálů z periferních sensorů. Pokud dojde ke změnám v těchto signálech, centra dýchání reagují úpravou frekvence a hloubky dýchání. Celý proces regulace dýchání je velmi komplexní a zahrnuje interakci mezi různými částmi mozku a periferními orgány. (Dylevský, 2000)

1.6.2 Rozdělení dýchání

Zevní dýchání: Probíhá v plicích a zahrnuje:

- **Nádech:** Vzduch bohatý na kyslík (O₂) je vdechován do plic.
- **Výdech:** Vzduch bohatý na oxid uhličitý (CO₂) je vydechován z plic.

- **Výměna plynů:** O₂ se z plicních sklípků (alveol) difunduje do krve, zatímco CO₂ z krve difunduje do alveol.

Vnitřní dýchání: Probíhá v buňkách těla a zahrnuje:

- **Využití kyslíku:** O₂ z krve přechází do buněk, kde je využíván pro tvorbu energie.
- **Produkce oxidu uhličitého:** CO₂ vzniká jako odpadní produkt při tomto procesu a přechází z buněk do krve.

Transport plynů v krvi:

Transport plynů v krvi, včetně dusíku, je důležitý proces, který umožňuje dodávku kyslíku do tkání a odstranění oxidu uhličitého z těla. Dusík (N₂) není přímo zapojen do transportu kyslíku nebo oxidu uhličitého, ale je součástí celkového plynového prostředí, které ovlivňuje proces výměny plynů v plicích.

Transport kyslíku (O₂): Kyslík je vázán na hemoglobin v červených krvinkách za vzniku oxyhemoglobinu. Hemoglobin transportuje kyslík z plic do tkání, kde se uvolňuje a je využíván pro buněčné dýchání. Za zvýšeného tlaku se kyslík rozpouští, a je transportován, též v krevní plazmě. Tento fakt může na lidský organismus působit pozitivně (hyperbarická oxygenoterapie HBO), ale též negativně (toxicita kyslíku).

Transport oxidu uhličitého (CO₂): Oxid uhličitý je přenášen v plazmě ve formě hydrogenuhličitanů (HCO₃⁻). Tyto ionty jsou hlavní formou transportu oxidu uhličitého v krvi. V plicích se poté hydrogenuhličitan přeměňují zpět na oxid uhličitý, který je poté vydechován.

Dusík, přestože tvoří většinu atmosférického vzduchu, nehraje přímou roli v transportu plynů v krvi, nicméně krev je transportována v krevní plazmě. Jeho přítomnost ve vzduchu je důležitá pro udržení normálních podmínek během výměny plynů v plicích. Dusík, spolu s kyslíkem a ostatními plyny v atmosféře, vytváří prostředí, ve kterém může docházet k plynové výměně mezi vzduchem a krví. (Dylevský, 2000)

1.6.3 Dusík

Při potápění v přetlaku dochází k rozpouštění dusíku z alveolárního vzduchu do krve, čímž se sytí organismus potápěče. Krevní oběh ho následně transportuje do všech tkání.

Při výstupu z hloubky se tlakové poměry mění, což vede k přesycení organismu dusíkem. Ten se pak uvolňuje z tkání do krve a dále do plic, kde je vydechován. Pokud je však výstup příliš rychlý, dusík se nemůže uvolňovat dostatečně rychle a v krvi a tkáních se tvoří bubliny. To může vést k dekompresní nemoci s vážnými následky. Proto je důležité dodržovat bezpečné rychlosti výstupu a dekompresní zastávky, které umožňují postupné uvolňování dusíku z organismu. (Novomeský, 2013)

1.6.4 Kyslík

Kyslík (O_2) je druhým nejrozšířenějším prvkem na Zemi a tvoří 20,99 % zemské atmosféry. Ve větším množství se však vyskytuje rozpuštěný ve vodě. Jedná se o vysoce reaktivní prvek, který se obvykle účastní exotermických reakcí. Pro člověka je kyslík základní dýchatelný plyn nezbytný pro život. V klidovém stavu spotřebuje lidské tělo přibližně 250 ml kyslíku za minutu. Kyslík se z plic do orgánů a tkání dostává stejně jako dusík – cirkulující krví. V krvi se vyskytuje ve dvou formách: chemicky vázaný na hemoglobin a fyzikálně rozpuštěný v krevní plazmě. Za normálního tlaku je drtivá většina kyslíku vázána chemicky. Množství rozpuštěného kyslíku v plazmě se však lineárně zvyšuje s rostoucím tlakem. Toho principu se využívá v hyperbarické oxygenoterapii, která představuje důležitý terapeutický postup. Pro potápěče je dostatečný přísun kyslíku nezbytnou podmínkou pro přežití. Zajišťují ho dva faktory: dostatečné procentuální zastoupení kyslíku ve vdechované směsi a jeho náležitý parciální tlak. V každém okamžiku ponoru musí dýchací směs obsahovat kyslík v přiměřeném objemovém procentu a parciálním tlaku. (Novomeský, 2002; Nachtigal, 2004; Novomeský, 2013;)

1.6.5 Proces přestupu plynů během dýchání

Přestup plynů v plicích můžeme popsat pomocí dvou základních zákonů. Henryho zákon a Fickův zákon nám pomáhají pochopit principy přestupu plynů v plicích. Tyto zákony zdůrazňují důležitost parciálního tlaku plynů, difuzního gradientu a difuzní kapacity pro efektivní výměnu plynů

Henryho zákon: Tento zákon říká, že množství rozpuštěného plynu v kapalině je přímo úměrné parciálnímu tlaku plynu nad kapalinou. V plicích je parciální tlak O_2 ve vzduchu alveolů (plicních sklípků) **vyšší** než parciální tlak O_2 v krvi. To umožňuje O_2 difundovat z alveolů do krve. Naopak parciální tlak CO_2 v krvi je **vyšší**

než parciální tlak CO₂ ve vzduchu alveolů. To umožňuje CO₂ difundovat z krve do alveolů.

Při konstantní teplotě je rozpustnost plynu v kapalině přímo úměrná parciálnímu tlaku plynu nad touto kapalinou.

$$c = k \times p$$

- **c** je koncentrace plynu v kapalině (mol/l)
- **k** je Henryho konstanta (mol/l*atm)
- **p** je parciální tlak plynu nad kapalinou (atm)

Henryho konstanta je specifická pro daný plyn a danou kapalinu a závisí na teplotě. S rostoucí teplotou se Henryho konstanta snižuje, tzn. rozpustnost plynu v kapalině, klesá.

Fickův zákon: Tento zákon říká, že rychlost difúze plynu je úměrná difuznímu gradientu a difuzní kapacitě. Difuzní gradient je rozdíl parciálního tlaku plynu mezi dvěma oblastmi. Difuzní kapacita je míra propustnosti membrány pro daný plyn. V plicích je difuzní gradient pro O₂ z alveolů do krve a pro CO₂ z krve do alveolů. Difuzní kapacita plic je velká, protože alveoly jsou tenké a propustné pro plyny.

Hustota difuzního toku látky je úměrná gradientu koncentrace látky.

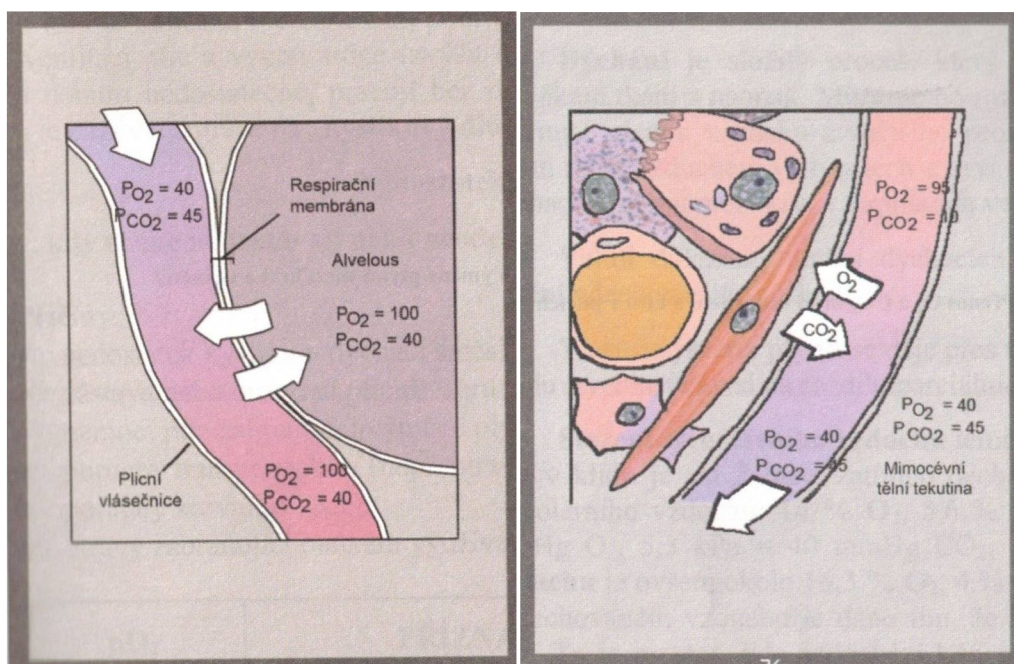
$$J = -D \times \nabla c$$

- **J** je hustota difuzního toku (mol/m²*s)
- **D** je difuzní koeficient (m²/s)
- **∇c** je gradient koncentrace (mol/m³)

Difuzní koeficient je charakteristická veličina pro danou látku a dané prostředí. Záleží na teplotě, viskozitě prostředí a dalších faktorech.

Fickův zákon a Henryho zákon se vzájemně doplňují. Henryho zákon udává, jaká je koncentrace plynu v kapalině v závislosti na parciálním tlaku plynu nad kapalinou. Fickův zákon pak popisuje, jak se plyn difunduje v kapalině v důsledku gradientu koncentrace (obr. 1). Kromě Henryho a Fickeho zákona hrají důležitou roli v přestupu plynů v plicích i další faktory, jako například:

- **Plocha povrchu alveolů:** Čím větší je plocha povrchu alveolů, tím rychlejší je difúze plynů.
- **Tloušťka alveolokapilární membrány:** Čím tenčí je alveolokapilární membrána, tím rychlejší je difúze plynů.
- **Průtok krve plicemi:** Čím větší je průtok krve plicemi, tím více O_2 se může dostat do krve a tím více CO_2 se může z krve uvolnit.
- **Ventilace plic:** Čím je ventilace plic větší, tím více O_2 se dostane do alveolů a tím více CO_2 se z alveolů uvolní.



Obrázek 1: Přenos O_2 a CO_2 ; plíce x krev; krev x tkáň (zdroj: Dobeš, 2013)

1.7 Saturace lidského organismu dusíkem

Složitost lidského organismu a dějů v lidském těle při jeho vystavení hyperbarickému prostředí neumožňuje exaktně definovat kdy a za jakých podmínek se u jednotlivých jedinců projeví příznaky dekompresní nemoci. Jedná se o individuální a předem nedefinovatelný výskyt, i když je velmi výrazně ovlivněn chováním jedince. Například u jednoho potápěče může nastat dekompresní nemoc i při striktním dodržení všech předpisů a dekompresních postupů a u druhého se nemusí projevit žádné příznaky ani při závažném porušení pravidel pro vynořování. Nástup dekompresní nemoci

je výsledkem mnoha faktorů vstupujících do fyziologických, fyzikálních, chemických, ale například také psychických procesů lidského organismu (tab. 1).

Lidské tělo je už za normálního tlaku nasyceno inertními plyny ze vzduchu, z nichž nejvýznamnějším je dusík (78%). I mírné snížení tlaku, například na vrcholu hory nebo v letadle bez přetlaku, vede k uvolňování dusíku z tkání do krve a plic. Po návratu do normálního tlaku si to člověk ani neuvědomí, ale v jeho těle probíhá nenápadná "desaturace" dusíkem, při které se mohou tvořit mikroskopické bublinky bez symptomů. Pod vodou, kde je tlak mnohem vyšší, se proces nasycování dusíkem stává mnohem dramatičtější, protože tlak se s hloubkou rychle zvyšuje.

Zjednodušeně řečeno, z hlediska potápěčské medicíny, dusík difunduje přes alveokapilární membránu do krve, zde je rozpuštěn v krevní plazmě, následně je krevním řečištěm distribuován do celého organismu. Zde nadále dochází podle koncentračního gradientu k prostupu molekul dusíku přes buněčné biomembrány do intracelulárního prostoru. Jedná se o pasivní děj, bez nároků na vloženou energii. (Novomeský, 2013, Hájek, 2017)

Tabulka 1: Zjednodušené shrnutí syčení, pro různé typy tkání

| Typ tkáně | Hustota kapilární sítě | Perfuze krve | Syčení inertním plynem |
|-----------------------|------------------------|--------------|------------------------|
| Rychlé tkáně | Vysoká | Vysoká | Rychlé |
| Pomalé tkáně | Nižší | Nižší | Pomalé |
| Extrémně pomalé tkáně | Velmi nízká | Velmi nízká | Velmi pomalé |

(zdroj: Novomeský, 2013)

Proces saturace určují čtyři základní faktory:

- Tlak
- Čas
- Kapilarizace
- Absorpce

1.7.1 Faktor tlaku

Tlakové poměry v závislosti na hloubce ovlivňují saturaci a desaturaci inertních plynů v organismu potápěče. S rostoucí hloubkou se zvyšuje parciální tlak inertních plynů v dýchací směsi, což vede k jejich intenzivnějšímu rozpouštění v tkáních. Kinetika inertních plynů v organismu je závislá na tlakových gradientech, které vznikají mezi různými kompartmenty, jako jsou alveoly, krev, tkáň a mozek. Čím větší je tlakový gradient, tím rychleji probíhá přenos inertního plynu difuzí přes biomembrány. V potápěčské medicíně hrají tlakové gradienty klíčovou roli při pochopení dekompresní choroby a dalších rizik spojených s potápěním. Řízení tlakových gradientů během ponoru a výstupu je nezbytné pro zajištění bezpečnosti potápěče. (Novomeský, 2013)

Zjednodušeně řečeno:

- Hloubka ovlivňuje množství inertního plynu v organismu potápěče.
- Tlakové gradienty ovlivňují rychlost, jak se plyn v těle rozpouští a uvolňuje.
- Stejný princip platí i naopak, když potápěč vystupuje k hladině a tlak se snižuje (při dekompresi). Jen v opačném směru.
- Potápěčská medicína studuje tlakové gradienty a jejich vliv na dekompresní chorobu.

1.7.2 Faktor času

Čas, který potápěč stráví pod vodou, je důležitým faktorem, který ovlivňuje, jak se jeho tělo naplní inertním plynem. Čím déle potápěč zůstane ve větší hloubce, tím více inertního plynu pronikne do jeho těla. Tlak a čas mají na saturační procesy opačný vliv: čím hlouběji se potápí (vyšší tlak), tím méně času potřebuje k dosažení nasycení plynem, a naopak, čím déle zůstává pod vodou (větší čas), tím méně tlaku potřebuje k dosažení stejného stupně nasycení. Když je organismus potápěče plně nasycen inertním plynem, bez ohledu na to, kolik času potápěč stráví pod vodou, jak dlouho trvá jeho nasycení inertním plynem, nebo dokonce kolik dní či týdnů setrvává na stejné hloubce, jeho dekompresní profil zůstává stejný. Tato skutečnost tvoří základ saturačního potápění, kdy se princip úplné saturace potápěčů inertním plynem využívá při pracích pod vodou ve velkých hloubkách. (Novomeský, 2013)

1.7.3 Faktor kapilarizace

Transport inertního plynu z alveolárního vzduchu do tkání představuje komplexní proces zajišťovaný především krevním oběhem. V lidském těle se nachází množství tkání s hustou vaskulární sítí a intenzivní perfuzí arteriální krví, která kromě kyslíku obsahuje i rozpuštěný inertní plyn. Tento proces je klíčový pro přenos kyslíku a dalších metabolických látek do buněk a orgánů a zároveň umožňuje odvádění odpadních produktů. Tkáně s bohatou kapilarizací mají za stejnou časovou jednotku anatomicky determinovaný maximální objem prokrvení a tím i maximální kapacitu pro difuzi inertního plynu z krevní plazmy. Těmto tkáním se často říká rychlé tkáně a zahrnují ledviny, mozek, míchu a parenchymové orgány dutiny hrudní a břišní. Naopak tkáně s nižší hustotou kapilární sítě, jako jsou kůže, svaly a kosti, mají nižší perfuzi krve a jsou označovány jako pomalé tkáně. Existují také extrémně pomalé tkáně, jako jsou fascie, chrupavky a některé části vnitřního ucha, které mají minimální nebo žádné cévní řečiště. Během pobytu potápěče pod vodou je sycení těchto tkání inertním plynem velmi zdoluhavé, protože je řízeno především difuzí inertního plynu z okolních, lépe saturovaných tkání. Dospělý člověk má objem krve kolem 5,5-6 litrů, zatímco celkový objem cévního řečiště v lidském těle je odhadován až na 150 litrů. Tento rozdíl vyjadřuje významný problém při posuzování transportu inertního plynu v organismu mechanismem perfuze. Kvalita perfuze tkáně je důležitým faktorem pro rychlost desaturace inertního plynu z dané tkáně během dekomprese. Průtok krve tkání je ovlivněn řadou faktorů, jako je srdeční frekvence, systémový cévní odpor, lokální cévní odpor, viskozita krve, hematokrit a distribuce perfuze v daném orgánu nebo tkáni. Změny v těchto faktorech mohou ovlivnit rychlost a efektivitu transportu inertního plynu v těle. Celkově lze konstatovat, že difuze a perfuzní procesy v distribuci inertního plynu v organismu nelze oddělit. Jsou vzájemně propojené a umožňují výměnu plynů mezi alveolami, krví a tkáněmi. Porozumění anatomickému zásobení krve orgánů a tkání je klíčové pro odhad množství plynu, které mohou absorbovat, a pro posouzení účinnosti transportu kyslíku a dalších látek v těle. (Novomeský, 2013)

1.7.4 Faktor absorpce

Obsah tukových látek v lidském těle ovlivňuje schopnost tkání absorbovat dusík a helium. Tato schopnost se liší mezi různými tkáňovými strukturami. Tkáně s vyšším obsahem tukových látek mají tendenci lépe absorbovat tyto plyny (tab. 2). U lidí je

přibližně 15 % tělesné hmotnosti tvořeno tuky, a největší množství tuků se nachází v kostní dřeni a míše, kde může dosahovat až 90 % resp. 25 %. Z celkového množství dusíku v těle se asi 30 % nachází v tukových tkáních. Tukové kompartmenty se saturují dusíkem přibližně za 8 hodin. Inertní plyny, jako je dusík a helium, projevují vysokou afinitu k centrálnímu nervovému systému a některým částem periferního nervového systému. Tyto plyny jsou přitahovány k tkáňovým strukturám obsahujícím tuky. Historicky byly dekompresní tabulky používané americkým námořnictvem a potápěči v 60. a 70. letech považovány za nevhodné pro širokou populaci potápěčů. U lidí s vyšším obsahem tukových tkání, například žen nebo lidí s mírnou až střední obezitou, tyto tabulky vedly k vyššímu riziku dekompresní nemoci, obvykle označované jako DCS I., i při dodržování předepsaných dekompresních postupů. Schopnost tkání absorbovat inertní plyny je stabilní a zahrnutá v pojmu tkáňového kompartmentu. Při plánování dekompresních procedur je třeba brát v úvahu tuto absorpční schopnost tkání. (Novomeský, 2013, Lánová, 2021)

Tabulka 2: Rozpustnost plynů v kapalinách

| | Dusík | Kyslík | Hélium |
|--------------|-------------|--------------|--------|
| Voda | 12,3 | 23,9 | 8,6 |
| Krev | 12,8 | 23,2 | 8,7 |
| Olivový olej | 66,1 | 110,5 | 15,7 |

(zdroj: Lánová, 2021)

1.7.5 Kompartmenty a poločasy sycení

J. S. Haldane ve svých průkopnických pracích formuloval axiom, který je dodnes přijímán, týkající se saturace tkání inertním plynem. Tento proces má exponenciální charakter, což znamená, že na začátku probíhá velmi rychle, jak naznačuje iniciální strmost saturačních křivek pro různé tkáně či orgánové systémy (obr. 2). Postupně však, s rostoucím množstvím přijatého inertního plynu, dochází k zpomalení saturace, až je dosažen stav úplné saturace dané tkáně. Každá tkáň lidského organismu, včetně krve a lymfy, má svůj charakteristický poločas sycení pro daný inertní plyn. Tento poločas označuje dobu, za kterou se tkáň nasatí inertním plynem na poloviční hodnotu své úplné saturace. První poločas saturace znamená, že je přijato 50 % retenční kapacity dané tkáně pro daný inertní plyn. Druhý poločas saturace probíhá mnohem pomaleji: tkáň

se nasytí jen o polovinu zbylého 50 %, celkově dosáhne 75 % saturace. Saturací křivka začíná ztrácet strmost a zplošťovat se. Ve třetím časovém období dosahuje tkáň saturace na 87,5 %. Saturací křivka v té době probíhá téměř horizontálně. Například, je-li celkový objem inertního plynu, který může tkáň T10 s poločasem sycení 10 minut na sebe navázat, 80 ml, po 50 minutách se tato tkáň nasytí téměř na 97 % (96,875 %). Pro různé tkáně platí různé poločasy sycení, které mohou být od několika minut až po několik hodin (tab. 3).

Tabulka 3: Přehled poločasu a plné saturace kompartmentů, dle modelu ZH-L16

| Kompartment | Poločas saturace N ₂ (min) | 100 % saturace N ₂ |
|-------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 4,0 | 0:24 |
| 2 | 8,0 | 0:48 |
| 3 | 12,5 | 1:15 |
| 4 | 18,5 | 1:51 |
| 5 | 27,0 | 2:42 |
| 6 | 38,3 | 3:50 |
| 7 | 54,3 | 5:26 |
| 8 | 77,0 | 7:42 |
| 9 | 109,0 | 10:54 |
| 10 | 146,0 | 14:36 |
| 11 | 187,0 | 18:42 |
| 12 | 239,0 | 23:54 |
| 13 | 305,0 | 30:30 |
| 14 | 390,0 | 39:00 |
| 15 | 498,0 | 49:48 |
| 16 | 635,0 | 63:30 |

(zdroj: Novomeský 2013)

Přibližně za 12 hodin dochází k úplnému nasycení všech tkání lidského organismu jakýmkoli inertním plynem. Haldane pro své kalkulace vytvořil 5 fiktivních tkání s různými poločasy sycení dusíkem, které se však ukázaly jako nedostatečné. Pozdější modely pracovaly s více tkáněmi. Rozšiřování počtu hypotetických "tkání" představuje problém pro dekompresní kalkulace, protože lidské tělo obsahuje mnoho samostatných morfologických struktur. Proto byly vytvořeny matematické modely s pojmem kompartmentu, což zjednodušuje aproximaci kinetiky inertního plynu v tkáních. Lidský organismus je složitou množinou tkání s různými funkcemi a vlastnostmi. Každá tkáň má svou vlastní rychlost nasycení inertním plynem, ačkoliv vytvářejí celkově morfologické a funkční celky, jako je srdce nebo mozek. Saturační poločasy jsou doby, za které se tkáň nasytí inertním plynem. Tyto doby se liší nejen pro různé kompartmenty, ale i pro různé inertní plyny, jako je dusík nebo helium. Přes veškerou matematickou aproximaci je důležité zdůraznit, že skutečný stav nasycení tkání inertním plynem není přímo měřitelný. Saturační časové údaje jsou spíše matematickou extrapolací empirických zkušeností.

1.8 Desaturace

Potápění do hloubky vystavuje lidský organismus zvýšenému tlaku, který vede k rozpuštění inertních plynů (např. dusíku) v tkáních a krvi. Po ukončení ponoru a návratu na hladinu je nutné, aby se tyto plyny z organismu bezpečně vyloučily. Proces eliminace nadbytečného inertního plynu se nazývá **desaturace**.

1.8.1 Faktory ovlivňující desaturaci

Desaturační proces je ovlivněn řadou faktorů, mezi které patří:

- **Hloubka a délka ponoru:** Čím hlubší a delší je ponor, tím více inertního plynu se v organismu rozpustí a tím delší dobu trvá desaturace.
- **Rychlost výstupu:** Rychlý výstup z hloubky může vést k tvorbě mikrobublin inertního plynu v tkáních a krvi, čímž se zvyšuje riziko dekompresní nemoci.
- **Dekompresní zastávky:** Zastávky v předepsaných hloubkách během výstupu zpomalují desaturaci a snižují riziko dekompresní nemoci.
- **Tkáňové kompartmenty:** Různé tkáně se nasycují a desaturují různou rychlostí. Rychlé tkáně (dobře prokrvené) se desaturují rychleji než pomalé tkáně.

- **Individuální faktory:** Mezi individuální faktory ovlivňující desaturaci patří věk, pohlaví, fyzická kondice, BMI a zdravotní stav.

1.8.2 *Biofyzikální principy desaturace*

Desaturační proces probíhá na základě dvou biofyzikálních mechanismů:

- **Difuze:** Inertní plyn se difunduje z tkání do krve a z krve do alveolárního vzduchu v plicích.
- **Perfúze:** Krevní oběh transportuje inertní plyn z tkání do plic.

V plicích se inertní plyn vylučuje z krve do alveolárního vzduchu a následně se vydechuje do okolního prostředí. Během desaturace se mohou v organismu potápěče tvořit mikroskopické plynové bubliny inertního plynu. Tyto bubliny zpomalují desaturaci a zvyšují riziko dekompresní nemoci, což je stav, který vzniká, pokud se v organismu potápěče během desaturace vytvoří nadbytečné množství mikrobublin. Tyto bubliny mohou blokovat cévy a způsobovat různé symptomy, jako je bolest kloubů, únava, závratě a v nejhorším případě i smrt.

1.8.3 *Dynamika desaturace*

Desaturace je komplexnější proces než saturace. Zatímco saturace probíhá v jedné fázi (inertní plyn se rozpouští v tkáních), desaturace probíhá ve dvou fázích:

- **Fáze rozpuštěného plynu:** Inertní plyn se rozpouští ve tkáních a difunduje do krve.
- **Fáze volného plynu:** Inertní plyn se vylučuje z krve do alveolárního vzduchu a vydechuje se do okolního prostředí.

V desaturačním procesu se uplatňují dva biofyzikální principy:

- **Reverzní tlakový gradient:** Po dosažení maximální hloubky ponoru a zahájení výstupu k hladině klesá parciální tlak inertního plynu v alveolách. Tento pokles tlaku vyvolává reverzní tlakový gradient, který způsobuje difuzi inertního plynu z tkání zpět do krve a následně do alveolárního vzduchu.
- **Fázová separace a mikrobubliny:** Během desaturace dochází k fázové separaci inertního plynu, kdy se tento plyn z rozpuštěného stavu v krvi mění na volný

plyn v podobě mikroskopických bublin. Tyto bubliny mohou způsobovat různé problémy:

Zpomalení desaturace: Mikrobubliny mohou blokovat difuzi rozpuštěného inertního plynu z tkání do krve, čímž zpomalují celý proces desaturace.

Dekompresní nemoc: Pokud se v organismu vytvoří nadbytečné množství mikrobublin, mohou tyto bubliny blokovat krevní cévy a způsobovat různé symptomy dekompresní nemoci, jako je bolest kloubů, závratě, únava a v nejhorších případech i smrt.

1.8.4 Rychlost desaturace

Rychlost desaturace závisí na několika faktorech:

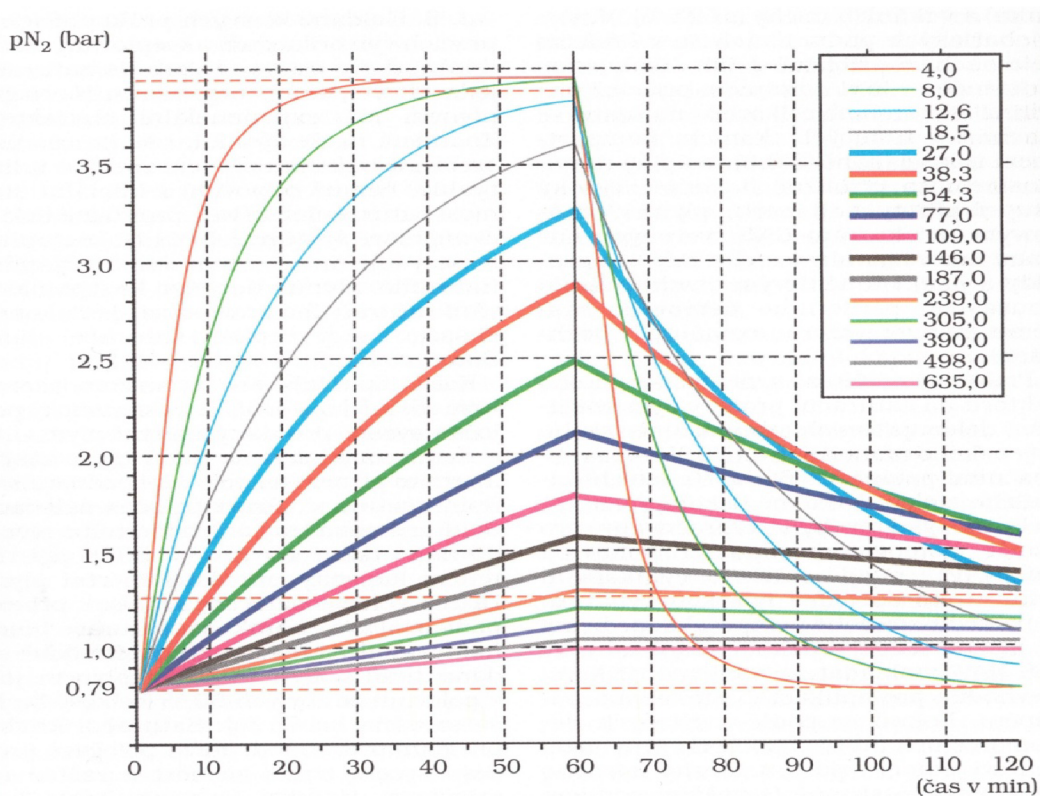
- **Tkáňový kompartment:** Různé tkáně se desaturují různou rychlostí. Rychlé tkáně (dobře prokrvené) se desaturují rychleji než pomalé tkáně (obr. 2).
- **Tlakový gradient:** Čím větší je tlakový rozdíl mezi tkání a alveolárním vzduchem, tím rychleji inertní plyn z tkáně difunduje.
- **Perfúze:** Čím lépe je tkáň prokrvena, tím rychleji probíhá transport inertního plynu z tkáně do krve.

1.8.5 Zásady bezpečného výstupu

Pro minimalizaci rizika dekompresní nemoci je nutné dodržovat zásady bezpečného výstupu:

- **Pomalý výstup:** Rychlý výstup zvyšuje riziko tvorby mikrobublin a dekompresní nemoci. Výstupní rychlost by měla být **pomalá a kontrolovaná**, obvykle maximálně kolem 10 metrů za minutu.
- **Dekompresní zastávky:** Při hlubokých ponorech je nutné provádět **dekompresní zastávky** v specifických hloubkách. Tyto zastávky umožňují plynům v tkáních dostatečně desaturovat a snižují riziko tvorby mikrobublin.
- **Používání dekompresních tabulek nebo počítačů:** Dekompresní tabulky a počítače pomáhají potápěčům naplánovat bezpečný výstup s využitím dekompresních zastávek.

Desaturace je klíčový proces pro bezpečný návrat potápěče z hloubky. Pochopení principů desaturace a dodržování zásad bezpečného výstupu jsou nezbytné pro minimalizaci rizika vzniku dekompresní nemoci.



Obrázek 2: Saturační a desaturační křivky N₂; ZH-L16 (zdroj: Novomeský, 2013)

1.8.6 Reverzní saturace

Z biofyzikálního hlediska je proces "vysycování" inertního plynu považován za jednosměrný. Molekuly inertního plynu postupují z tkání do plic podle klesajících tlakových gradientů. Když se potápěč vynořuje na hladinu, inertní plyn se vylučuje z těla, což by teoreticky mělo zastavit další sycení tkání tímto plynem. Avšak skutečná kinetika pohybu inertního plynu v těle umožňuje reverzní saturaci.

Reverzní saturace znamená, že některé tkáně organismu potápěče mohou být stále nasyceny inertním plynem i během výstupu k hladině. Potřeba porozumět tomuto procesu vyžaduje znalost tří skupin tkání: rychlých, pomalých a extrémně pomalých. Během výstupu potápěče k hladině se poměry parciálních tlaků inertního plynu v těle a v krvi rychle mění. Rychlé tkáně se rychle zbavují přebytku inertního plynu díky dobře fungujícímu transportu krve do plic. Pomalé a extrémně pomalé tkáně se však zbavují plynu pomaleji kvůli nízké perfuzi a nižšímu stupni předchozího nasycení.

Tento proces vytváří paradoxní situaci, kdy se rychlé tkáně zbavují plynu efektivněji než pomalé, ačkoli existuje tlakový gradient pro dosycení pomalých tkání během vynořování potápěče (obr. 2).

Reverzní saturace ukazuje složitost procesu dekompresního potápění a zdůrazňuje, že dekompresní proces není totožný s procesem desaturace.

1.9 Tvorba bublin a jejich pohyb v těle potápěče

Bubliny inertního plynu se vytvářejí přímo v tkáních nebo v cévách a putují do plic. Pokud je však množství těchto bublin v cévách příliš velké a způsobí přetížení plic, plicní filtr selže a výměna plynů v plicích je narušena. Model embolu naznačuje, že bublina inertního plynu může za určitých podmínek projít plicním filtrem. To se může stát buď proto, že se jedná o mikrobublinu, nebo že se bublina zmenší při opětovném ponoru a může projít skrz perzistující otvor mezi srdečními síněmi nebo přes plicní zkraty. Takto může bublina putovat arteriální cestou do tkání, které jsou nasycené inertním plynem, a může se dále zvětšovat.

Kromě klinicky významných bublin se v organismu nacházejí i mikrobubliny, které jsou mikroskopické. Tyto bubliny jsou přítomné i za normálního tlaku a mohou vznikat například na srdečních chlopních nebo v jiných tkáních. Mohou projít plicním filtrem a způsobovat příznaky dekompresní nemoci při rychlém výstupu.

Bubliny v těle některých jedinců mohou způsobovat problémy se srážlivostí krve a aktivací imunitního systému. Někteří potápěči však nemusí vykazovat žádné příznaky dekompresní nemoci, i když mají bubliny v těle. Tyto případy se označují jako „tiché“ nebo „asymptomatické“ bubliny.

Přítomnost plynových bublin v krevním oběhu při dekompresní chorobě (DCS) způsobuje nedostatek kyslíku v tkáních (tkáňovou hypoxii). Tyto bubliny mohou být nalezeny jak v arteriální, tak ve venózní části oběhu a fungují jako embolie, které nemohou samy aktivně migrovat. Když se bublina zasekne v cévě, vytvoří uzávěr a blokuje tok krve (obr. 3). Důsledky této uzávěry jsou odlišné v arteriálním a venózním systému, s potenciálním vznikem poškození tkáně po rekompresní léčbě.



Obrázek 3: Mikrobublina blokující cévu (zdroj: stranypotapecske.cz)

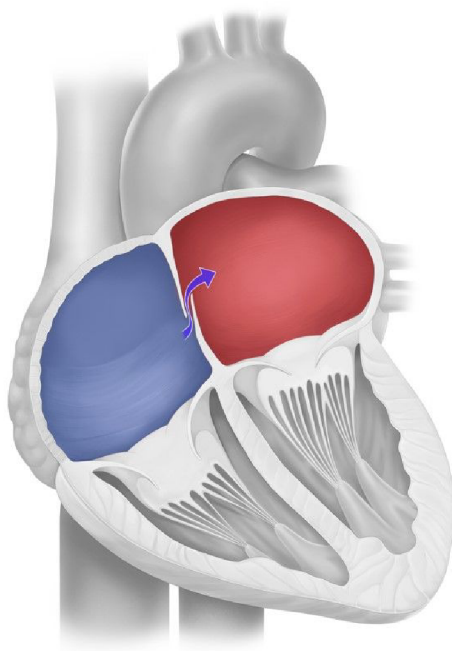
V arteriálním systému mohou bubliny proniknout z venózní části oběhu do kapilárního systému plic. Větší bubliny mohou projít přes plicní cévní spojky nebo otevřené foramen ovale a zablockovat arteriální průtok krve. V extrapulmonální arteriální vaskulatuře jsou bubliny unášeny proudem krve, dokud nedojde k jejich zablockování v cévách. To vytváří mechanické překážky pro krevní oběh do tkání. V arteriálním systému mohou tkáně trpět nedostatkem kyslíku a ischemií, což vede k organickým změnám a funkčním problémům. V mozku může dojít k hypoxickým lézím při uzavěru periferních větviček mozku. Ve venózním systému mohou bubliny zablockovat odtok krve z tkání, což způsobuje hypoxii. Tyto bubliny mohou také vytlačit krev z cév a zpomalit nebo zastavit tok arteriální krve. V epidurálních venózních pletencích míchy může dojít k zablockování odtoku krve, což vede k hypoxickému poškození.

Zkrátka, přítomnost plynových bublin v krevním oběhu může způsobit vážné problémy s dodávkou kyslíku do tkání a vést k jejich poškození. (Edmonds, 2010)

1.9.1 Foramen ovale a Patent foramen ovale (PFO)

Foramen ovale je anatomická struktura v lidském srdci. Jedná se o malý otvor ve stěně srdce, který propojuje pravou a levou síň. Jeho hlavní funkce je během embryonálního vývoje, když plod ještě není narozený. Během fetálního vývoje, kdy plod není schopen dýchat vzduch pomocí plic, kyslík získává z matčina těla skrz placentu. Části okysličené krve, která přichází z placenty do srdce plodu, umožňuje foramen ovale proudit přímo z pravé síně do levé síně a dále do těla plodu a obcházet takto plicní oběh (obr. 4). Po narození, kdy plod začne dýchat vzduch a jeho plicní oběh se aktivuje, krevní tlak v levé síni stoupá, což pomáhá uzavřít foramen ovale. U většiny lidí

se foramen ovale uzavře několik týdnů po narození. Avšak u některých jedinců může zůstat otevřený, což se nazývá **foramen ovale patens**. Většinou toto nepředstavuje problém, ale v některých případech může být tato anomálie spojena s rizikem mozkové příhody nebo jiných kardiovaskulárních problémů. Dle odborné literatury u 20 - 30 % populace zůstává foramen ovale otevřené i v dospělosti. Lze předpokládat, že stejné procentuální zastoupení je i mezi rekreačními potápěči. Pro přijetí k výcviku v soukromém sektoru však není vyšetření na jeho přítomnost vyžadováno žádnou školou ani výcvikovým systémem, ve kterém výuka probíhá. Absolvování vyšetření by však mělo být alespoň doporučeno. U Hasičského záchranného sboru je podmínkou k přijetí do potápěčské skupiny vyšetření na přítomnost PFO. Až po potvrzení negativního výsledku může být uchazeč zařazen do potápěčského výcviku. Toto vyšetření je většinou požadováno i u pracovních a hloubkových potápěčů.



Obrázek 4: Patent foramen ovale; PFO (zdroj: uzs.ch)

Zmíněný vrozený defekt mezipředsínové příhrádky srdce totiž může umožnit prostup mikrobublin plynu z pravé předsíně do levé předsíně. Tento pravo-levý bublinový transfer nastane při momentálním zvýšení tlaku v pravé předsíni, čímž dojde k odchýlení membrány, která cele, nebo částečně překrývá foramen ovale

a k následnému vmetení roje bublin do arteriální části krevního oběhu. Bubliny dále postupují do levé srdeční komory a dále jsou distribuovány do velkého krevního oběhu, kde mohou způsobovat řadu patofyziologických následků. Zvýšení tlaku v pravé části srdce s následným přestupem bublin může potápěč navodit i sám, například použitím Valsalvova manévru. Valsalvův manévr (zacpání nosu s následnou usilovnou snahou výdechu nosem) se používá pro vyrovnání tlaků ve středouší, nebo při známkách alternobarického vertiga. Zvýšení tlaku může rovněž způsobit také například náhlý záchvat kašle. Ani po vynoření a ukončení ponoru není však potápěč zcela v bezpečí. Vzhledem ke stále probíhající desaturaci a přítomnosti bezpříznakových bublin může opět nastat situace, která zvýšením tlaku může způsobit opětovný přestup bublin přes foramen ovale. Velmi často k tomuto přispívá manipulace s těžkými předměty v kombinaci se zadržením dechu. Konkrétně při přístrojovém potápění se jedná o nošení těžkých ocelových potápěčských lahví.

Na přítomnost PFO velmi často potápěče upozorňují opakované bolesti hlavy i po jinak bezproblémových ponorech. Potápěči tyto bolesti nejčastěji přirovnávají k migrénám. Za jistých okolností se lze potápět i s otevřeným PFO, avšak předpokládá to pečlivé plánování ponorů, dodržování nulových (bezdekompresních) časů a dodržování všech bezpečnostních zastávek a předpisů. Při ponoru a bezprostředně po ponoru by se tito potápěči měli vyvarovat jakékoli fyzické námahy. V současné době se s velmi vysokým procentem úspěšnosti provádí chirurgické uzavření PFO septálním okluderem. Rovněž v mezikomorové příhradce může dojít ke vrozenému defektu, který je však charakterizován klinickými příznaky již od dětství. S tímto defektem je potápění přísně zakázáno. (Balcar, 2000; Novomeský, 2013)

1.10 Dekomprese potápěče

Jedná se o výstupovou fázi ponoru, při které z fyzikálního hlediska dochází ke snižování okolního hydrostatického tlaku a tudíž o snižování tlaku působícího na lidský organismus potápěče a to až na tlak normobarický (tlak na hladině). Tímto procesem prochází každý potápěč i během vynořování se z velmi malých hloubek. Můžeme tedy prohlásit, že v reálném světě neexistuje bezdekompresní ponor, i když v potápěčské praxi při používání dekompresních tabulek a osobních potápěčských počítačů o bezdekompresních ponorech hovoříme. Správně provedená dekomprese závisí na vhodně zvolené dekompresní strategii, která by měla zaručit, že bez ohledu

na dosaženou hloubku a čas strávený v této hloubce, umožňuje bezpečné vyhoření, nebo vyzvednutí potápěče bez manifestace příznaků dekompresní nemoci. Tyto dekompresní postupy představují kombinaci různých matematicko-fyzikálních modelů a jejich ověření v praxi. Dekompresních postupů je celá řada, nejen pro potápění se vzduchem, ale také pro potápění se vzduchem ve vyšších nadmořských výškách, pro potápění se směsmi dýchacího média (NITROX, TRIMIX,...), pro saturační potápění. Všechny tyto algoritmy ale sledují stejný cíl, bezpečné vynoření potápěče bez dekompresních příznaků s ohledem na tři základní podmínky.

- **M-values:** hodnota, maximálního tolerovaného přesycení jednotlivých tkání inertním plynem, které každá jednotlivá tkáň dokáže ještě tolerovat, bez příznaků DCS.
- **Kyslíkové okénko:** jedná se o rozdíl tlakových poměrů O_2 a CO_2 na základě rozdílné rozpustnosti těchto plynů v organismu, při zachování jejich stálého objemu
- **Zbytkové inertní plyny v organismu:** poslední pomyslná dekompresní zastávka je po vynoření, na hladině, kdy stále dochází k desaturaci organismu, která se po určité době ukončí, do této doby však dekompresní postupy kalkulují s reziduem těchto plynů pro případ opakovaných ponorů, nebo letů ve vysokých výškách

Vzhledem k tomu, že desaturace organismu probíhá mnohem pomaleji než jeho saturace (viz obr. č. 3) musíme do správně provedené dekomprese zahrnout mnoho faktorů ovlivňující její úspěšné zvládnutí. Počítat musíme, s ohledem na čas strávený na dekompresních zastávkách, s prochlazením, s nedostatkem pohybu, nebo naopak se zvýšenou fyzickou námahou, se stresem, s momentální zdravotním stavem potápěče, s přítomností PFO, s dostatečnou zásobou dýchacího média, s přípravou vhodných dekompresních směsí (vzduch, NITROX, O_2 ,...), Vytváření dekompresních procedur v sobě zahrnuje mnoho dílčích kroků, vedoucích ke konečnému výsledku, počínaje výběrem cílové skupiny, přes výběr modelu sycení jednotlivých tkání, volbu dýchacího a případného dekompresního média, až po ověření těchto postupů takzvanou suchou cestou a následně i mokrou cestou. I v současnosti se můžeme setkat s ponory, pro které nelze vytvořit ideální a hlavně ověřený dekompresní postup. Jedná se zejména o hloubkové prvoponory a rekordy, experimentální ponory, nebo při střídání hloubek

během mnohahodinových tlakových expozičních (např. průniky do jeskynních systémů). (Harris, 2003; Black, 2011; Novomeský, 2013)

1.10.1 Dekompresní tabulky, kalkulátory a osobní počítače

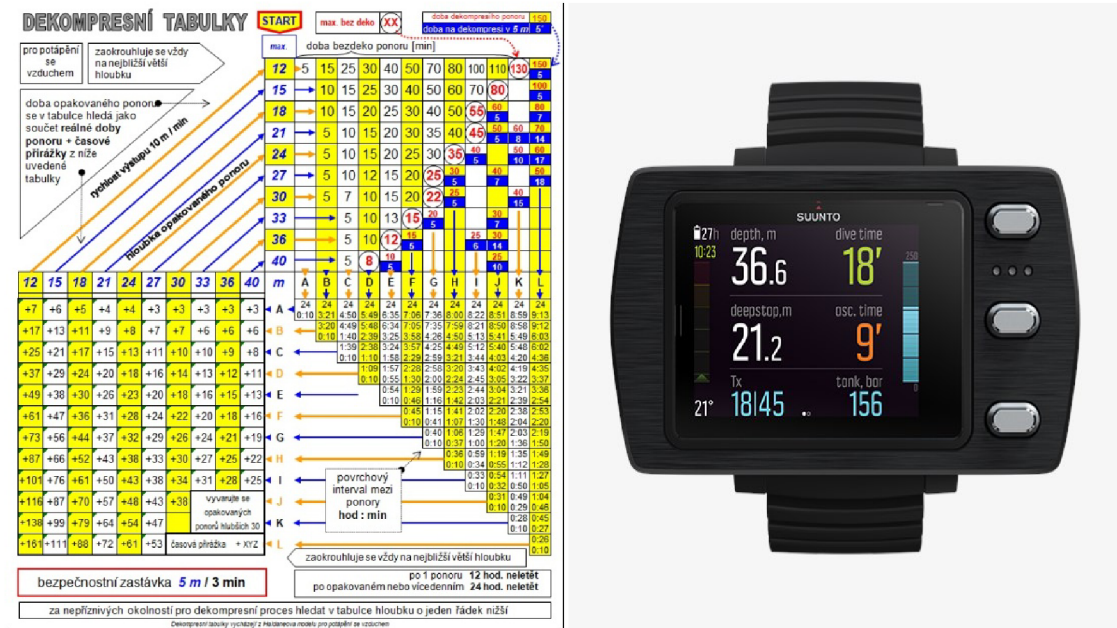
V rekreační, ale rovněž v komerčním potápění se pro snadné stanovení dekompresních procedur využívaly v největší míře takzvané dekompresní tabulky. První tabulky byly vytvořeny a publikovány v roce 1908 (Boycott, Damant, Haldane) v Anglii. Během let byly tyto tabulky zdokonalovány a zároveň byly vytvářeny další a další. Jejich počty můžeme do dnešní doby počítat s jistotou na desítky. Jako příklad můžeme uvést, v dnešní době, nepoužívanější zástupce dekompresních tabulek. Tabulky US NAVY, CMAS, Bühlmann, Dräger, PADI, IANTD, RDP a další. U Hasičského záchranného sboru se používají tabulky CMAS, které v roce 2016 nahradily dekompresní tabulky Dräger. Tabulky CMAS však byly v roce 2018 modifikovány, což se zatím neodrazilo ve směrnících pro potápění u HZS a používají se stále tabulky CMAS platné do roku 2018. Všechny dekompresní tabulky však počítají se stejnými proměnnými:

- **BT - Bottom Time:** čas strávený na dně. Jedná se o čas od zanoření až po začátek výstupu.
- **MOD - Maximum Operation Depth:** největší dosažená hloubka během ponoru.
- **Rychlost výstupu:** proměnná lišící se dle použitých dekompresních tabulek (zhruba od 6 m/s do 18 m/s).

Dalším z pomůcek pro stanovení dekomprese byly dekompresní kalkulátory. Jedná se o mechanické pomůcky (plastová, nebo papírová otočná kolečka), na kterých se nastavily proměnné (čas na dně a maximální hloubka) a v příslušném okénku se odečetl dekompresní postup.

Obě tyto pomůcky jsou v dnešní však již vytlačeny osobními potápěčskými počítači. Ty v podstatě nahradily i dekompresní tabulky (obr. 5), které se používají nejvýše u plánování ponorů. Dekompresní počítače umožňují předem naplánovat ponor, lze nastavit směs, s jakou bude potápeč provádět ponor (vzduch, NITROX, TRIMIX), a umožňuje i přechod z jedné směsi na druhou. Dynamicky dopočítávají a upravují hloubky a časy dekompresních zastávek. Některé počítače umožňují též široké individuální nastavení profilu ponoru i potápeče. Například stanovení maximálního

parciálního tlaku kyslíku během ponoru a tím pádem stanovení MOD, nastavení alarmu pro bezdekompresní ponor a mnoho dalších. Sofistikovanější počítače lze bezdrátovou sondou propojit s tlakovou láhví potápěče a sledovat a kontrolovat tlak dýchacího média v láhvi a spotřebu vzduchu. Orientace a přehlednost a také přesnost osobních počítačů během ponoru je neoddiskutovatelně větší než u dekompresních tabulek. (Suunto, 2024)



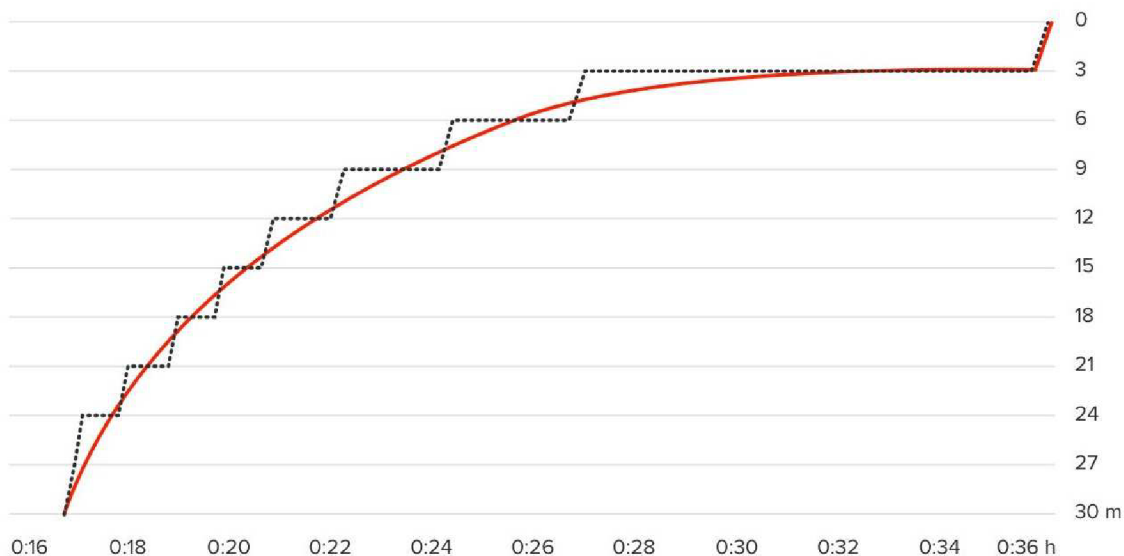
Obrázek 5: Dekompresní tabulka CMAS a osobní počítač Suunto EON Steel Black (zdroj: suunto.com)

1.10.2 Kontinuální a stupňovitá dekomprese

Jak již bylo zmíněno výše, v potápěčské praxi neexistuje bezdekompresní ponor. Přesto se tohoto pojmu užívá ve spojitosti s potápěním, zejména rekreačním, kdy je doporučeno provádět bezdekompresní ponory. To znamená, absolvovat pouze takové ponory, při kterých není bezpodmínečně nutné zařadit během výstupu dekompresní zastávky. Během každého ponoru by však měl potápěč vykonat bezpečnostní zastávku. Ta nenahrazuje zastávky dekompresní a je vykonávána pouze z bezpečnostního hlediska. Tato zastávka je obvykle mezi 3-5 m a trvá 3 - 5 min. Tato zastávka se provádí i v případě, že již předtím byla vykonána dekomprese s poslední zastávkou ve stejné hloubce. Fáze výstupu je z hlediska náročnosti zřejmě nejkritičtější fází ponoru a právě zde dochází k nejvíce nehodám, zejména při potápění ve volné vodě, bez dostatečného zajištění (výstupové lano, vodící linka, dekobóje).

Ideálně provedená dekomprese by představovala pomalý, přesně řízený výstup, který by svým profilem kopíroval exponenciální křivku, kterou organismus potápěče vysycuje inertní plyn. Takovéto dekompresi, bez zastávek s plynulým profilem říkáme **kontinuální dekomprese**. Toto provedení výstupu je však v běžné praxi přístrojového potápění zcela nemožné. V pracovním potápění můžeme narazit na situace, kdy je potápěč pomalu vytahován v kleci na loď, hráz, nebo jiné vodní dílo a obsluha se snaží kopírovat přesný profil vynořování bez nutnosti vykonání dekompresních zastávek. Častěji se s kontinuální dekompresí můžeme setkat v hloubkovém a zejména v saturačním potápění. Potápěč po vykonání práce přímo pod vodou vstupuje do speciální "kapsle" ve které je tlak rovnající se aktuální hloubce. Kapsle je uzavřena a vytažena na hladinu. Zde je připojena k barokomoře, ve které je shodný tlak jako v kapsli. Potápěč přestoupí do barokomory a zde v teple, klidu a suchu vykonává dekompresi, která může trvat několik hodin, až dní. Postupné snižování tlaku může být řízeno počítačem. Zde právě můžeme hovořit o kontinuální dekompresi. Nebo alespoň o přiblížení se ideální výstupové křivce.

Při volném potápění s dýchacím přístrojem však nedokážeme díky tlakovým a objemovým změnám přesně regulovat rychlost výstupu a proto vykonáváme takzvanou **stupňovitou dekompresi**. Jedná se o dekompresní postup, při kterém jsou vykonány v určitých předem daných, nebo počítačem doporučených hloubkách zastávky po určitou dobu. Po uplynutí stanovené doby potápěč sníží hloubku a vystoupá k provedení další dekompresní zastávky (DZ). Toto je většinou řízeno osobním dekompresním počítačem, který zároveň hlídá hloubku i čas strávený na DZ. Na konci ponoru provádíme ještě zastávku bezpečnostní a poté již následuje samotné vynoření a dokončení dekompresního procesu a úplné desaturace organismu již na hladině. Z grafu (obr. 6) je patrné, že čas strávený na dekompresních zastávkách se postupně se snižující se hloubkou prodlužuje. Tento efekt přináší při delších ponorech značný diskomfort. Chlad, únava, nuda, hlad, stres, proto jsou pro zkrácení času na DZ používány speciální dekompresní směsi (např. NITROX), nebo čistý kyslík. Použitím těchto, o kyslík obohacených směsí, se eliminuje další saturace inertního plynu, který je naopak "vytlačován" kyslíkem který vstupuje do organismu pod vyšším parciálním tlakem. Zde se již tímto principem přibližujeme k podstatě léčby dekompresních nemocí v barokomorách. (Piškula, 1985; Dobeš, 2005; UDI, 2010; PADI, 2011)



Obrázek 6: Kontinuální a stupňovitá dekomprese (zdroj: vlastní)

1.11 Dekompresní nemoc

Dekompresní nemoc (DCS z anglického Decompression sickness), také známá jako potápěčská nemoc a též nazývaná Kesonová nemoc, je závažný zdravotní stav který postihuje potápěče a další osoby vystavené vysokým tlakům a následnému rychlému poklesu tlaku. Tato nemoc je způsobena uvolněním rozpuštěného dusíku v tkáních těla při exponenciálním poklesu tlaku, což vede ke vzniku bublinek dusíku v krevním řečišti a v tkáních. Při potápění pod vodou je tělo vystaveno zvýšenému tlaku způsobenému vodou.

Během vynořování dochází k postupnému snižování tlaku, což může vést, při hrubém narušení procesu desaturace k tvorbě bublinek fyzikálně rozpuštěného inertního plynu v tkáních a ve fyziologických tělních tekutinách a k jejich reakci s organismem.

Dekompresní nemoci se vyskytují především u potápěčů, kteří se potápějí do větších hloubek, ale může se také vyskytnout u letců, kteří podstupují vysokohorské lety v letadlech bez přetlakové kabiny, nebo u lidí pracujících v přetlakových komorách. Symptomy dekompresních nemocí se mohou lišit, ale zahrnují bolesti kloubů a svalů, únavu, závratě, nauzea, ztrátu paměti, poruchy vidění a dýchací potíže. V závažných, často i život ohrožujících případech, může dojít k neurologickým příznakům, jako je paralýza nebo ztráta vědomí. Léčba dekompresní nemoci zahrnuje vystavení postiženého jedince vyššímu tlaku v hyperbarické komoře, což pomáhá snížit množství

rozpuštěného dusíku v těle a umožňuje tělu bezpečně se přebytečného dusíku zbavit. V závažných případech může být nutný lékařský zákrok, jako je podávání kyslíku nebo léků proti bolesti. Důležitou prevencí vzniku dekompresních chorob je dodržování správných dekompresních postupů uvedených v potápěčských tabulkách a časových limitů, které stanovují rychlost vynořování se a délku povrchového intervalu mezi potápěními. Dodržování těchto směrnic pomáhá minimalizovat riziko dekompresní nemoci a udržovat potápěče v bezpečí. Potápěči, kteří v minulosti prodělali DCS, by se měli před dalším ponorem vždy poradit s lékařem. (Gwilliam, 2021; Huang, 2023)

1.11.1 Rozdělení dekompresní nemoci

Všechny druhy dekompresního onemocnění byly poprvé podrobně popsány v roce 1960 v Anglii po pozorování kesonářů pracujících na budování tunelu Dartfordu. Zde došlo také k prvnímu rozdělení na dva základní typy.

- **DCS I. typu** - lehčí forma onemocnění
- **DCS II. typu** - těžší forma onemocnění

V pozdějších letech sem byla ještě zařazena arteriální plynová embolie (AGE), jako DCS III. Tento pojem se však příliš neujal a postupem času byla AGE z této klasifikace vyřazena, jelikož nebyla považována za dekompresní nemoc a to i přes to, že při její léčbě se používají stejné léčebné rekompresní postupy, jako u DCS. V současnosti zůstává medicínské rozdělení DCS pouze do dvou skupin.

1.12 DCS I. typu

Sem spadají ty formy dekompresní nemoci, které je možno obecně považovat za lehčí s možností léčby i bez použití přetlakové rekompresní komory. Potápěč není bezprostředně ohrožen na životě. Některé z forem DCS I. jsou však velmi bolestivé. Naopak, v určitých případech se může dekompresní nemoc typu I. rozvinout v dekompresní nemoc typu II., nebo může alespoň signalizovat rozvoj v závažnější typ DCS. V případě možnosti je doporučeno léčit i DCS I. typu rekompresní terapií.

1.12.1 Kožní forma

Dekompresní nemoc (DCS) se projevuje v různých formách, a jednou z nich je kožní forma dekompresní nemoci, která je jejím nejčastějším typem a postihuje pouze kůži.

Obvykle se objevuje u rekreačních potápěčů po ponorech s krátkými povrchovými intervaly a v menších hloubkách. Hlavním příznakem kožní DCS je mramorování kůže, které se projevuje růžovočervenými až červenofialovými skvrnami a plochami s ostrůvky nepostížené kůže. Může se objevit také svědění, ale není to vždy přítomno. Toto mramorování se nejčastěji vyskytuje na trupu, krku a končetinách a objevuje se během 10 až 180 minut po ukončení ponoru. Většina případů kožní DCS se naštěstí zlepší spontánně během několika hodin a nutně nevyžaduje rekompresi. Léčba se obvykle zaměřuje na zmírnění symptomů, jako je svědění, a zahrnuje podávání normobarického kyslíku a rehydrataci pacienta. V případě silného svědění mohou být použita lokální antihistaminika, v těžších případech pak i systémová antihistaminika a kortikosteroidy. Nejlepším způsobem, jak předcházet kožní DCS, je dodržovat doporučené povrchové intervaly a vyhýbat se opakovaným ponorům do menších hloubek.

1.12.2 Muskuloskeletální forma

Muskuloskeletální varianta je charakterizovaná bolestí svalů a kloubů, jež se může pohybovat od mírného tlaku až po intenzivní bolest. Tento typ DCS vzniká v důsledku expanze plynových bublin v kloubních a svalových tkáních. Tyto bubliny dráždí nervová zakončení, což způsobuje bolest. V závažných případech může docházet k rozpadu svalové tkáně. Hlavním symptomatickým rysem muskuloskeletální formy DCS je bolest, často lokalizovaná v loketních, ramenních, bederních a kolenních kloubech, a méně často v drobných kloubech prstů rukou. Intenzita bolesti se může lišit od pocitu tlaku a plnosti kloubu, přes tupé bolesti podobné artritidě, až po hlubokou ničující bolest. Pro diagnostiku této formy DCS se často používá test s manžetou měřiče krevního tlaku. Manžeta se umístí na bolestivý kloub a nafoukne se na tlak 20-26 kPa (150-200 mm Hg), po jejím odstranění dochází rychle k návratu bolesti. Pokud dojde k dočasnému ústupu bolesti, může to být indikace DCS. Léčba muskuloskeletální formy DCS zahrnuje rekompresi v hyperbarické komoře, snižující objem plynových bublin, dále léky proti bolesti a antirevmatika ke zmírnění symptomů, a klidový režim, který brání zhoršení stavu.

1.12.3 Lymfatická forma

Lymfatická varianta dekompresní nemoci typu I se vyskytuje vzácněji, přibližně u 10 % případů DCS I. typu. Vzniká ucpáním lymfatických cév a uzlin plynnými

mikrobublínkami inertního plynu. V některých případech může dojít k nebolestivému otoku měkkých tkání kolem postiženého kloubu v rámci muskuloskeletální formy DCS I. typu. Pravá lymfatická forma je charakterizována ohraničeným, bezbolestným otokem pod kůží, který se objeví do několika hodin po ponoru. V mírnějších případech se tento otok často vytvoří na jedné straně krku pod čelistí, připomínajíc zánět příušní žlázy. V závažnějších případech může dojít k elastickému prosáknutí podkoží kolem celého krku a horní části hrudníku. Masivní otok obvykle symetricky postihuje oblast nad klíčními kostmi v oblasti prsního svalu. Může se rozprostírat nad klíční část prsních svalů a na zádech v horní části trapézového svalu, a někdy až nad deltovým svalem. Méně často se může vyskytnout i v podpaží. Tento stav se obvykle spontánně upraví během několika dnů a není vyžadována rekompresní léčba, ale po rekompresi rychleji ustoupí.

1.12.4 Kardiální forma

Jedná se o vzácnou formu DCS, při níž se vytvářejí mikrobublíny inertního plynu přímo ve svalovině srdce. Tlakem a svou expanzí mohou tyto bubliny blokovat mechanismy srdce, což se následně klinicky může projevit například srdeční arytmií. Tento stav může zdánlivě připomínat infarkt myokardu, nebo pocit nepravidelného tlukotu srdce, doprovázený ztíženým dýcháním. Vhodná forma léčby je rekomprese v hyperbarické komoře.

1.12.5 Únavová (nespecifická) forma

Nejpodceňovanější formou DCS je její únavová forma. Projevuje se pocitem výrazné únavy až celkového vyčerpání, nechutenstvím, pobolíváním svalů a kloubů, bolestmi hlavy, nebo zdánlivým pocitem tepelného diskomfortu. Stav se ve většině případů po několika hodinách sám stabilizuje. Toto postižení, s největší pravděpodobností, způsobuje tvorba mikrobublín inertního plynu, které v místě působení způsobují lokální poruchy cirkulace krve. Při těchto syndromech není zpravidla vyžadována léčba ve zvýšeném tlaku (i když její nasazení je vhodné), avšak je doporučeno přerušit potápění na 24 hodin. Tuto formu DCS považujeme za jakési varování před vystavením jedince dalšímu působení zvýšeného hyperbarického prostředí (ponor), které by mohlo přerůst v závažnější problém.

1.13 DCS II. typu

Dekompresní nemoc II. typu představuje těžké formy postižení organismu, které vždy bezpodmínečně a v co nejkratším čase vyžadují rekompresi potápěče v barokomoře. Bez této léčby mohou způsobit smrt potápěče, nebo v případě pozitivnějšího průběhu, mohou "pouze" zanechat trvalé následky. Příznaky DCS II. typu se u potápěče mohou projevovat již pod vodou během výstupu.

1.13.1 Kardiopulmonální forma

V historii se s touto patrně nejnebezpečnější formou DCS setkáváme u řeckých potápěčů, lovců mořských hub, z přelomu 19. a 20. století. Po pomalém výstupu z velké hloubky (až 50 m), avšak bez znalosti dekomprese a bez absolvování dekompresních zastávek postihoval potápěče prudký dusivý kašel, bolesti na prsou a další příznaky plně rozvinuté KP formy DCS. I když byl potápěč ihned vrácen do vody a podstoupil takzvanou mokrou rekompresi, velmi často tyto případy končily úmrtím. Plíce, které fungují jako pomyslný desaturační filtr mikrobublin inertního plynu z kapilárního řečiště jsou samy postiženy a dochází k zástavě pulmonální cirkulace. Plíce kolabují a nejsou schopny vykonávat svojí ventilační, ani desaturační funkci. K projevům kardiopulmonálního postižení dochází zpravidla do 1 - 3 minut po vynoření a projevuje se velkou bolestí na hrudi, mělkým dýcháním, kašlem, bledostí, šokem. V souvislosti s mechanickým poškozením plic, které často doprovází tuto formu postižení, dochází k vykašlávání menšího množství krvavé pěny. Bez okamžitého zásahu a rekomprese nastupuje plicní edém, bezvědomí a smrt. Kardiopulmonální forma DCS bývá v častých případech spojena s její neurologickou formou.

1.13.2 Neurologická forma

Je dalším z velmi závažných forem dekompresních chorob postihujících neurologický systém potápěče a nezřídka, pokud nekončí smrtí, zanechává na organismu trvalé následky. Toto postižení dělíme podle oblasti působení negativních jevů na **cerebrální (mozkovou)** a na **spinální (míšní)**.

- **Cerebrální** - vzniká v důsledku přítomnosti mikrobublin v cévním řečišti mozku, jež přestoupily přes otevřené PFO, nebo které nebyly difundovány v plicích a přešly přes intrapulmonální zkrat (přechod mezi arteriálními

a venózními cévami), nebo které vznikly přímo v mozkové tkáni. V důsledku tohoto dochází k mozkové plynové embolii. Klinický projev cerebrálního DCS se projevuje většinou velmi krátce po vynoření a je doprovázen charakteristickými neurologickými příznaky i s možnou ztrátou vědomí. Mezi ně řadíme například, paralýzu jedné končetiny, nebo celé poloviny těla (stejně jako u mozkové příhody), potíže s porozuměním řeči, problémy s vyjadřováním, nebo není jedinec schopen rozpoznávat objekty, tváře, zvuky, postiženy mohou být také další smysly.

- **Spinální** - cévní zásobení míchy je na rozdíl od cévního zásobení jiných orgánů, včetně mozku, natolik specifické a variabilní, že téměř znemožňuje proniknutí mikrobublin inertního plynu do tohoto systému. Spinální DCS tedy není přímým důsledkem ischemie, vyvolaným blokadí průtoku krve mikrobublinami, ale jako důsledek samovolného vzniku bublin v bílé hmotě míchy, zejména v pochvách axonů (nervových vláken), z nichž vzhledem k uspořádání míchy nemohou uniknout. Tyto bubliny způsobují utiskování drobných cév, čímž zapříčiňují vznik ischemických ložisek a zároveň ložisek s mechanickým tkáňovým poškozením. Dochází k mikroskopickému řidnutí míchy a k axonálnímu rozpadu (přerušování nervových vláken). Manifestace příznaků nastává do několika minut po vynoření, vzácně se však mohou příznaky projevit až několik hodin po ponoru. Jedná se obvykle o částečné, nebo úplné paraplegie a kvadruplegie, ztrátu vědomí, inkontinenci moči a stolice, nebo naopak ztráta schopnosti močení, obtížným dýcháním, částečnou, nebo úplnou ztrátou citlivosti kůže. Při závažných postiženích potápěčů bývá i při včasné léčbě poměrně vysoká mortalita. Léčba probíhá medikací a okamžitou rekompresí postiženého.
- **Postižení periferních nervů** - je speciální, zvláštní formou neurologického postižení. Nejedná se však o tak závažný stav, jako u spinálního DCS. Lokálně jsou postiženy pochvy periferních nervů, zejména na přední stěně stehna, na břichu, nebo na hrudníku. Ložiska jsou viditelně ohraničena a projevují se ztrátou kožní citlivosti.

1.13.3 DCS vnitřního ucha

Jedná se o specifickou formu DCS objevující se v praxi zejména v pracovním potápění při použití speciální dýchací směsi HELIOX, nebo TRIMIX. Směs obsahující v určitém poměru helium a kyslík. Tato forma postižení je pravděpodobně způsobena vniknutím helia, při následném vzniku bublin, do vnitřního ucha přes kulaté okénko, kde postihuje kapilární systém ušního labyrintu a také vyvolání tlaku na řasinky. Mezi projevy této DCS řadíme poruchu sluchu, tinitus, závratě, poruchy rovnováhy, zvracení.

1.13.4 Taravana

Zvláštním případem nemoci s příznaky dekompresní choroby je syndrom zvaný Taravana. Tento syndrom byl poprvé popsán v průběhu šedesátých let minulého století u lovců perlorodek v polynéském souostroví Tuamotu. V domorodém jazyku znamená slovo taravana zkroucení, nebo obrnu. Pozorovaní lovci perlorodek uskutečňovali ponory bez použití dýchacích přístrojů, v apnoích. Potápěli se opakovaně do hloubek 10 - 40 m, kam se zanořovali pomocí závaží, které následně odhodili, vykonali práci a provedli vynošení. Každý jednotlivý ponor trval v rozmezí od půl, do jedné minuty. Poté následovala tří až desetiminutová pauza na hladině a potápěč vykonal další ponor. Denní pracovní doba se pohybovala kolem šesti hodin. Ke konci pracovního dne se zhruba u 20 % lovců vyskytovaly problémy velmi podobné příznakům dekompresních nemocí. Ztráta sluchu, paralýzy končetin, bolesti kloubů, závratě a neřídka i smrt potápěče. Vznik tohoto druhu DCS je postupný a pomalý. Při každém ponoru dochází k mikrosaturaci inertního plynu do krve a k následné distribuci tohoto plynu až do tkání, kde probíhá jejich postupné sycení. Po ukončení práce a ukončení ponorů se tělo začíná postupně nekontrolovaně vysycovat, bez možnosti vykonání dekompresních zastávek. (Novomeský, 2013)

1.13.5 Predispozice pro vznik dekompresní nemoci

Ke vzniku dekompresní nemoci má každý potápěč větší či menší předpoklady, dá se říct, jako ke každé jiné nemoci. Jsou dány dlouhodobým somatickým a aktuálním, funkčním, stavem jedince.

- Nadměrná tělesná hmotnost
- Fyzická námaha po ponoru

- Vyšší věk
- Dehydratace
- Teplota těla a teplota okolí
- Alkohol
- Psychický stav potápěče
- Nesprávná a v nevhodnou dobu provedená kompenzace tlaku ve středouší
- Létání před potápění
- Darování krve
- Požití stravy bezprostředně po ponoru

Další, nepřímé faktory ovlivňující rozvoj dekompresní nemoci můžeme označit jako sekundární a jsou spjaty zejména s provedením samotného ponoru.

- Profil ponoru
- Opakované ponory
- Povrchový interval mezi ponory
- Reverzní profily ponorů
- Použití umělých dýchacích směsí
- Poloha těla při dekompresi

1.13.6 Příčiny vzniku DCS

Obecné lze říci, že příčinou vzniku dekompresní nemoci je závažné porušení dekompresního postupu a vážné narušení desaturace inertního plynu z organismu potápěče. Tyto příčiny můžeme obecně rozdělit:

a) **Teoretické** - zahrnují například chybné teoretické stanovení dekompresních zastávek během plánování ponoru, chybný výpočet dostatečné zásoby dýchacího média, nevhodně zvolený dekompresní plyn.

b) **Praktické** - sem spadají příčiny související přímo s praktickým provedením ponoru, které mají za následek nedodržení hloubek, nebo časů stanovených dekompresních zastávek, nebo jejich úplné vynechání. Mohou být způsobeny překročením výstupové rychlosti, špatným ovládnutím vztlakových zařízení (žaket, křídlo, suchý oblek), neschopností udržet se na předepsané hloubce dekompresní zastávky, špatně zvolenou

konfigurací výstroje, technickými závadami, nebo nechtěným výstupem zapříčiněným například dekompresní bójí.

c) **Fyziologické** - jedná se zejména o predispoziční vlastnosti jedince a o individuální odpověď organismu na prováděnou dekompresi

1.13.7 Časové rozpětí projevu klinických příznaků DCS

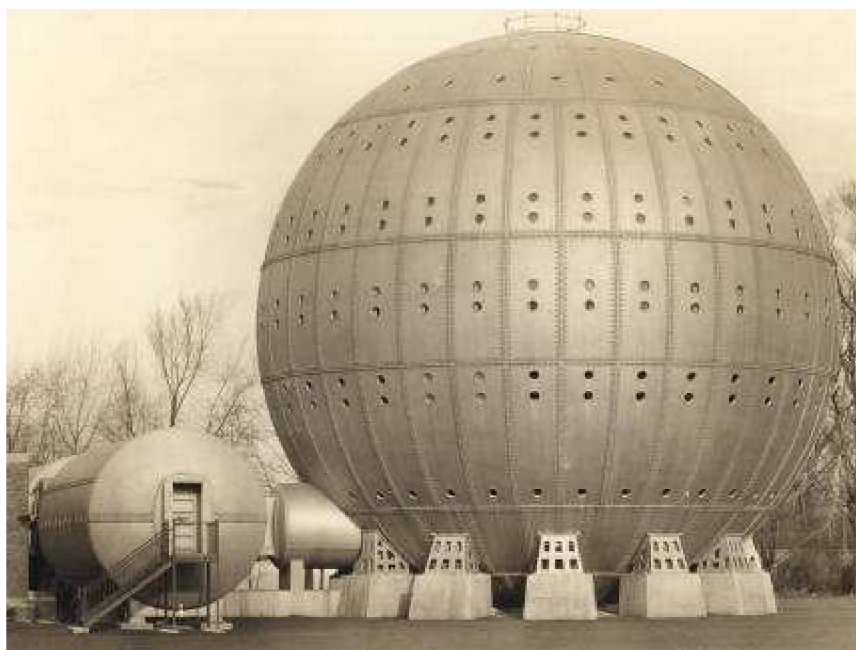
Tabulka 4: Projev příznaků DCS.

| Manifestace klinických příznaků DCS | |
|-------------------------------------|------------------|
| Doba | Procento případů |
| do 1 hodiny | 42 % |
| do 3 hodin | 60 % |
| do 8 hodin | 83 % |
| do 24 hodin | 98 % |
| do 48 hodin | 100 % |

(zdroj: US NAVY)

1.14 Léčba dekompresní nemoci potápěčů

Dříve než začneme hovořit o léčbě dekompresní nemoci je potřeba se ohlédnout do historie a uvědomit si na co tato terapie navazuje. Lékařský obor **Hyperbarická medicína** a na ní navazující **Hyperbarická oxygenoterapie (HBO)** získaly svůj název sice až v 70. letech 20. století, ale skutečné počátky léčby v přetlaku se datují hluboko do 17. století. Prokazatelné první zařízení pro léčbu v přetlaku (ale i podtlaku) sestrojil v roce 1662 Nathaniel Henshaw. Postupný vývoj této terapie nabral na tempu a počátkem 19. století se ve Francii objevila nová móda, a to pobyt v hyperbarické komoře. Tento, doslova módní hit, postupně zaplavoval Evropu a ve velkých městech hojně vznikaly takzvané pneumatické instituty a budovaly se luxusní hyperbarické "hotely" a apartmány pro bohatou klientelu. Tento fenomén se postupně rozšiřoval také za oceán do Kanady a USA (obr. 7).



Obrázek 7: Cunninghamova přetlaková komora Cleveland, 1928 (zdroj: hbobratislava.sk)

Ruku v ruce s tímto však kráčela skutečná léčba nemocí. Základ hyperbarické oxygenoterapii položil nevědomky Joseph Priestley, který roku 1775 objevil kyslík. Velikým průkopníkem byl Paul Bert. Studoval účinky kyslíku, jeho toxicitu a působení na živé organismy, riziko vzniku křečí při jeho inhalaci pod zvýšeným parciálním tlakem, popsal však také jeho kladné účinky při léčbě HBO. Velký rozmach tento obor zaznamenal po 2. světové válce, kdy se HBO začala hojně využívat v léčebných procesech (otrava CO, léčba ztráty sluchu, léčba komplikovaných pooperačních stavů, atd.) a dokonce začaly probíhat některé komplikované operace v hyperbarickém prostředí. V roce 1937 bylo poprvé užito HBO při léčbě dekompresního onemocnění. V České republice započaly pokusy s touto léčbou v 60. letech 20. století v Ústavu leteckého zdravotnictví v Praze. V současnosti je v ČR v provozu zhruba 13 léčebných hyperbarických komor.

Počátky vývoje potápěčské medicíny můžeme sledovat v 19. století, kdy se u kesonářů (dělníků pracujících na stavbách mostů) začaly projevovat, nebo lépe řečeno zkoumat projevy dekompresních nemocí. Potřeba vytvoření vhodných léčebných metod a postupů pokročila a v roce 1890 byla zhotovena malá léčebná barokomora, do níž byli umístováni dělníci k opětovné rekompresi s příznaky DCS po práci v přetlaku při budování tunelu pod řekou Hudson. V souvislosti s rozmachem potápění a zejména

s pracemi pod vodní hladinou došlo k prohloubení poznatků v oboru vznikající potápěčské medicíny. Průkopníkem v tomto oboru byl v jeho počátcích John S. Haldane. Vznikly také první dekompresní tabulky pro bezpečný výstup potápěče z hloubky a posléze i tabulky pro léčbu potápěčů postižených DCS pro léčbu v barokomorách. Nejvýznamnější a největší pokrok učinily světové velmoci v souvislosti se zařazením potápěčů do vojenské služby a jejich nasazení ve válečných konfliktech. V čele rozvoje stála americká US NAVY, britská ROYAL NAVY a německá firma DRÄGER. Léčba v přetlaku se postupně ukázala jako nejvhodnější a v některých případech i jediná možná v kombinaci s nasazením vhodných farmak a jedná se komplexní terapeutický proces. (Novomeský, 2013)

1.14.1 Barokomora

Obecně můžeme říct, že barokomora je tlaková nádoba, která se používá k terapeutickým účelům, a to buď pro expozici pacienta zvýšenému tlaku (hyperbarická komora), nebo pro simulaci podmínek nízkého tlaku (hypobarická komora). Vždy se však jedná o zařízení skládající se z mechanicky odolného kovového pláště, ovládání pro tlakování a odtlakování komory, systému průběžné ventilace, průzorových okének, osvětlení (vnitřní, nebo vnější), komunikačního systému, rozvodu pro individuální inhalaci O₂. Dále může být tvořena jedním vnitřním prostorem, nebo rozdělena na hlavní komoru a takzvanou předkomoru umožňující obsluhujícímu personálu, nebo lékaři vstup a výstup během léčby. Nedílnou součástí všech barokomor je zařízení s dostatečnou zásobou dýchacího média. Ve větších a modernějších barokomorách se též nacházejí zařízení pro hašení požárů. V literatuře můžeme nalézt několik možností dělení barokomor. Zde pro přehlednost uvádím alespoň několik základních typů rozdělení dle různých parametrů. (Novotný, 2012; Hájek, 2017; Navrátil, 2019)

Účel použití

- potápěčská dekompresní - pro vykonání suché dekomprese po ponoru
- potápěčská rekompresní - pro vykonání zpětné rekomprese při postižení DCS
- hyperbarická léčebná - pro léčbu HBO
- hypobarická - pro simulaci náhlého vystavení podtlaku (piloti nadzvukových letadel)

- experimentální - výcvikové, mokré (potápěčské simulátory), hybridní (voda + vzduch), pokusné na zvířatech

Počet míst

- jednomístné - pro jednu osobu (max. dítě s doprovodem)
- vícemístné

Velikost

- malé - 1 - 2 m³
- střední - 4 - 8 m³
- velké - až několik desítek m³

Mobilita

- statické
- transportní

Dle způsobu plnění dýchacím médiem

- kyslíkové
- vzduchové
- vzduchové s možností inhalace kyslíku
- směsi plynů (NITROX, HELIOX, TRIMIX,...)

1.14.2 Dekompresní a rekompresní barokomory

Označení dekompresních a rekompresních komor spolu velmi úzce souvisí. Jedná se, nebo se může jednat o zařízení (barokomoru) totožné konstrukce, pouze se bude lišit účel jejího použití. Lépe řečeno, jednou lze barokomoru využít k dekompresi a v dalším případě k rekompresi potápěče.

Jako **dekompresní** se používá komora k vykonání suché dekomprese potápěče. Potápěč buď vystoupí na hladinu bez dekompresních zastávek (cíleně, nebo se může jednat o takzvanou opomenutou dekompresi) z hloubky max. 10 - 12 m, a bezodkladně je umístěn do **dekompresní** barokomory, kde je opět natlakován na příslušnou hloubku a zde v suchu a v relativním pohodlí dokončuje předepsanou dekompresi. Nebo je v natlakovaném přestupním modulu vytažen přímo na hladinu, opět přestoupí

do dekompresní barokomory a zde vykoná celou dekompresi. Toto je typický případ dekompresce pracovních, nebo saturačních potápěčů.

K **rekompresi** se využívá tatáž barokomora, nastane-li potápěčská nehoda a v případě vzniku, nebo v případě oprávněného rizika vzniku DCS. Jedná se v podstatě již o léčebný, nebo preventivně léčebný proces, kdy je při projevech DCS, které mohou nastat i po předešlé správně vykonané dekompresi, potápěč je umístěn do barokomory a opětovnou rekompresí je natlakován na hloubku určenou, lékařem, zodpovědnou osobou, léčebnou tabulkou,... a pod dohledem se podrobí hyperbarické terapii.

1.14.3 Princip rekompresní léčby

Jak již bylo výše řečeno, vznik dekompresní choroby je způsoben mikrobublinami, nebo bublinami inertního plynu, které vznikají po náhlém snížení tlaku, a které obvykle ve tkáních ucpávají krevní řečiště, způsobují perfuzi, znemožňují prokrvení a tím pádem přísun kyslíku s následnou hypoxií tkání. Cílem léčebné rekompresce by mělo být zmenšení bubliny, která pak může opustit postižené místo, čímž umožní opětovnou cirkulaci krve.

Fyzikálně, můžeme tento stav vyjádřit stavovou rovnicí ideálního plynu.

$$\frac{p_1 \times V_1}{T_1} = \frac{p_2 \times V_2}{T_2}$$

kde:

- p - tlak ideálního plynu
- V - objem ideálního plynu
- T - termodynamická teplota
- indexy ₁ a ₂ - vyjadřují počáteční a koncový stav

Za předpokladu že budeme teplotu vnímat jako konstantní a děj budeme tudíž považovat za izotermický, popisuje tento proces závislosti objemu na tlaku Boyle - Mariottův zákon, který říká: **Součin tlaku a objemu ideálního plynu je za téže teploty konstantní neboli kolikrát se při téže teplotě zvětší tlak ideálního plynu, tolikrát se zmenší jeho objem a naopak.** Matematickým zápisem je zákon vyjádřen:

$$p_1 \times V_1 = p_2 \times V_2 \qquad p \times V = konst.$$

V praxi se můžeme v lidském organismu setkat, zjednodušeně řečeno, se dvěma typy bublin. S bublinami sférickými a cylindrickými. Sférické bubliny si můžeme představit ve tkáních, nebo ve větších cévách, cylindrické bubliny budeme hledat v cévách malého průměru. U sférických bublin je zřejmá závislost objemu na povrchu u cylindrických se však s nárůstem tlaku povrch tolik nemění, ale pozorujeme zmenšení délky. Toto je však nedostačující pro uvolnění cévy a pro zvětšení perfuze. Až při větším nárůstu tlaku dochází i ke zmenšení průměru cylindrické bubliny a k uvolnění cévy (tab. 5).

Tabulka 5: Změny parametrů sférických bublin

| Tlak v barokomoře | 0,1 MPa | 0,2 MPa | 0,8 MPa |
|----------------------|--------------|---------|---------|
| Fiktivní hloubka | Povrch (0 m) | 10 m | 70 m |
| Objem bubliny (v %) | 100 % | 50 % | 12,5 % |
| Průměr bubliny | 1 mm | 0,79 mm | 0,50 mm |
| Povrch bubliny (v %) | 100 % | 79 % | 50 % |

(zdroj: Novomeský, 2013)

Souhrnem lze léčebný princip rekompresie shrnout do následujících bodů:

- zmenšení objemu plynových bublin v organismu
- rozpad bublin
- zlepšení perfuze tkání
- úpravu ischemie a hypoxie
- snížení mechanické komprese tkání

1.14.4 Provedení rekompresní léčby v barokomoře

Pokud je postižený potápeč již umístěn do barokomory a jsou provedeny všechny úkony potřebné pro zahájení léčby, může obsluha barokomory začít se samotnou rekompresí. Nezbytné kroky před umístěním potápeče do barokomory jsou popsány v praktické části této DP.

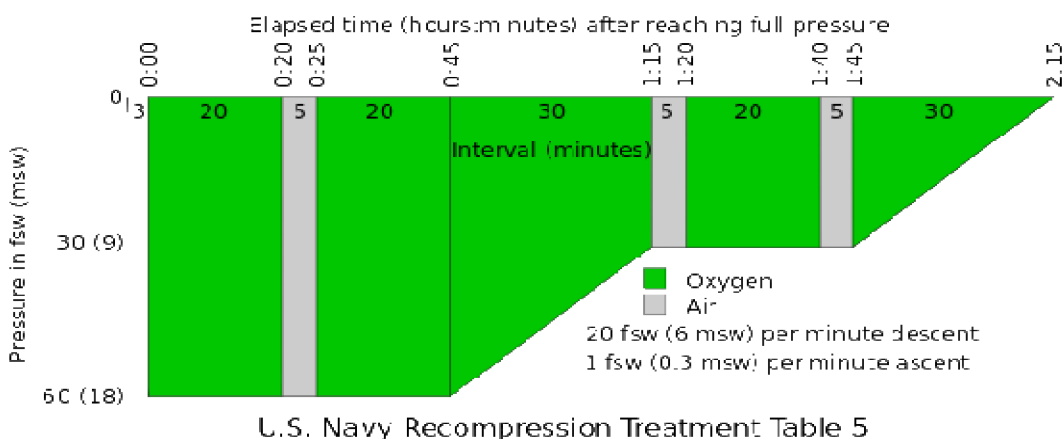
Dle vnitřních směrnic HZS by v případě potápečské nehody měl být vždy kontaktován lékař, nejlépe se znalostí potápečské medicíny, nebo alespoň se zkušenostmi s léčbou pomocí hyperbarické oxygenoterapie. Potápečská skupina Hasičského záchranného sboru Jihočeského kraje úzce a dlouhodobě spolupracuje s firmou Kübeck, s. r. o., která

v oblastní nemocnici Kladno, a. s. provozuje oddělení hyperbarické a potápěčské medicíny a je v pravidelném kontaktu s vedoucím lékařem tohoto oddělení MUDr. Štěpánem Novotným. V případě potřeby je doporučeno vždy přednostně kontaktovat službu konajícího lékaře z tohoto oddělení na non-stop pohotovostním telefonu a konzultovat následný postup a provedení rekompresní terapie.

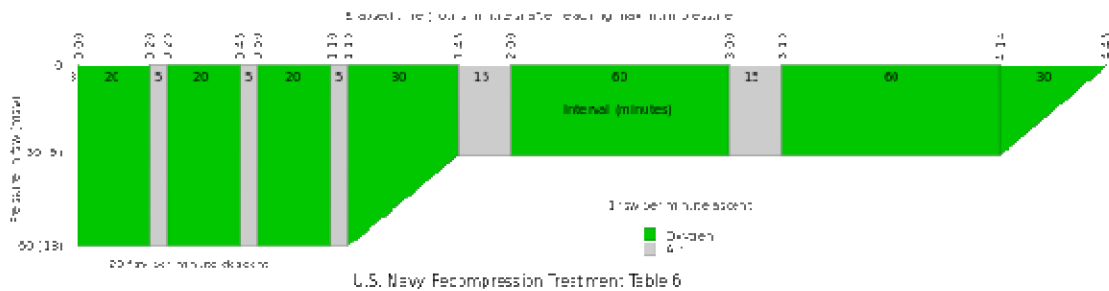
Dle stupně a závažnosti postižení jsou obvykle voleny následující postupy:

Standardní rekomprese, dle tabulkových algoritmů

Jedná se o nejčastěji používaný typ terapie. U HZS jsou pro léčbu standardizovány tabulky totožné a převzaté z tabulek US NAVY. Požívají se modifikované (metrické) tabulky č. 5 a 6. U obou těchto tabulek je prováděna rekomprese na tlak odpovídající 18 m vodního sloupce. Dále se v předem stanovených časových intervalech střídají kyslíková a vzduchová okna. Potápěč kombinuje dýchání čistého kyslíku se vzduchem. Terapie začíná v 18 metrech a po určité době je hloubka snížena na 9 m, kde opět probíhá střídání inhalačních oken. Před ukončením léčby a před vynořením je doporučeno provést bezpečnostní zastávku ve 3 m po dobu 3 minut. Volbu rekompresní tabulky provádíme buď po konzultaci s lékařem, nebo dle závažnosti postižení. Tabulku č. 5 (obr. 8) pro méně závažná postižení (forma DCS I. typu) a tabulku č. 6 (obr. 9) pro závažnější postižení (DCS II. typu). Rychlost klesání (zanořování) by neměla přesáhnout 6 m/min a rychlost vynořování 3 m/min. (US NAVY, 2016; Whelan, 2017))



Obrázek 8: Rekompresní léčebná tabulka US NAVY č. 5 (zdroj: US NAVY)



Obrázek 9: Rekompresní léčebná tabulka US NAVY č. 6 (zdroj: US NAVY)

Rekomprese na původní hloubku ponoru

Teorie této rekompresce je založena na následujícím principu. Pokud příznaky DCS vznikly po ponoru do hloubky, například 50 m, pak v tlaku rovném 50 metrů opět zmizí. Potápěč je však dále zatížen saturací inertního plynu. Tento postup je uplatnitelný pouze v případě, že od vynoření po rekompresi uplynulo pouze několik málo jednotek minut. Využívá se, pokud je barokomora například přímo na palubě lodi, vrtné plošině, apod.

Rekomprese na úlevovou hloubku

Nejstarší používaná metoda. Postižený potápěč je "zanořen" do hloubky, kde vymizí veškeré příznaky DCS a tato hloubka může být navýšena ještě o 0,1 MPa. Při této léčbě je nutná přítomnost zkušeného lékaře, nebo obsluhujícího personálu přímo u postiženého. Až lékař (obsluha) může po opakovaných vyšetřeních stanovit optimální rekompresní hloubku pro danou osobu. Využívá se u hloubkových a saturačních potápěčů.

1.14.5 Komplikace a rizika spojená s léčbou v barokomoře

Rekompresní terapie s sebou přináší, kromě kladného přínosu také řadu úskalí vyplývajících z podstaty této léčby v hyperbarickém prostředí. Tato rizika bychom mohli rozdělit na několik skupin. **Zdravotní rizika, rizika technického charakteru, lidský faktor.**

Zdravotní rizika spojená s léčbou mohou přinést komplikace při rekompresní terapii a ohrozit zdraví, či dokonce život postiženého. Vždy je nutné zvážit převažující přínosy a naopak negativa spojená s léčbou. Mezi takováto nebezpečí řadíme:

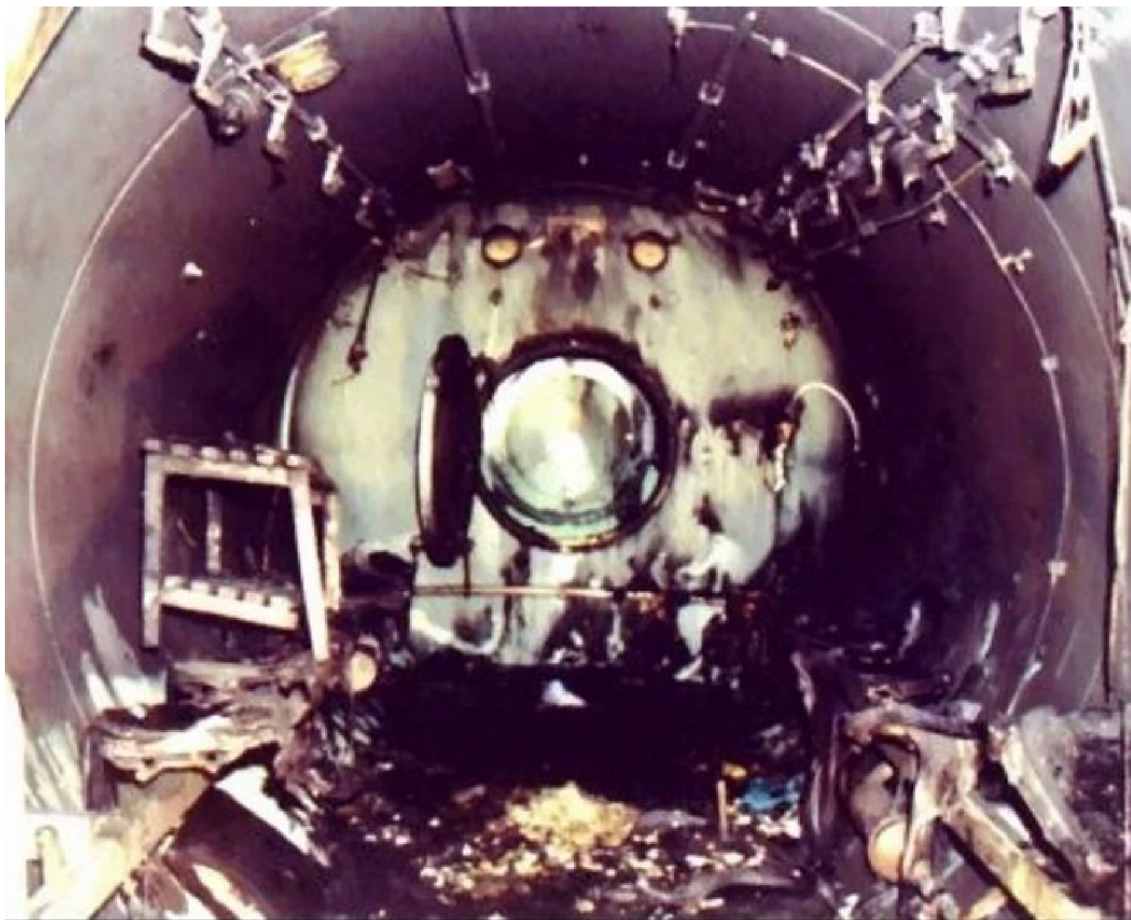
- neošetřený pneumotorax
- barotrauma středouší, lebečních dutin, zubů, zažívacího traktu, plic...
- rizika spojená s akutní toxicitou kyslíku vdechovaného pod vyšším parciálním tlakem
- dusíkové opojení
- klaustrofobie

Rizika technického charakteru vyloučit nikdy nemůžeme, ale dokážeme je dodržováním bezpečnostních předpisů alespoň minimalizovat. Každá barokomora by měla procházet pravidelnou kontrolou dle nařízení výrobce a také periodickou revizní kontrolou prováděnou revizním technikem. Barokomora je ve své podstatě tlaková nádoba, jejíž provoz a používání se řídí řadou technických a legislativních norem, vyhlášek a nařízení, stejně jako tlakové nádoby, nebo kompresory používané pro tlakování a pro dodávku dýchacího média. Nejčastějším zdrojem problémů technického charakteru však bývají sami pacienti. Obsluhující personál by měl pacienty před vstupem do komory vždy upozornit na rizika a zejména je seznámit s chováním v barokomoře. Jedním z nejdůležitějších by mělo být upozornění na zákaz vnášení předmětů, jež skýtají potencionální rizika spojená s provozem barokomory. "Evropský kodex správné praxe pro léčbu hyperbarickým kyslíkem" určuje skupiny zakázaných předmětů rozdělených do skupin C - P:

- C. mohou poškodit povrchy a materiál komory
- D. kontaminace prostředí komory
- E. nebezpečí exploze
- F. zdroj ohně (včetně statického náboje) nebo hořlavé látky
- L. tlakem se mohou rozlomit nebo být poškozeny
- M. mohou způsobit znečištění
- P. snižují toleranci vůči hyperbarickému prostředí

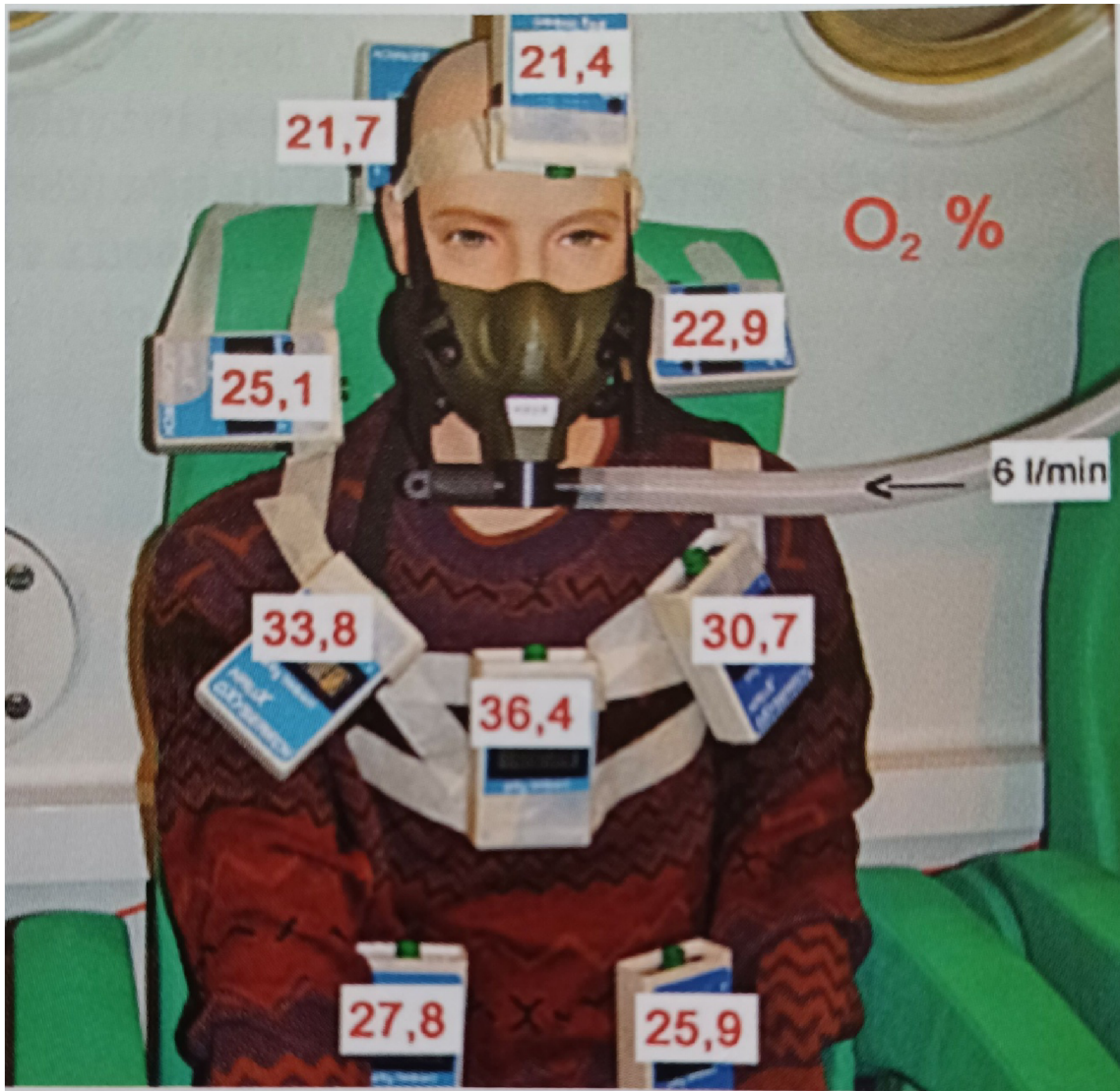
Ve stejném dokumentu je taktéž výčet konkrétních předmětů. Zde alespoň pro příklad. Zápalky, zapalovače, světla, ohřívače rukou, mobilní telefony a jiné elektronické

přístroje, baterie, igelitové tašky, noviny, pera, krémy, mastné věci, spreje, alkohol, tlakové nádoby, termosky, hodinky, oblečení a deky se syntetickým vláknem,...



Obrázek 10: Požár hyperbarické komory; Galezzi, Itálie (zdroj: Hájek, 2017)

Za nejvýznamnější riziko, obecně, považujeme možnost vzniku požáru (obr. 10). Riziko představuje kyslík O_2 , který je v tomto prostředí pod zvýšeným parciálním tlakem. Navíc při nedokonalé těsnosti ventilační polomasky může docházet k nárůstu koncentrace kyslíku v atmosféře barokomory. Toto se jeví jako největší a nejzásadnější problém. Obsluha barokomory musí neustále kontrolovat koncentraci kyslíku, prostředí barokomory dostatečně ventilovat a v případě nárůstu koncentrace i zastavit jeho přívod. Rychlost a intenzita hoření má přímou souvislost s parciálním tlakem kyslíku a s jeho koncentrací. Při zvýšených hodnotách mohou začít velmi intenzivně hořet i předměty zdánlivě nehořlavé. Nebezpečí při požáru je o to větší, že prostředí barokomory prakticky znemožňuje jakoukoli možnost rychlého úniku. Velké léčebné barokomory by měly být vybaveny systémem samohasícího zařízení. Vzhledem k tomu, že kyslík je těžší než vzduch, nemusí být jeho koncentrace na všech místech stejná (obr. 11) a může tvořit takzvaná kyslíková hnízda (mračna).



Obrázek 11: Rozdílná koncentrace kyslíku při úniku O₂ (zdroj: Hájek, 2017)

1.14.6 Mokrý rekompresa

V situacích, kdy nemůže být pro léčbu použita barokomora je alternativou vykonání rekompresa takzvanou mokrou cestou. Potápěč, pokud je při vědomí, je orientován, nemá vážné zdravotní potíže, nebo zranění a má dostatečnou zásobu vzduchu je zpětně zanořen do hloubky kde dojde k vymizení zdravotních potíží + 9 m. Celková hloubka nesmí přesáhnout 50 m. Po 10 minutách postižený s přestávkami stoupá až na hloubku 9 m, kde přechází na 100 % kyslík po dobu 60 - 120 minut (Havajská metoda), nebo do hloubky 9 m s přechodem na 100 % kyslík a po 30 - 90 minutách provede pomalý výstup na hladinu, kde pokračuje v kyslíkové terapii (Australská metoda).

Mokrý rekompresie je historicky nejstarší metodou léčby DCS. Nese s sebou však řadu rizik:

- odporuje principu potápění v dobrém zdravotním stavu
- stále probíhá saturace, dokud postižený nepřejde na 100 % O₂
- velká psychická zátěž
- velmi dlouhá doba postupné dekompresie (až 72 h)
- velké riziko hypotermie
- nemožnost objektivního vyšetření
- riziko dusíkové narkózy
- náročnost na logistiku (dodávka dýchacího média)

1.14.7 Cíle rekompresní terapie

Všechny metody a postupy související s rekompresní terapií pro léčbu dekompresních onemocnění mají jediný cíl, a to uchránit životy a zdraví postižených potápěčů, nejlépe bez trvalých zdravotních následků.

2 CÍL PRÁCE, VÝZKUMNÁ OTÁZKA A ŘEŠENÉ ÚKOLY

2.1 Cíl práce

V této diplomové práci byly stanoveny tyto dva základní cíle:

- a) Vypracovat a otestovat uživatelský manuál pro obsluhu transportní barokomory Haux Medicom (fa Haux, SRN).
- b) Ověřit v reálných podmínkách transport pacienta do nemocničního zařízení, připojení transportní barokomory na stabilní nemocniční barokomoru s následným přesunem postižené osoby a pokračováním odborné léčby.

2.2 Výzkumná otázka

Ot. 1: Jaké problémy se mohou reálně vyskytnout v souvislosti s transportem pacienta v mobilní barokomoře Haux Medicom?

Ot. 2: Lze očekávat komplikace v průběhu připojení barokomory a přesunu postižené osoby k následné léčbě v situaci reálného zásahu?

2.3 Řešené úkoly práce

- provést literární rešerši na zadané téma a vyhodnotit relevantní odkazy;
- vypracovat a otestovat uživatelský návod pro ovládání barokomory Haux Medicom;
- provést praktické ověření transportu pacienta v mobilní barokomoře, její připojení na stabilní nemocniční barokomoru a následný přesun postiženého do stabilní barokomory.
- provést vyhodnocení a rozbor získaných poznatků z praktického ověření a navrhnout případné opatření a zlepšení pro eliminaci zjištěných nedostatků;
- vypracovat text diplomové práce.

2.4 Metodika práce

Práce bude rozdělena na teoretickou a praktickou část. K vypracování teoretické části, která se zaměří na problematiku léčby dekompresních nehod, bude využito publikací, odborných časopisů a online zdrojů. Uživatelský manuál k ovládání barokomory Haux Medicom bude vytvořen na základě získaného odborného školení výrobcem, vlastních

praktických zkušeností a konzultacemi. Praktická část bude vypracována zejména na základě testů transportu, připojení barokomory a přesunu pacienta v reálných podmínkách. Metodické problémy budou konzultovány zejména s MUDr. Štěpánem Novotným, odborníkem na hyperbarickou a potápěčskou medicínu.

2.5 Využití práce v praxi

Práce bude sloužit především k zefektivnění první pomoci a léčby u potápěčských dekompresních nehod s využitím barokomory Haux Medicom.

3 METODIKA VÝZKUMU

Tato diplomová práce je rozdělena na teoretickou a metodicko-praktickou část. K vypracování teoretické části bylo využito informací získaných z odborných publikací a časopisů, on-line zdrojů, metodických příruček, osobních konzultací a absolvovaných školení. Vypracování metodicko-praktické části předcházela rešerše odborné literatury (viz kap. 3.1). Během rešerše byla nalezena řada odborných článků a publikací zabývajících se problematikou hyperbarické oxygenoterapie, ale již méně těch, které se zabývají přímo problémem dekompresní nemoci a její léčby. Metodická část práce (sestavení uživatelského návodu) je vypracována na základě vlastních znalostí a zkušeností, absolvovaného školení u výrobce barokomory a konzultacemi s odborníky z oboru potápěčské a hyperbarické medicíny. Praktická část výzkumu vychází z uskutečněného praktického cvičení potápěčské skupiny HZS Jihočeského kraje, která proběhla ve spolupráci s oblastní nemocnicí v Kladně a zejména s MUDr. Štěpánem Novotným. Po dohodě s vedením HZS Jhc jsem sestavil téma a plán námětového cvičení. Cílem taktického cvičení bylo praktické ověření transportu pacienta v barokomoře, připojení mobilní barokomory na stabilní léčebnou v nemocničním zařízení a přesun pacienta k zajištění následné léčby. Cvičení bylo ukončeno okamžikem, kdy byla mobilní barokomora odpojena a postižený potápěč byl plně v péči lékaře.

3.1 Rešerše odborné literatury

Pro rešerši odborné literatury byly použity následující zdroje: Web of Science, Google Scholar, Kopernio a Kramerius. Touto rešerší, v kombinaci s osobními dotazy na zástupce výrobce barokomory Haux bylo zjištěno, že neexistuje ucelený, jednoduchý a přehledný návod k obsluze barokomory Medicom. Návod dodávaný výrobcem obsahuje veškerá technická data k výrobku, předepisuje provozní podmínky, je zde uveden rozpis provozních a revizních kontrol, jejich rozsah a perioda opakování. Uvádí také rozpis vybavení barokomory, typy připojení tlakových lahví a tlakových hadic. Popisuje základní funkce barokomory a způsob připojení a základní ovládání. Návod výrobce je však velmi nepřehledný, složitě strukturovaný a naprosto nevhodný pro použití v reálném provozu, konkrétně během krizových situací, vyznačujících se časovým tlakem a vysokou měrou stresovosti.

Literatura z oboru hyperbarické oxygenoterapie a potápěčské medicíny se zabývá indikovanou léčbou, kontraindikacemi vzhledem k léčbě v hyperbarickém prostředí, přípravou pacienta pro léčbu v barokomoře, samotným umístěním pacienta do hyperbarického prostředí, riziky spojenými s léčbou v přetlaku, bezpečnostními předpisy a medicínským rozbohem samotné léčby. Vzhledem k rozsahu problematiky je vždy pouze malá část věnována samotné potápěčské medicíně, kde obvykle jednou z podkapitol bývá léčba DCS. Avšak ani v lékařské, ani v odborné potápěčské literatuře nenajdeme informace týkající problematiky transportu pacienta v mobilní barokomoře a následné připojení této barokomory a přesun pacienta. V rešerši rovněž nebyly uvedeny relevantní zdroje, které by popisovaly tento úkon v situaci reálného provozu a to při nehodě skutečné, nebo simulované. Dle předního odborníka MUDr. Novotného toto, ani nic podobného, dosud nebylo na území naší republiky provedeno.

4 METODICKÁ ČÁST

Tato část práce je věnována sestavení komplexního, ale jednoduchého a přehledného návodu pro obsluhu barokomory pro případ nastalé mimořádné události vyžadující využití barokomory pro léčbu, například dekompresní choroby. Škála možností jejího využití je však mnohem širší. V hasičské praxi mne napadá její využití po konzultaci s lékařem při intoxikaci zplodinami hoření, při otravě oxidem uhelnatým, apod. Toto se však příliš často nevyužívá, dle mého mínění zejména z důvodů neznalosti problematiky ze strany velitelů (nepotápěčů), řídicích důstojníků a vedoucích pracovníků. Takto sestavený uživatelský manuál bude, po dohodě s vedením HZS Jhc, s vedoucím potápěčem potápěčské skupiny a dalšími potápěči, zalaminován a vylepen přímo u obslužného pultu barokomory. Další, jedna kopie, je umístěna v automobilu, na kterém je barokomora umístěna ve složce s provozním deníkem barokomory a s originálním, návodem výrobce. V elektronické podobě je též umístěna v "datovém skladu" na serverovém úložišti HZS Jhc. Tento vytvořený návod je vyzkoušený, několika příslušníky se znalostí obsluhy barokomory, ale také laiky, kteří přišli do styku s barokomorou do styku poprvé. Verze tohoto uživatelského manuálu byla přijata potápěčskou skupinou jako plně dostačující. Zde je však na místě dodat, že současná verze nemusí být poslední a v případě potřeby, připomínek, nebo nově nabytých zkušeností může být uživatelský manuál upraven.

4.1 *Barokomora Haux Medicom 5,5*

Tato barokomora vyrobená německým výrobcem HAUX-LIFE-SUPPORT GmbH, byla zkonstruována v Karsbad - Ittersbach, v Německu, kde je dnes sídlo výrobce. Barokomora byla vyrobena v roce 1989. Jedná se o dvoumístný model s typovým označením Medicom 5,5. Tento typ stále ve výrobě a firma Haux k tomu modelu na svých stránkách uvádí:

HAUX-MEDICOM (obr. 12) je přenosná tlaková komora pro dvě osoby s integrovaným přívodem dýchacího média pro asistovaný transport potápěče, který se stal účastníkem nehody, a jeho ošetřovatele do nejbližší léčebné hyperbarické komory pro ošetření potápěčů.

Tato komora je vybavena bajonetovou přírubou a má provozní tlak 5,5 nebo 8 barů podle normy DIN/NATO, kompaktní ovládací panel s přesným manometrem,

interkomový systém, ventil HAUX-MINISTARVALVE pro regulaci tlaku, ventilační systém HAUX-VENTMASTER, přívodní zámek, dvě pozorovací okna a kyslíkový dýchací systém.

Volitelná rozšíření: Systém LIFE-SUPPORT pro provoz v polouzavřeném nebo uzavřeném okruhu, dobíjecí akumulátor, osvětlení, přenosový vozík, přídatný přívod stlačeného plynu, počítačový řídicí systém a mnoho dalšího.



Obrázek 12: Barokomora Haux - Medicom 5,5 (zdroj: hauxlifesupport.de)

Konkrétní barokomora, která je vybaveně potápěčské skupiny HZS Jhc, je z volitelného rozšíření vybavena pouze dobíjecím akumulátorem pro provoz komunikačního zařízení. Výrobce v popisu sice uvádí dvě průzorová okénka, ovšem komora má standardně okénka tři. Tato slouží pro pozorování a vizuální kontrolu osob uvnitř barokomory a pro nouzovou komunikaci v případě výpadku či poruchy interkomu. Z transportních barokomor tento výrobce dále dodává jednomístnou barokomoru Transstar a nejnovější typ Medistar s předkomorou Medilock (obr. 13). Tento nejmodernější model je nyní

pouze u HZS hl. m. Prahy a je rovněž vybaven přechodovou předkomorou. Vzhledem ke své velikosti je však náročnější na prostor a musí být umístěna ve větším nákladním automobilu. Ani tato barokomora, kterou používají pražští hasiči, nemá sestaven a přehledně umístěn jednoduchý manuál pro její ovládání. Vzhledem k podobnosti ovládání může být však tento upraven, odzkoušen a poskytnut k užívání. (Haux, 2024)



Obrázek 13: Barokomory Haux Medistar s předkomorou Medilock a Haux Transstar (zdroj: hauxlifesupport.de)

Barokomora vyrobená v roce 1989 byla později (2004) zakoupena Generálním ředitelstvím HZS ČR jako již použitá a repasovaná od firmy Haux pro Školní a výcvikové zařízení MV GŘ HZS ČR v Borovanech u Českých Budějovic. Toto zařízení až do svého zrušení v roce 2013 zajišťovalo výuku a výcvik potápěčů Hasičského záchranného sboru. Po zrušení střediska v Borovanech byla barokomora v rámci HZS převedena do majetku HZS Jhc pro její další využití potápěčskou skupinou. Zde je v provozu až do současnosti. Je umístěna na nákladním automobilu na podvozku Iveco Daily, s uzavřenou nástavbou. Tato je oddělena od trojmístné kabiny pro posádku a je vybavena přídatným vnitřním osvětlením a nezávislým topením. Automobil je osazen zvláštním výstražným světlem modré barvy (majákem) a výstražným zvukovým a rozhlasovým zařízením (sirénou). Potápěčská skupina HZS Jhc nedisponuje jiným automobilem, vyhrazeným pouze pro potápěčskou skupinu, proto je v nástavbě automobilu umístěno mnoho potápěčského vybavení potřebného pro případné zásahy pod vodní hladinou, včetně dvou sad kompletní potápěčské výstroje. Pokud probíhá cvičení, nebo zásah umisťují si potápěči do automobilu své další osobní vybavení, což má za následek značně zhoršený přístup k barokomoře v případě nehody. V takovémto případě je potřeba všechny věci znemožňující ovládání a obsluhu

barokomory vyndat a teprve poté zahájit práci s barokomorou. Dlouhodobým cílem potápěčské skupiny je získat vlastní speciální potápěčský automobil.

4.2 Konstrukce a vybavení barokomory

Těleso tlakové nádoby je celé vyrobeno z vysoce odolné hliníkové slitiny vyznačující se nízkou hmotností a odolností proti korozi. Barokomora je vybavena všemi předepsanými kontrolními a bezpečnostními prvky. Hlavní bezpečnostní prvek představuje bezpečnostní pojistný ventil, který se otevře při dosažení maximálního povoleného přetlaku. Tento musí být kontrolován revizním technikem při pravidelných revizních zkouškách.

Těleso komory je uzavíráno hlavními plyno a tlakotěsnými dveřmi. Těsnící plocha dveří by měla být pravidelně kontrolována a ošetřována nemastným mazacím prostředkem, například grafitem. Uzavření dveří probíhá jejich pootočením, nasazením na bajonetový uzávěr a opětovným pootočením do původní polohy. Druhý, vnější bajonetový uzávěr s typovým označením DIN 13256 slouží k připojení tělesa barokomory k druhé většinou stabilní barokomoře se stejným typem bajonetu.

Komora je osazena třemi průzorovými okénky, umožňujícími kontrolu přepravovaným osob ze strany obsluhy a zároveň slouží pro oboustrannou vizuální komunikaci. Z vlastní zkušenosti mohu konstatovat, že snaha o dorozumění se hlasem, voláním, křikem, nebo klepáním na tělo barokomory je naprosto bezpředmětná, vzhledem k hluku v těle barokomory, který je způsoben napuštěním a napouštěním vzduchu, nebo průběžnou ventilací barokomory. Tento hluk je v případě převozu umocňován jízdou jedoucího automobilu.

Dalším a hlavním komunikačním prostředkem je oboustranný hovorový modul Haux - Talkmaster. Tento modul je vybaven reproduktorem, nebo umožňuje připojení sluchátek, například při provozu v hlučném prostředí. Po provedeném cvičení však mohu konstatovat, že v situaci běžného provozu i v případě jízdy s majáky a zapnutým zvukovým zařízením toto není potřeba. Regulace hlasitosti je dostatečná a oboustranná komunikace je bezproblémová. Modul je ve směru komunikace z vnějšku dovnitř vybaven tlačítkem "push to talk", nebo je možné přepnutí na trvalé zapnutí obousměrného hovoru. Hovor ve směru zevnitř ven je však zapnutý trvale. Napájení Talkmasteru je zajištěno baterií s dlouhou životností. Dle vnitřních směrnic HZS nabití

baterie, nebo její případné dobítí kontrolují pravidelně příslušníci zodpovědní za provoz barokomory. Po zkušenostech však nyní pracujeme na úpravě interiéru automobilu, konkrétně na přivedení 12 V napětí se zásuvkou k barokomoře a na úpravě napájecího segmentu, aby mohl být přepojen na vnitřní rozvod a napájení mohlo být alternativně přepínáno mezi vlastní baterií a autobaterií. Tímto by se zamezilo případné ztrátě komunikace v případě vybití akumulátoru.

Barokomora je vybavena závěsnými oky, která slouží pro transport barokomory, pomocí jeřábu, nebo vrtulníku (obr. 14).



Obrázek 14: Transport barokomory Haux Medicom pomocí vrtulníku (zdroj: hauxlifesupport.de)

Dalším z vybavení barokomory je podávací tunel. Jedná se o malou komoru uzavíratelnou z vnějšku i z vnitřku barokomory, pomocí které mohou být dovnitř dodávány nezbytné, malé věci. Lahvička s vodou, plena, léky,...

Zařízení pro filtraci vzduchu s označením Haux - Miniscrubber, kterým je barokomora vybavena má sloužit pro úsporu vzduchu při dlouhých přesunech barokomory s nemožností doplnění tlakových nádob. Toto zařízení je však velmi náročné na údržbu. Pro filtraci vzduchu, konkrétně pro zachycení oxidu uhličitého, se scrubber naplňuje pohlcovačem (uhličitán vápenatý). Tento pohlcovač musí být po použití vyměněn a bohužel, i pokud není používán, tak při skladování postupně degraduje a musí být jeho

pohotovostní zásoba pravidelně obnovována. Vzhledem k finanční náročnosti v kombinaci s jeho, v našich podmínkách, nulovým využitím je tento vyřazen z provozu a nepoužívá se. Obsluha však musí při uvedení barokomory do provozu dbát na správné přepnutí ovladače "Ventilace x Filtrace" (viz návod).

Klíčovou součástí výbavy je ovládací pult. Je umístěn z boku tělesa barokomory tak aby obsluhující personál měl přehled nad ovladači, i nad osobami uvnitř barokomory. Pult je osazen masivními mechanickými ovladači s piktogramy a je doplněn popisky. Součástí ovladače je oxymetr s kyslíkovým čidlem kontinuálně monitorujícím hladinu kyslíku v atmosféře barokomory. Tam by neměla přesáhnout mezní hodnotu **23 %**. Součástí pultu jsou rovněž "klasické" ručičkové hodiny - v současné době nefunkční a také digitální stopky - rovněž nefunkční. V dnešní době mobilních telefonů již toto však nepovažujeme za zásadní problém. Obsluha většinu měření času provádí právě pomocí mobilního telefonu.

4.3 Zásobování dýchacím médiem

Barokomora Haux Medicom, je uzpůsobena pro přívod plnicího média několika způsoby. V podstavci jsou umístěny tři padesátilitrové tlakové nádoby se stlačeným dýchacím médiem. Dvě tlakové lahve (TL) jsou naplněny vzduchem, s maximálním plnicím tlakem 200 bar a jedna TL je naplněna 100 % kyslíkem, opět s maximálním plnicím tlakem 200 bar.

Těleso barokomory je přímo osazeno 4 tlakovými lahvemi o objemu 11 l a plnicím tlaku 200 bar, které jsou naplněny vzduchem. Tyto čtyři TL se primárně nepoužívají k rekompresi a následné dekompresi. Jejich funkce je především zásobní a jsou využity pouze při odpojení komory od hlavních zásobníků vzduchu a kyslíku, v případě vyndání komory z automobilu a jejího transportu (například pro připojení k jiné léčebné hyperbarické komoře).

Poslední možností dodávky vzduchu je připojení barokomory na externí zdroj pomocí vysokotlakých vzduchových hadic. Tímto externím zdrojem mohou být další TL, nebo kompresor. Přes ventil připojení externího zdroje se rovněž provádí plnění TL v barokomoře. Toto mají na starosti opět příslušníci určení pokynem HZS Jhc ve spolupráci s chemickou službou. V případě, že by komora nebyla použita jeden

kalendářní rok, je nutné vzduch z TL vypustit a opět doplnit nový. Toto se netýká kyslíku, pouze vzduchu.

4.4 Obsluha barokomory

V návodu výrobce je uvedeno: *"Obsluha může být prováděna pouze odpovídajícím způsobem, vyškoleným personálem. Obsluha komory a její asistent musí být seznámeni s provozem hyperbarické komory a je nutné, aby byli způsobilí k provádění dekompresních terapií."* Z tohoto vyplývá, že barokomoru mohou obsluhovat pouze příslušníci proškolení přímo firmou Haux, nebo pověřeným zástupcem. Avšak na jiném místě stejného návodu se uvádí: *"Používat zařízení smějí pouze ty osoby, které jsou k této činnosti vyškoleny, nebo jejich znalosti a praktické zkušenosti poskytují záruku korektní obsluhy zařízení."* Tyto dva odstavce si do jisté míry protiřečí a není proto jednoznačně určeno kdo a za jakých podmínek může barokomoru ovládat.

Potápěči, příslušníci HZS Jhc, absolvovali školení na obsluhu barokomory Haux Medicom v roce 2013. Školitelem byl v té době zástupce firmy Haux pro Českou republiku. Od této doby došlo však ke značné personální obměně členů potápěčské skupiny a řada proškolených příslušníků již opustila potápěčskou skupinu, nebo již nejsou ani ve služebním poměru u HZS ČR. Příslušníků, kteří stále vykonávají potápěčskou činnost u HZS a mají platné osvědčení obsluhy barokomory je nyní 8 z celkového počtu 26 potápěčů u HZS Jhc a jedná se převážně o instruktory potápění, nebo držitele osvědčení POT III. stupně. Tito zkušení potápěči v případě potřeby primárně provádějí její obsluhu, avšak pravidelně proškolují ostatní kolegy v této dovednosti. Cílem je, aby každý z řad potápěčů u HZS Jhc uměl spolehlivě a bezpečně barokomoru obsluhovat. O provedených školeních se vedou záznamy v deníku hyperbarické komory. Tímto krokem by mělo dojít ke splnění podmínky uvedené v návodu výrobce o obsluze osobami se znalostmi a zkušenostmi.

4.5 Potřeba vzniku uživatelského manuálu

S ovládním barokomory je to jako s většinou činností v lidském konání. Samotná manipulace s komorou a provádění léčebných terapií sice vyžaduje soustředěnost, preciznost a přesnost, ale ve své podstatě není složitá. Je samozřejmostí, že znalost problematiky léčby dekompresní nemoci, princip fungování barokomory a orientace v umístění a funkcích ovladačů na hlavním panelu by měla být základní premisou pro

úspěšné zvládnutí rekompresní terapie. Předpokladem výše uvedeného je absolvování úvodního školení a dále pravidelná odborná příprava zahrnující zejména praktická cvičení. Pouze neustálým opakováním a zkoušením dojde k zapamatování a zažití sledu jednotlivých kroků, které je nutné vykonat ke zprovoznění a k používání barokomory.

Bohužel, vzhledem k poměrně velké obměně potápěčů, viz předchozí kapitola *4.4 Obsluha barokomory*, nyní nemá většina členů potápěčské skupiny školení a hlavně ani nemá potřebnou praxi a zkušenosti s ovládním barokomory. Školení pro obsluhu by mělo proběhnout po vydání pokynu krajského ředitele, zřejmě ve třetím čtvrtletí roku 2024. Již v průběhu loňského roku však začala praktická příprava potápěčů týkající se právě obsluhy. Od začátku však narážíme na problém absence funkčního, přehledného a srozumitelného návodu k ovládním. Návod, který je uvedený v manuálu barokomory vydané výrobcem se ukázal jako naprosto nevyhovující.

Po zhodnocení situace, kdy se sestavení manuálu k obsluze barokomory Haux Medicom ukázalo velmi potřebné, jsem se rozhodl toto zařadit jako jedno z témat mé diplomové práce. Od toho očekávám zkvalitnění přípravy příslušníků a zejména vyšší úroveň poskytnuté péče při záchraně zdraví či dokonce života potápěče postiženého dekompresní chorobou.

4.6 Sestavení uživatelského manuálu

Vytvoření tohoto manuálu předcházelo mnoho konzultací s kolegy z HZS Jhc, kteří jsou znalí problematiky a mají bohaté zkušenosti s obsluhou barokomory Haux Medicom. Dalším zdrojem informací byly konzultace s potápěči z jiných krajských útvaru HZS, kteří mají ve své výbavě také barokomoru, byť jiného typu. Kontaktoval jsem též revizního technika tlakových nádob, který se zabývá mimo jiné revizemi hyperbarických komor a byl jsem přítomen i revizní prohlídce 6 barokomor u potápěčské skupiny působící na vodním díle Gabčíkovo, což se ukázalo pro tuto práci jako velmi přínosné. V neposlední řadě jsem vše konzultoval s MUDr. Štěpánem Novotným, vedoucím lékařem odd. hyperbarické medicíny v oblastní nemocnici Kladno.

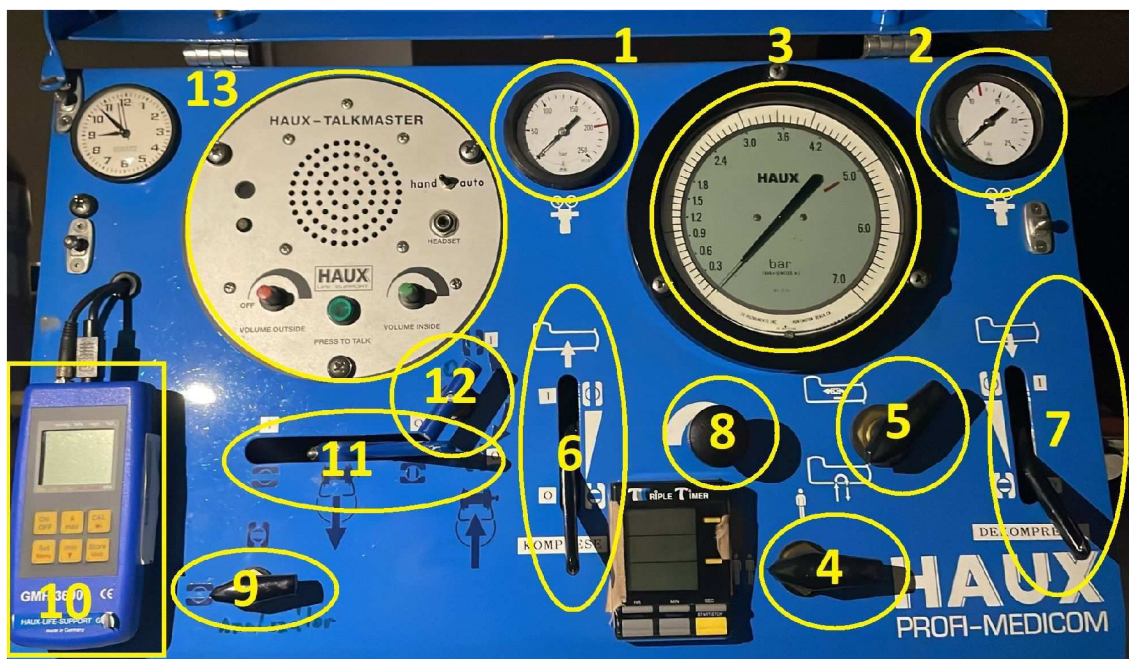
Po zvážení všech aspektů jsem se rozhodl pro sestavení, co možná nejjednoduššího, ale funkčního návodu. Je koncipován do podoby "check listu", kdy obsluha postupně prochází jednotlivé body a plní pokyny v nich uvedené. Při dodržení sledu a vykonání

předepsaného by neměla, z hlediska ovládní barokomory, nastat žádná neočekávaná situace.

Návod je sepsán na 4 listy formátu A4, které budou zalaminovány a umístěny (vylepeny) na tělo barokomory, vedle hlavního ovládacího pultu. Zvolil jsem pro přehlednost velké tučné písmo s bezpatkovým fontem. Jednoduché, jasně formulované a na sebe navazující pokyny jsou řazeny chronologicky do číselného seznamu. Informace, které jsem vyhodnotil jako obzvlášť důležité, jsou zvýrazněny červeným písmem. Celý návod je rozdělen do 6 následujících částí:

1. fotografie ovládacího panelu (obr. 15) s popisem jednotlivých ovladačů (list 1)
2. uvedení barokomory do provozu, kontrola tlaku, kontrola počátečního nastavení ovladačů, umístění osob do komory a první natlakování (list 2)
3. přechod na dýchání čistého kyslíku (list 3)
4. přechod z kyslíku zpět na vzduch (list 3)
5. přechod na nižší hloubku, snižování tlaku (list 4)
6. ukončení dekomprese a výstup osob (list 4)

Domnívám se, že toto členění je nejvýhodnější a reflektuje posloupnost jednotlivých kroků, které obsluha při léčebné rekompresi vykonává. Při dostatečném počtu záchránců by se obsluha neměla starat o záchranu potápěče ve vodě, či jeho případný transport k barokomoře, ale pouze o přípravu komory. V počáteční fázi se jedná o uvedení barokomory do pohotovostního stavu. Toto představuje kontrolu otevření, nebo uzavření tlakových lahví, otevření vstupních ventilů vysokotlakého vzduchu do systému barokomory, ověření tlaku vzduchu v zásobnících, nastavení ovladačů do "startovní pozice" na hlavním ovládacím panelu, umístění kyslíkových polomasek do komory. V druhé fázi dochází k umístění pacienta, případně doprovodu, do barokomory. Dalším krokem je začátek tlakování (komprese).



Obrázek 15: Ovládací panel barokomory Haux Medicom s popisem (zdroj: vlastní)

Rekompresní léčebné tabulky US NAVY, podle kterých terapie nejčastěji probíhá, zahrnují střídání vzduchových a kyslíkových oken. Proto je v další části návodu popis pro přechod na dýchání čistého kyslíku s následujícím zpětným přechodem na vzduch.

Již zmíněné léčebné tabulky obvykle začínají rekompresí postiženého na hloubku 18 m a po určitém opakování kyslíkových a vzduchových oken dochází k výstupu do hloubky 9 m. Tento krok (snižování tlaku) je popsán v další části návodu. Jako poslední je zařazeno ukončení výstupu "na hladinu" a konečně otevření komory. Z této by měl, v ideálním případě, vystoupit zdravý potápeč.

Za velmi důležité a v návodu několikrát zmíněné a zvýrazněné považuji průběžnou kontrolu osob uvnitř barokomory. Stísněný prostor působí velmi špatně na psychiku osob uvnitř barokomory. Tlakové změny zase mohou způsobit problémy s vyrovnáním tlaku ve středouší, nebo jiných dutinách. S ohledem na celkový psychický a fyziologický stav osob uvnitř barokomory je potřeba s nimi pravidelně komunikovat a informovat je o každém následujícím kroku. Zejména o nutnosti změny tlaku a přechodech na dýchání kyslíku a zpět.

V návodu je též několikrát zmíněna potřeba kontroly a zaznamenávání časů. Čas by si měla obsluha poznamenat při jakékoli změně tlaku či dýchacího média. Doba jednotlivých oken by se měla řídit předpisem v léčebných tabulkách US NAVY. Tyto zaznamenané časy by po skončení léčby měly být předány lékaři, při kontrole, které

by se měl podrobit každý potápěč po prodělání dekompresní příhody. Časy doporučuji pro přehlednost zaznamenávat na papír, nebo do mobilního telefonu. Ten je ostatně nutné, vzhledem k nefunkčnosti analogových hodin a digitálních stopek, mít neustále u sebe pro kontrolu časů.

4.7 Použití uživatelského manuálu

Je nutné upozornit, že používání uživatelského manuálu obsluhou barokomory není její povinností! Neexistuje předpis, nebo interní směrnice, která by nařizovala postupovat dle tohoto návodu. Všem však doporučuji držet se, zde uvedených postupů. Relativně dlouhé časové úseky mezi jednotlivými cvičeními, nebo skutečnými zásahy s barokomorou dávají poměrně velký prostor k vytvoření chyby v důsledku nechtěného opomenutí. Tento fakt je zejména při zásahu umocněn vysokým stresovým faktorem, vyplývajícím ze skutečnosti, že se jedná o reálnou záchranu života a zdraví člověka. Vysoká míra stresu se může negativně podepsat na chybovosti při ovládní barokomory. Z tohoto důvodu je návod napsán stručně, heslovitě a pokyny by měly vyznít jasně a nezaměnitelně. Předpoklad je však naprostá soustředěnost a zodpovědnost. Na druhém listu je i z tohoto důvodu hned na úvod tučně, červeně a podtrženě uvedeno: **Nepřeskakuj žádný krok a vše pečlivě zkontroluj, osoby uvnitř stále kontroluj a o všem je informuj.**

4.8 Ověření uživatelského manuálu

Sepsání uživatelského návodu je pouze jedním z úkonů před jeho zveřejněním a předáním k užívání. Domnívám se, že velmi důležitým krokem je ověření jeho funkčnosti. Požádal jsem řadu kolegů potápěčů i nepotápěčů o vyzkoušení použití barokomory v situaci, kdy se nacházejí na místě obsluhy a mají postupovat dle tohoto návodu. Vždy jsem se snažil být přítomen u těchto testů. Oproti první verzi doznala ta finální mnoha změn. Zpočátku jsem téměř po každém ověření přepisoval formulaci jednotlivých bodů, měnil jejich pořadí a další kroky přidával, nebo vypouštěl. Postupem času, s přibývajícimi testy, se podoba manuálu ustálila na téměř finální podobě. Tuto jsem předal ke kontrole osobám znalým, nebo osobám, které velmi často přicházejí do styku s barokomorami. Ve spolupráci s nimi jsem provedl pouze již drobné úpravy. Některé navrhované úpravy, ač dobře míněné, jsem však nerefletoval s ohledem k osobám, které budou barokomoru ovládat. Například některé odborné výrazy mohou dle mého názoru působit zavádějícím dojmem a návod, který má být jasný a stručný

by působil příliš složitě a komplikovaně. Následovalo poslední ověření, opět u kolegů potápěčů a u laické veřejnosti, po které jsem provedl pouze několik, spíše kosmetických, úprav.

V této době je manuál již umístěn na určeném místě, na těle barokomory, vedle ovládacího pultu. Nynější verzi považuji za zdařilou, funkční, ověřenou a finální, avšak v případě potřeby, zejména po delším používání manuálu, může dojít k jeho přepracování a úpravě na základě připomínek a návrhů zejména z řad kolegů potápěčů.

4.9 Ukončení po použití barokomory

Dalo by se říci, že příprava barokomory po použití je posledním, ale zároveň prvním krokem k úspěšnému zvládnutí potápěčské nehody vyžadující léčbu rekompresní terapií. Toto již však není zahrnuto v uživatelském manuálu, jelikož tento úkon velmi často provádí osoba jiná, než která barokomoru obsluhovala a ani přímo nesouvisí s obsluhou. Obsluha by měla ukončit činnost uzavřením všech ventilů na tlakových lahvích, ventilů na těle ovládací skříňky a odtlakováním barokomory. Vždy by však měla informovat příslušníky zodpovědné za provoz barokomory o jejím použití. Měla by předat zprávu o provedených úkonech, o použití kyslíku, apod. Doplnění tlakových zásobníků vzduchu a kyslíku, její vyčištění, vysušení a další úkony spjaté s přípravou na další použití jsou již v gesci těchto kolegů.

5 PRAKTICKÁ ČÁST

V další části této diplomové práce se zabývám praktickým využitím barokomory Haux Medicom u potápěčské skupiny Hasičského záchranného sboru Jihočeského kraje. Konkrétně jejímu využití pro transport pacienta do nemocničního zařízení, připojení barokomory ke komoře stabilní a přesun pacienta. Jak sám výrobce na svých stránkách v popisu barokomory uvádí, jedná se o transportní barokomoru. Tato komora tudíž umožňuje nejen rekompresní terapii pro případ potápěčských nehod, ale též rekompresní terapii, současně s transportem pacienta.

5.1.1 *Rozhodující faktor času*

Tato otázka vyvstala už při konstrukci prvních potápěčských barokomor. Odpověď na ni je poněkud složitější, než by se mohlo na první pohled zdát. Nejprve se musíme podívat na to, kde se potápěčské rekompresní barokomory používají. Jako potápěčskou barokomoru využitelnou pro kompresní terapii můžeme využít velkou stabilní dekompresní barokomoru umístěnou na ropné plošině či velké pracovní lodi. I když jsou tyto komory užívané zejména pro pobyt a pro dekompresi saturačních potápěčů, v nouzových případech může tato komora sloužit jako léčebná rekompresní. Obdobným způsobem může být použita a za rekompresní může být považována stabilní barokomora umístěna v nemocnici, nebo jiném léčebném zařízení, primárně určená pro hyperbarickou oxygenoterapii.

Na co však narážíme v tomto případě? Problém pro nás představuje, přístupnost, vzdálenost a čas. V našich podmínkách vynechme úvahy o barokomorách na vrtných, nebo jiných plošinách a na pracovních lodích. Většina potápěčů v České republice provozuje potápění čistě rekreační, pouze pro své potěšení z tohoto sportu a pro příjemně strávené chvíle pod vodní hladinou. I toto rekreační potápění s sebou však přináší nemalé riziko nehody typu dekompresní nemoci, barotraumatu, AGE, nebo jiné. Tito potápěči však nemají v takovém případě možnost okamžitého využití barokomory a nasazení včasné rekompresce. Jejich cesta k nejbližší barokomoře může být velmi dlouhá a komplikovaná. Často ani tito potápěči nemají znalost o tom, kam by se měli vydat, nebo kde je nejbližší možná využitelná barokomora. Obvykle jedinou možností je využití prostředků zdravotnické záchranné služby. I zde je však rozhodující vzdálenost a čas. Potápěčské lokality se nacházejí velmi často na odlehlém a velmi

špatně přístupném místě. Mnohdy není ani možnost dojít přímo k vodě a v případě nehody je nutné postiženého potápěče nejprve transportovat k nejbližší komunikaci, zde čekat na příjezd ZZS. Následuje zajištění pacienta a poté transport do nejbližší nemocnice, kde se rozhoduje o další léčbě. Tato nemocnice nemusí a většinou ani není vybavena hyperbarickou komorou a proto nasazuje alternativní léčbu kyslíkem, nebo následuje další přesun pacienta do lékařského zařízení vybavené možností léčby v hyperbarické komoře. Alternativou je doprava pacienta vrtulníkem ZZS, zde je ovšem jedním z podmínek nízká letová hladina, vzhledem k povaze nemoci. Literatura uvádí, že při takovém způsobu transportu by vrtulník neměl letět výše než 300 m.

Ve všech těchto situacích musíme počítat se zdržením v řádu desítek minut a v krajním případě i jednotek hodin. U potápěčských nehod je víc než důležité zahájit včasnou léčbu. V závažnějších případech následky potápěčských nehod často ohrožují postižené přímo na životě. A i u lehčích případů, například dekompresních nemoci, hrozí jejich rozvoj s následným přechodem do těžších forem DCS.

Jednoduše řečeno můžeme říct, že v případech potápěčských nehod "hrajeme o čas". Jak tedy zajistit co nejrychlejší nasazení léčby v podobě rekompresní terapie v barokomoře? Řešení se přímo nabízí. Mít barokomoru na místě, nebo co nejbližší místu, kde ponory probíhají. A právě pro tyto účely byly zkonstruovány mobilní barokomory.

5.1.2 Výhody a nevýhody mobilních a transportních barokomor

Základní předpoklad a největší výhoda mobilní barokomory vyplývá již z jejího názvu. **Mobilita.** Tento typ komor bývá využíván potápěčskými skupinami, zejména pracovními. Barokomora může být umístěna v nástavbě nákladního, či dodávkového automobilu, na přívěsu, nebo v mobilním kontejneru. Není mi známo, že by v České republice byla jakákoli barokomora využívána na pracovních lodích.

Je také nutné vysvětlit rozdíl mezi označeními mobilní a transportní. Mobilní barokomora je umístěna například v automobilu a může být přivezena na určené místo, nejlépe přímo na místo ponoru. Po ukončení ponoru, nebo podvodních prací může být barokomora převezena na místo nové, kde je opět připravena pro případnou léčbu. Odtud její přívěsko - mobilní. Oproti tomu transportní barokomoru (která je však také vždy mobilní) je možno z automobilu odmontovat a přenést (transportovat) na jiné

místo i s osobami uvnitř a bez přerušení probíhající léčby. Odtud její přívisko - transportní. Využití faktu, že lze tuto komoru vyjmout a ručně, nebo pomocí techniky přenést, rozšiřuje možnosti efektivní léčby u komplikovaných případů. Hlavním důvodem proč komoru přemístit je možnost jejího napojení na hyperbarickou komoru stabilní, ale větší, která dovoluje komplexnější léčbu a umožňuje průběžně vstupovat a vystupovat ošetřujícímu personálu. Obě komory však musí být vybaveny vzájemným kompatibilním uzávěrem k jejich propojení, vyrovnání tlaků a následnému otevření.

U Hasičského záchranného sboru Jihočeského kraje je hyperbarická komora Haux Medicom umístěna na nákladním automobilu Iveco Daily (obr. 16). Tento nákladní automobil s celouzavřenou nástavbou je třímístný, s oddělenou kabinou pro posádku a v hasičském provedení. Nese označením nákladní automobil (NA - L1Z), je osazen majáky a výstražným ruchovým zařízením (sirénou).



Obrázek 16: NA Iveco Daily (zdroj: vlastní)

Potápěčská skupina tento automobil využívá též pro dopravu potápěčů, jejich vybavení a jiného materiálu na místo zásahu, nebo výcviku. Tento stav ovšem není ideální

z hlediska použití barokomory. Při přípravě barokomory k použití je nutné vždy všechny věci z automobilu vyklidit aby byl zajištěn volný pohyb kolem tělesa barokomory. Dalším negativním aspektem je ztráta tepelného komfortu, zejména v zimních měsících. Nástavba vozidla je temperována pomocí nezávislého topení, avšak pokud je automobil využíván jako potápěčský, jsou při nastrojování osobního vybavení potápěčů dveře neustále otevřeny a dochází k úniku veškerého tepla. Toto se může stát v případě potřeby umístění osob do barokomory velice diskomfortním pro obsluhu barokomory, ale zejména pro osoby umístěné do komory k léčbě. Tento fakt může negativně ovlivnit samotnou léčbu a dobu terapie prodloužit.

Potápěčské skupiny Hasičského záchranného sboru jsou rovněž dislokovány v Praze, Hradci Králové, v Pardubicích a v Olomouci. Další potápěči působí rovněž u Záchraného útvaru v Hlučíně. Hlučínští potápěči však nejsou primárně určeni jako prvosledová jednotka. Jejich hlavní práce tkví v materiální a personální podpoře a zabezpečení ostatních útvarů. Jejich další úlohou je pořádání kurzů pro potápěče napříč skupinami HZS ČR. Barokomorami jsou však dále vybaveni pouze potápěči hlavního města Prahy a Záchraného útvaru v Hlučíně. V Praze je barokomora umístěna na velkém nákladním automobilu Mercedes - Benz Atego a jedná se o novější typ mobilní barokomory s označením Haux Medistar, jejíž součástí je předkomora Haux Medilock. Obě části jsou od sebe oddělitelné a přenosné. Pražská barokomora je tudíž, stejně jako budějovická mobilní a transportní. U Záchraného útvaru v Hlučíně je barokomora pouze mobilní (nepřenosná) a je umístěna na nákladním automobilu Tatra 815. Nevýhodou těchto automobilů je zhoršený přístup vzhledem k jejich velikosti. Oproti tomu dodávkový automobil Iveco Daily se poměrně snadno dostane i do obtížněji přístupných míst a rovněž rychlost automobilu je v případě potřeby nesrovnatelně vyšší.

Automobil s barokomorou je vhodné umístit co nejbližší místu ponoru, nejlépe ihned na břeh. Toto umožňuje okamžité umístění postiženého potápěče do barokomory a včasné zahájení rekompresní terapie.

Zde jsem popsal výhody mobilní a transportní barokomory. Jaké jsou však jejich nevýhody? Určitě je to na prvním místě vnitřní prostor. Objem transportních barokomor je co možná nejmenší z důvodu šetření spotřebovávaného vzduchu (obr. 17). Vzduch se používá pro vytvoření vnitřní atmosféry barokomory a ke kompresi (tlakování)

barokomory na ekvivalent potřebné hloubky určené pro terapeutické účely. Jeho zásoba je však omezena. U naší komory tvoří zásobníky vzduchu dvě, navzájem propojené ocelové padesátilitrové tlakové láhve, s maximálním plnicím tlakem 200 bar. Celková zásoba vzduchu je tedy 20 000 litrů. Tlaková nádoba pro kyslík O₂ má objem padesát litrů a plnicí tlak rovněž 200 bar. Zásoba kyslíku je tudíž 10 000 litrů. I přes toto zdánlivě velké množství může při rekompresi trvající delší časový úsek vyvstat problém se zásobou vzduchu či kyslíku. Toto se ostatně také potvrdilo při praktické zkoušce transportu pacientů. U stabilních barokomor je oproti tomu zásoba vzduchu a kyslíku vždy dostatečně naddimenzovaná a obvykle lze vzduch, nebo kyslík během terapie průběžně doplňovat. U mobilních barokomor však lze zpravidla doplnit pouze vzduch a to v případě, že máme dostatečně dlouhou propojovací hadici a výkonný kompresor, nebo plnicí kaskádu tlakových lahví. S velikostí vnitřního prostoru jsou spojeny i případné lékařské úkony během léčby. Stabilní hyperbarické komory zajišťují dostatek prostoru a snadný přístup k pacientovi. Tento je potřeba obvykle k podání léků, zajištění žilního vstupu, intubaci a v krajním případě k provádění kardiopulmonální resuscitace. Barokomora Haux Medicom je vybavena pouze malým podávacím tunelem do které lze umístit předmět, typu plastové láhve o velikosti 0,2 l, léky, plena. Vstup do velkých stabilních barokomor probíhá přes předkomoru, kterou lze samostatně a na hlavní komoře nezávisle tlakovat a odtlakovávat.



Obrázek 17: Pohled do vnitřku jednomístné a dvoumístné barokomory Haux (zdroj: vlastní)

Velkým úskalím při použití těchto komor může být případný strach z malých, nebo stísněných prostor u postižené osoby. V takovém případě by mělo dojít ke zvážení, zda je léčba skutečně nutná, aby nedošlo k případnému poškození psychického zdraví.

Každý případ by však měl být konzultován s lékařem. Tato situace však může nastat i v podmínkách léčby ve větších hyperbarických komorách.

Zde jsem popsal základní výhody a nevýhody obou typů barokomor. I přes negativa spojená s provozem malých transportních barokomor mají tyto své významné a lze říci, že i nejvýznamnější místo v léčbě dekompresních a jiných potápěčských nehod.

5.1.3 V jakých případech zahájit transport

Mobilní transportní barokomora sice umožňuje převoz pacienta do nemocničního zařízení vybaveného barokomorou, následné připojení transportní barokomory a stabilní a následný přesun pacienta, ne ve všech případech je toto však nutností. Jedná se o poměrně složitý logistický proces náročný zejména na personální zajištění.

Při rozhodovacím procesu, kdy zvažujeme transport postiženého, musíme brát vždy v úvahu okolnosti týkající se zejména:

- zdravotního stavu pacienta
- dostatečného personálu pro řízení, obsluhu barokomory a pro samotný transport komory z automobilu
- připravenosti místa kam chceme transport provést
- celkové bezpečnosti

Zdravotní stav pacienta by měl být vždy konzultován s lékařem znalým v oboru potápěčské medicíny, který by měl též rozhodnout o případném transportu. Je důležité během vyšetření před umístěním do barokomory stanovit alespoň přibližné postižení a u dekompresních chorob určit jejich typ. Je potřeba mít na paměti, že lékař "na telefonu" je vždy závislý pouze na informacích které mu předáme. Vyšetření (i laické) je proto potřeba provést velmi důkladně.

Hasičský záchranný sbor pravidelně a dlouhodobě spolupracuje s lékaři z oboru potápěčské medicíny. Při kurzu pořádaném školicím střediskem je po celou dobu přítomen lékař a během ponorů je vždy k dispozici barokomora s obsluhou. Pokud probíhají výcviky v režii vlastních potápěčských skupin je vždy na zvážení vedoucího potápěčské skupiny, zda vznesе požadavek na přítomnost lékaře během takového výcviku. Lékař by však měl být přítomen, pokud se výcviku účastní velké množství potápěčů, nebo jsou plánované ponory jako dekompresní a do velkých hloubek. Je zde

však též otázka finanční, jelikož každá takováto přítomnost lékaře je hrazena z prostředků HZS. U potápěčských zásahů je rozhodnutí na vedoucím potápěči, který bývá velmi často i v roli velitele zásahu. Potápěčská skupina HZS Jhc disponuje barokomorou umístěnou v Českých Budějovicích, potápěči jsou však umístěni také v Českém Krumlově a Písku. Je opět na jejich zvážení zdali si pro výcvik barokomoru vyžádají.

Personální zabezpečení je v případě léčby a transportu pacienta poměrně náročné. Pokud uvažujeme o postižení a nutnosti léčby jedné osoby, je tato umístěna do barokomory spolu s doprovodem, který má za úkol na postiženého dohlížet. V případě, že jsou postižené dvě osoby, jsou do barokomory Haux Medicom umístěny obě, bez možnosti dohlížejícího doprovodu. Do jednomístné komory je umístěn vždy pouze jeden potápěč. Další je obsluhující personál barokomory. Z hlediska bezpečnosti by měl vždy jeden příslušník provádět samotnou obsluhu barokomory a druhý by měl plnit funkci supervizora. Jeho úkolem je dohlížet na postup a správnost kroků obsluhy, případně kontrolovat splnění jednotlivých kroků z "check listu" a pomáhat s komunikací mimo barokomoru a zapisovat časy. Supervizor plní také funkci bezpečnostního prvku a záložního obsluhovatele, kupříkladu při zdravotních problémech obsluhy. Oba tyto příslušníci by vždy měli být vyškolení k obsluze barokomory, nebo alespoň řádně obeznámení s jejím ovládním. Měli by v tomto mít dostatečné zkušenosti a zodpovědný přístup.

Další osobou potřebnou k uskutečnění transportu je řidič. Mělo by se jednat o řidiče se zkušenostmi s jízdou v provozu při použití výstražných zařízení (majáky, siréna). V nejlepším případě by v kabině pro posádku měl být ještě velitel vozu zajišťující komunikaci s operačním střediskem, řídícím důstojníkem, policií, atd. Po příjezdu na místo určené však nastává nejsložitější fáze celého procesu. Barokomora musí být pomocí náradí vymontována z automobilu a vynesena ven. K tomuto úkonu je zapotřebí 6 - 8 osob. V případě cvičení, které jsem naplánoval v oblastní nemocnici Kladno, tvořili tuto skupinu osob kolegové potápěči, kteří se též účastnili cvičení. V jiných případech, kdy je předpoklad nedostatku osob z řad potápěčů by byla cestou operačního střediska povolána místní jednotka Hasičského záchranného sboru.

Připravenost místa, kam chceme postiženou osobu transportovat, je taktéž důležitým faktorem v ohledu proveditelnosti. Přijímací místo by mělo být před odjezdem

kontaktováno a mělo by být potvrzeno, že je schopno transportní barokomoru přijmout a zabezpečit všechny úkony s tím spojené. Ověření by měl provést velitel zásahu a informovat o tom zejména řidiče a velitele vozu s barokomorou. Těm by měla být i sdělena informace o tom, je-li na místě dostatek sil pro vyložení barokomory. Konzultace s přijímacím místem je považována za nezbytnou a velmi důležitou. Při cvičení které jsme absolvovali, bylo vše předem dohodnuto s vedoucím lékařem oddělení hyperbarické medicíny oblastní nemocnice Kladno MUDr. Štěpánem Novotným. Barokomora byla připravena, zkontrolována její funkčnost a bylo zabezpečeno, že v době času příjezdu nebude probíhat hyperbarická oxygenoterapie. Může však nastat situace, že barokomora bude mimo provoz, bude zde probíhat neodkladná léčba, nebo nebude v dosahu potřebný personál pro obsluhu. Z těchto důvodů je nutné přesun ohlásit.

5.2 *Plánování cvičení transportu barokomory*

Hasičský záchranný sbor Jihočeského kraje s MUDr. Novotným spolupracuje již řadu let. Příslušníci potápěčské skupiny jsou jím opakovaně školeni na rizika potápění, způsoby poskytování první pomoci při potápěčských nehodách, laickou klasifikaci a zařazení dekompresních nemocí až mnoha dalších témat z oblasti přístrojového potápění a nejen z nich. Tento lékař se rovněž pravidelně účastní našich výcviků vyžadujících jeho přítomnost. Ačkoli potápěči Hasičského záchranného sboru jsou velmi dobře vycvičení a mezi záchrannými složkami jsou v tomto oboru na vrcholu, ani oni se nedokáží vyhnout potápěčským nehodám. Doktor Novotný byl již několika těmito nehodám přímo přítomen a u dalších byl vždy kontaktován a konzultace probíhala po telefonu. Jedná se předního odborníka na problematiku hyperbarické medicíny. S obsluhou naší barokomory Haux Medicom je velmi dobře obeznámen a sám také pomocí ní několikrát prováděl léčbu. Již několik let nazpět jsme si pohrávali s myšlenkou vyzkoušet připojení naší mobilní transportní barokomory na stabilní hyperbarickou komoru Dräger (obr. 18) umístěnou na odd. HBO na Kladně. Tato komora je vybavena stejným kompatibilním přechodovým zámkem jako naše barokomora Haux a umožňuje jejich vzájemné propojení.



Obrázek 18: Hyperbarická komora Dräger, oblastní nem. Kladno (zdroj: vlastní)

Do té doby nebylo propojení naší barokomory Haux Medicom ani v nemocnici v Kladně, ani jinde v České republice vyzkoušeno. Dle, v té době dostupných informací, odborné literatury, sborníků vědeckých konferencí a osobního dotazování nebylo u nás nic podobného vyzkoušeno ani s jinými barokomorami. Jednalo se tudíž na našem území o dosud nevyzkoušené unikum.

5.2.1 První pokus

První pokus o propojení obou komor proběhl již v roce 2018. Tehdy naše potápěčská skupina byla u MUDr. Štěpána na školení ze zdravotní péče, v rámci které byla domluvena tato zkouška. Barokomora měla být vymontována z automobilu, ručně odnesena na oddělení a zde připojena k barokomoře Dräger. Oproti reálné situaci však v barokomoře nebyli žádní lidé a komora nebyla ani natlakována. Vše probíhalo poměrně hladce. Příjezd ke vstupu po sjezdové rampě byl díky delšímu rozvoru automobilu lehce komplikovaný a automobil drhl o zem závěsným zařízením. Řidič proto musel vycouvat a zvolit jiný úhel nájezdu. Vyndání barokomory z automobilu bylo od jejího umístění na podvozek také první a panovala obava ze zkorodovaných

šroubů a matek, které budou bránit odmontování komory z podstavce. Tato obava se však nenaplnila. Komora byla hladce vyndána a šesti příslušníky odnesena. Ani cestou ke stabilní komoře nevyvstal žádný problém. Stabilní barokomora v nemocnici však byla umístěna vstupním otvorem směřujícím do úzkého, zhruba 1,5 m širokého průchodu, který byl z pravé i z levé strany tvořen, napevno, vestavěnou skříň (obr. 19). Systém zámku pro vzájemné připojení barokomor je vytvořen na principu ozubeného věnce typu samec x samice, které do sebe navzájem zapadají. Na stejném principu funguje i otevření a zavření vstupního otvoru poklopem. Ozubený věnec je nutné pravidelně kontrolovat a mazat grafitovou vazelínou. Pokud se nepoužívá, je vnější věnec překryt gumovou hadicí. Poklop by se po vyjmutí měl ukládat na měkkou plochu (např. karimatku). Pro nasazení a připojení barokomory je však nutné tuto nejprve mírně pootočit na levou stranu, poté nasadit, přitlačit a barokomoru vrátit zpět do svislé polohy. Zde jsme však narazili ve zúženém průchodu právě na skříň. Barokomoru nebylo možné dostatečně natočit, aby došlo k jejímu přisazení a zapadnutí zubů. I přes několik pokusů bohužel tato snaha nedopadla a propojení barokomor se nezdařilo.



Obrázek 19: Průchod a detail zámku barokomory Haux (zdroj: vlastní)

5.2.2 Nápravná opatření nemocnice Kladno

Nyní jsme se nacházeli v bodě, kdy ze strany HZS proběhlo cvičení hladce a nebyla zaznamenána žádná pochybení ani závady a MUDr. Novotný po problémech s úzkým průchodem přislíbil brzkou nápravu. Po dohodě s vedením nemocnice nechal skříň předělat a průchod zvětšit tak aby během procesu připojování transportní barokomory

mohlo dojít k jejímu dostatečnému náklonu potřebnému k zapadnutí ozubení. Po určité době byla obnovena myšlenka společného cvičení. Tato snaha byla však přerušena celosvětovou epidemií Covid-19. Tato situace s sebou přinesla řadu zákazů, restrikcí omezení. Mimo jiné byl vydán zákaz konání všech plánovaných cvičení a to jak ze strany HZS, tak ze strany nemocnice.

5.3 Taktické cvičení

S odstupem několika let jsme se opět vrátili k myšlence pokusu propojení barokomor. V rámci vypracování mé diplomové práce jsem se po domluvě s kolegy rozhodl, že tentokrát bychom tento pokus naplánovali jako rozšířené taktické cvičení. Tento můj záměr byl po předložení schválen náměstkem pro integrovaný záchranný systém (IZS), do jehož gesce cvičení tohoto typu spadají a který má na starosti také přímo potápěčskou skupinu HZS Jihočeského kraje. Rozkazem pana náměstka jsem byl pověřen sestavením plánu cvičení a jeho projednáním.

5.3.1 Plánování a projednání taktického cvičení

Jak již bylo řečeno, plánování taktického cvičení ve spolupráci s nemocničním zařízením je poměrně časově a organizačně náročné. Nejprve bylo potřeba najít vhodný termín, tak aby k provedení cvičení mohlo být uvolněno dostatečné množství příslušníků a také dostatečné množství techniky. Toto muselo být domluveno s kolegy potápěči, s veliteli stanic, na kterých jsou potápěči dislokovaní, dále se strojním oddělením, aby byl k dispozici dostatečný počet potřebné techniky a v neposlední řadě s oddělením IZS, aby nedošlo ke kolizi s jiným plánovaným cvičením, nebo jinou služební akcí. Zároveň musel termín vyhovovat a musel být projednán s oddělením hyperbarické medicíny v nemocnici Kladno. Projednání a schválení termínu za nemocnici Kladno bylo domluveno s MUDr. Štěpánem Novotným. Nakonec byl termín taktického cvičení stanoven na 4. 4. 2023. Plánovaná cvičení s sebou vždy nesou riziko jejich neuskutečnění z důvodu zásahu vyšší moci, nebo pravděpodobněji vzniku mimořádné události vyžadující si například bezodkladný zásah potápěčské skupiny. V návaznosti na toto taktické cvičení bylo naplánováno školení na provedení odložené dekompresie s MUDr. Hanou Pácovou, působící rovněž na oddělení HBO Kladno. Toto školení již však nebylo součástí cvičení a není ani předmětem praktické části této DP.

5.3.2 Sestavení plánu taktického cvičení

Při sestavování plánu je potřeba dodržet několik bodů, které jsou nutné ke schválení taktického cvičení ředitelem HZS kraje a po jehož podpisu je možné cvičení uskutečnit.

Název taktického cvičení

Transport potápěče po potápěčské nehodě v mobilní barokomoře Haux Medicom s jejím následným připojením na stabilní barokomoru v nemocnici Kladno

Zodpovědné osoby

Určení zpracovatele (pprap. Bc. Jakub Karvánek), vedoucího cvičení (pprap. Bc. Jakub Karvánek), velitele zásahu (velitelem zásahu byl určen příslušník ve funkci vedoucího potápěčské skupiny HZS Jihočeského kraje). Schvalovatelem taktického cvičení je ředitel HZS kraje. Před předložením k podpisu řediteli byl plán cvičení zkontrolován náměstkem pro IZS.

Osoby a organizace informované

Po schválení plánu je nutné o tomto uvědomit osoby a organizace, jež se taktické cvičení přímo dotýká. V tomto případě se jedná o:

- OPIS HZS JčK - z důvodu přehledu o jednotkách pro případ MU a z důvodu plnění role operačního střediska během taktického cvičení
- HZS Jihočeského kraje, ÚO ČB - pro uvolnění příslušníků účastnících se cvičení
- HZS Jihočeského kraje, ÚO ČK - pro uvolnění příslušníků účastnících se cvičení
- HZS Středočeského kraje - taktické cvičení proběhlo zejména na území Středočeského kraje a přes toto území probíhala též zásahová jízda
- Kübeck, s. r. o.; Oblastní nemocnice Kladno, a. s.; oddělení hyperbarické a potápěčské medicíny, MUDr. Štěpán Novotný

Téma cvičení

- 1) prověření akceschopnosti potápěčské skupiny HZS Jhc
- 2) prověření zajištění péče o potápěče s jeho následným umístěním do barokomory
- 3) prověření proveditelnosti transportu potápěče v barokomoře do oblastní nemocnice Kladno

- 4) ověření připojení mobilní barokomory na stabilní barokomoru s přestupem potápěče
- 5) prověření komunikace s odd. Hyperbarické a potápěčské medicíny nemocnice Kladno

Cíl cvičení

Prověření možnosti umístění potápěče po potápěčské nehodě, do mobilní barokomory Haux Medicom s jeho následným transportem na odd. hyperbarické a potápěčské medicíny v oblastní nemocnici Kladno. Připojení mobilní barokomory na stabilní nemocniční barokomoru a přesun pacienta do stabilní barokomory k následné léčbě.

Místo provedení

Stanice České Budějovice; trasa ČB - nem. Kladno; Oblastní nemocnice Kladno.

Termín cvičení

Začátek: 4. 4. 2023 v 8:30hod., předpokládaný konec: 4. 4. 2023 v 16:00 hod.

Zúčastněné jednotky a příslušníci

V plánu cvičení jsou vždy uvedeni příslušníci, kteří se ho budou účastnit. V tomto pokynu jsou uvedeni jmenovitě s uvedením hodnosti, titulu, územního odboru a stanice. Toto taktické cvičení absolvovalo 7 příslušníků z územního odboru České Budějovice a 4 příslušníci z územního odboru Český Krumlov. Každý ze cvičících byl zároveň členem potápěčské skupiny HZS Jhc.

Zvláštní podmínky cvičení

Podmínkou cvičení bylo stanoveno, že v případě mimořádně události vyžadující okamžité nasazení potápěčské skupiny bude cvičení bezodkladně ukončeno a potápěčská skupina vyjede na místo MU.

Technika

V plánu taktického cvičení je rovněž uvedena technika potřebná pro vykonání cvičení. Toto bylo předem domluveno s oddělením služeb IZS, konkrétně se strojním oddělením. Na toto cvičení byly vyčleněny tři automobily. 2x dopravní automobil Ford Custom a 1x NA Iveco Daily (nosič barokomory).

Předpokládaná činnost jednotek

Členové potápěčské skupiny HZS Jčk:

- zajištění potápěče po simulované potápěčské nehodě
- umístění potápěče do barokomory
- zajištění transportu potápěče v barokomoře do nemocnice Kladno
- připojení mobilní barokomory ke stabilní barokomoře

HZS Středočeského kraje v případě skutečné nastalé situace:

- asistence při vyjmutí transportní barokomory z automobilu a asistence při jejím následném připojování ke stabilní barokomoře

Námět cvičení

Při praktickém výcviku potápěčské skupiny HZS Jhc došlo během ponoru k nekontrolovanému výstupu potápěče z hloubky 35 m. Potápěč nebyl v bezvědomí, ale udává jiskření před očima, tunelové vidění, svědění kůže a bolesti kloubů. Na kůži jsou vidět jasné známky mramorování. Zdravotní stav potápěče byl vyhodnocen jako Dekompresní nemoc Typu I s možností pozdějšího rozvinutí na Typ II. Ihned bylo na mobilní non-stop telefon kontaktováno oddělení hyperbarické a potápěčské medicíny nemocnice Kladno. Po konzultaci s MUDr. Štěpánem Novotným (vedoucím lékařem odd.) byl potápěči podán kyslík a následně byl umístěn spolu s dohledem do mobilní hyperbarické komory Haux Medicom umístěné na automobilu Iveco Daily. Barokomora byla pro tyto případy přítomna u výcviku. Následně byl potápěč převezen do kladenské nemocnice, kde byla barokomora vyjmuta z nákladního prostoru automobilu a byla připojena na stabilní nemocniční barokomoru. Po jejím připojení a vyrovnání tlaků byl postižený potápěč přesunut do stabilní barokomory k následné léčbě. Jednotka se následně vrátila na základnu.

Způsob provedení cvičení

Taktické cvičení bude zahájeno domnělou potápěčskou nehodou. Dopomoc potápěči ve vodě, jeho vysvlečení ze suchého obleku a jeho příprava na umístění do barokomory není součástí tohoto cvičení. Vedoucí cvičení bude informovat OPIS HZS Jhc o potápěčské nehodě a po domluvě také krajského řídicího důstojníka. Ihned po zjištění okolností nehody bude kontaktován MUDr. Štěpán Novotný a po konzultaci s ním bude

potápěč umístěn do barokomory. Následný přesun bude probíhat za dodržení všech zásad bezpečné jízdy a BOZP. Během cvičení budou všichni účastníci používat osobní ochranné pomůcky. Jízda vozidel do Oblastní nemocnice Kladno bude s výstražným světelným zařízením.

Předpokládaný průběh cvičení

Tabulka 6: Plán taktického cvičení HZS Jhc, časový průběh

| čas | Situace | Předpokládaná činnost, úkoly cvičících |
|-------|--|--|
| 0:00 | Potápěčská nehoda | Není součástí cvičení. |
| 0:00 | Vytažení a zajištění postiženého na | Není součástí cvičení. |
| 0:00 | Kontrola zdravotního stavu postiženého | Není součástí cvičení. |
| 0:00 | Vyhodnocení zdravotního stavu postiženého | Vyhodnocení že se jedná o potápěčskou nehodu. |
| 0:01 | Vydávání potřebných rozkazů VZ | Kontaktování MUDr. Novotného. Ohlášení mimořádné události na OPIS HZS Jčk. |
| 0:10 | Konzultace s lékařem | Prohlídka postiženého dle instrukcí lékaře, podání kyslíku. |
| 0:10 | Informování ŘD | Po konzultaci s OPIS bude ŘD informován o situaci přímo z místa |
| 00:15 | Lékař doporučuje umístění postiženého do barokomory a jeho transport do nemocnice Kladno | Umístění postiženého a doprovodu do barokomory. Rozdělení činností během transportu. |
| 00:25 | Postižený je umístěn v barokomoře | Obsluha barokomory zahajuje tlakování barokomory. |
| 00:45 | Začátek transportu | Přejezd na odd. hyperbarické a potápěčské medicíny nemocnice Kladno za použití VRZ |
| 03:00 | Konec transportu | Dojezd do nemocnice Kladno |
| 03:30 | Mobilní barokomora na místě | Mobilní barokomora bude odmontována z nákladového prostoru automobilu a přemístěna na připravené transportní zařízení a následně bude přemístěna ke stabilní nemocniční barokomoře. Zde dojde k připojení ke stabilní barokomoře a budou vyrovnány tlaky v obou barokomorách. Po spojení barokomor a vyrovnání tlaků bude postižený přesunut do stabilní barokomory a mobilní barokomora bude následně odpojena. |
| 04:15 | Postižený přesunut | Postižený potápěč je předán do péče lékaře. Mobilní barokomora bude vrácena zpět na své místo. |
| 05:00 | Ukončení cvičení | |

(zdroj: HZS Jhc)

Dodatečné informace

Mezi tyto informace můžeme zařadit meteorologickou předpověď, která se při plánování též zjišťuje, seznam platné legislativy, případně použité literatury, a plán cvičení může být doplněn o mapu s vyznačenou předpokládanou trasou jízdy.

5.4 Příprava taktického cvičení

Taktické cvičení proběhlo dle plánu dne 4. 4. 2023 za účasti všech příslušníků uvedených v pokynu. Nejprve proběhl briefing, kde byli všichni zúčastnění seznámeni s plánem taktického cvičení, s předpokládaným časovým rozvrhem, s bezpečností práce a přidělením úloh a funkcí během cvičení. Mezi potápěče byly rozděleny následující role:

- potápěč postižený dekompresní nemocí - barokomora
- doprovod potápěče - barokomora
- obsluha barokomory
- supervizor - záložní obsluha barokomory
- řidič barokomory
- velitel vozu barokomory a zároveň velitel zásahu
- zbývající účastníci tvořili osádku doprovodných vozidel a jejich využití spočívalo zejména při transportu samotné barokomory z automobilu

Úlohy jednotlivým účastníkům byly rozděleny po vzájemné domluvě. Zdánlivě nejtěžší úkol připadl těm, kteří měli být uzavřeni v barokomoře a simulovat postiženého potápěče s doprovodem. Mně osobně byla přidělena role supervizora s dohledem nad obsluhou barokomory. Před začátkem akce byla ještě jednou zkontrolována zásoba vzduchu a kyslíku v tlakových zásobnících a byla prověřena komunikace. Následně byl kontaktován MUDr. Štěpán Novotný, kvůli ověření připravenosti hyperbarické komory a jejího obsluhujícího personálu na oddělení HBO v Kladně.

Dle scénáře taktického cvičení došlo při praktickém výcviku potápěčské skupiny k potápěčské nehodě a na konci ponoru potápěč nekontrolovaně, bez dekompresních zastávek, vystoupil z hloubky 35 m až na hladinu. Je na místě zmínit, že praktický zásah na záchranu potápěče nebyl součástí tohoto taktického cvičení. Avšak potápěčská skupina pravidelně trénuje skutečnou záchranu potápěče z vody, jeho dopravu na břeh, vyslečení z potápěčského obleku, dopravu k barokomoře, předlékařskou prohlídku a umístění postiženého i s doprovodem do barokomory, včetně skutečného natlakování na rekompresní hloubku.

5.5 Potápěčská nehoda s rizikem vzniku dekompresní nemoci

V případě potápěčské nehody je potřeba vykonat řadu kroků se snahou, zamezit riziku utonutí, transportovat postiženého na břeh, vyhodnotit stav postiženého, zajistit ošetření.

5.5.1 Pod vodou a ve vodě

Vyhodnocení krizové situace během ponoru je velmi problematická záležitost. Většinou se do stavu nouze dostane potápěč postupnou kumulací jednotlivých chybných kroků, náhod, nesprávných rozhodnutí, technických problémů, nebo úkonů plynoucích ze stresu, neznalosti, nedbalosti, nezkušenosti. Mnohdy ani samotný postižený potápěč nedokáže dlouho rozpoznat vážnost situace a o to těžší je vyhodnocení pro buddyho (partnera). Zřídka kdy jsou postiženi oba potápěči. Vycházíme z předpokladu, že jsou dodrženy bezpečnostní směrnice a ponoru se účastní alespoň dva potápěči. Sóló ponory jsou vždy a za každých okolností velmi rizikové.

V případě, že již dojde k nehodě, snaží se potápěč, nebo jeho buddy na sebe co nejvíce upoutat pozornost a přivolat pomoc plácáním rukou do vody, voláním o pomoc, signalizací pískalkou, nebo světlem. Postiženého potápěče se snažíme udržet na hladině pomocí nafouknutého kompenzátoru vzlaku. Kontrolujeme vědomí, a aby obličej postiženého nebyl v kontaktu s vodou a nedošlo k utonutí na hladině.

5.5.2 Transport na břeh

Transport potápěče může probíhat několika způsoby. Lodí, tažením za lodí, tažením, plaváním. Ponory mohou probíhat na různých lokalitách, v různých klimatických podmínkách a také v různých vzdálenostech od břehu. Dle Sbírký interních aktů řízení generálního ředitele HZS 45/2013: "Při činnosti potápěčů ve vzdálenosti větší než 50 m od břehu musí být zajištěno doprovodné plavidlo, na jehož palubě je vždy vůdce plavidla. Po dobu, kdy je potápěč pod vodou, nesmí být v chodu motor doprovodného plavidla. Doprovodné plavidlo musí být vybaveno a označeno v souladu s Řádem plavební bezpečnosti." V případě, že lze postiženého vytáhnout na loď je tento způsob transportu postiženého nejrychlejší a nejefektivnější. Alternativou je tažení za lodí, kdy se postižený drží lodi. Volíme v případě, že postiženého nelze vytáhnout na loď (nedostatek sil, vysoký bort lodi,...). Dalším ze způsobů, který volíme v případě, že není na místě ponoru loď je plavání. Pokud je postižený potápěč schopen doplavat

ke břehu plave volným tempem bez zbytečně veliké námahy. Postiženého neustále kontrolujeme. Poslední variantou je tažení potápěče druhým potápěčem.

5.5.3 Příprava potápěče na umístění v barokomoře

Po zajištění a přitažení, nebo přivezení ke břehu je potápěč nejprve odstrojen a veškerá jeho výbava je uložena na jedno místo, kde by měla být pod dohledem a nemělo by s ní být jakkoli manipulováno. Toto se týká uzavírání ventilů tlakových lahví a zejména potápěčského osobního počítače. V případě potřeby budou tyto věci poskytnuty Policii ČR, případně soudnímu znalci v oboru potápění pro další zkoumání. Jako další je potápěč vysvlečen z obleku. Vzhledem k tomu, že potápění u HZS probíhá výhradně v suchých oblecích, může toto představovat problém. Pokud není potápěč při vědomí, nebo nespolupracuje, je vhodné zvolit variantu rozřezání, nebo rozstříhání suchého obleku, teplého podobleku, případně i spodní vrstvy prádla. Během tohoto je potápěč dotazován na průběh nehody a na zdravotní problémy. Toto se průběžně vyhodnocuje a potápěč je neustále bedlivě pozorován. Zároveň by měl být kontaktován lékař. Před přemístěním potápěče do barokomory by měl být oblečen do bavlněného oblečení z důvodu zamezení možnosti vzniku jiskry v důsledku elektrostatického výboje. Nespolupracující potápěč může být zabalen do prostěradla. Pokud bude potápěč do komory z nějakého důvodu umístěn v potápěčském podobleku je nutné jej upozornit, nebo prohledat, aby u sebe neměl žádné elektronické zařízení (mobilní telefon, elektronická cigareta, hodinky).

5.5.4 Vyšetření postiženého potápěče

Vyhodnocení zdravotního stavu postiženého je základním předpokladem pro úspěšné, včasné a účinné nasazení léčby. Již při prvním kontaktu s takovým potápěčem se snažíme zjistit jeho zdravotní stav. Příznaky rozdělujeme na mírné a těžké a dle jejich klasifikace rozhodujeme o dalším postupu. Léčba kyslíkem x rekompresní terapie. Součástí tohoto rozhodovacího procesu je též "pětiminutové" neurologické vyšetření vycházející z doporučení organizace DAN (divers alert network), které se opakuje po pěti a případně dále po třiceti a šedesáti minutách. Vyšetření je zaměřeno na základní smysly a motoriku potápěče (oči, sluch, cit, ovládání obličejových svalů,...).

Přehledný a jasný návod, včetně schématu rozhodovacího procesu IF - ELSE na vyhodnocení zdravotního stavu a příznaků dekompresní nemoci je vytištěn a uložen

u barokomory. Součástí je i výtisk pro opakované neurologické vyšetření. Pro případ první pomoci a pro zahájení léčby pomocí kyslíkové terapie je k dispozici vždy kyslíkový přístroj Saturn Oxy. Tento návod, včetně schémat pro vyhodnocení nutnosti léčby v barokomoře a pětiminutového neurologického vyšetření, je přílohou této diplomové práce.

5.6 Zahájení a průběh taktického cvičení

Taktické cvičení bylo zahájeno za přítomnosti všech zúčastněných. Prvním krokem dle námětu cvičení bylo vyhodnocení domnělé potápěčské nehody, resp. vyhodnocení zdravotního stavu postiženého potápěče. Dle scénáře bylo konstatováno, že se jedná o potápěčskou nehodu, kdy postižený projevuje příznaky dekompresní nemoci typu I s reálnou možností rozvoje na DCS typu II. Mimořádná událost byla oznámena velitelem zásahu na Operační a informační středisko HZS Jhc (OPIS) a zároveň byl kontaktován lékař, specialista na potápěčskou medicínu. Dle jeho instrukcí byla provedena laická zdravotní prohlídka a v rámci první pomoci byl postiženému podán k inhalaci 100 % kyslík. Po domluvě s lékařem bylo rozhodnuto o umístění postiženého do barokomory, spolu s doprovodem a o zahájení léčby rekompresní terapií. Velitel zásahu, po domluvě s OPIS, osobně informuje řídicího důstojníka o nastalé situaci a o rozhodnutí umístění postiženého potápěče do barokomory s jeho následným převozem na odd. hyperbarické medicíny na Kladně.

V souběhu s těmito kroky obsluha barokomory připravila tuto do pohotovostního stavu. Pacient byl spolu s doprovodem ještě jednou poučen o zákazu vnášení nebezpečných předmětů a poté byli umístěni do tělesa barokomory. Proti chladu byli vybaveni spodním prádlem bez syntetických vláken a dostatečnou zásobou bavlněných prostěradel. Dále jim byla podána neperlivá voda v PET lahvi a také pleny a láhev na moč, takzvaný bažant. Pokud není bažant připraven předem a do komory umístěn hlavním průlezem, není ho již možno kvůli velikosti podat zásobovacím tunelem. Další možností v případě opomenutí jsou pouze jednorázové pleny, které jsou též součástí vozidla.

Po umístění osob do barokomory obsluha začala s rekompresí na hloubku 18 m. Při konzultaci s lékařem bylo domluveno, že léčba bude probíhat dle modifikované rekompresní tabulky US NAVY č. 5. Prvotní natlakování a úvodní rekompresce proběhla ještě na stanici ve stojícím vozidle. Při tomto cvičení ještě nebyl vytvořený návod na

ovládání barokomory, jež je součástí této práce, proto byli k obsluze zvoleni příslušníci, kteří absolvovali školení obsluhovatele barokomory a kteří mají dostatek zkušeností s jejím ovládáním. Po ustálení barokomory na předepsané hloubce, bylo toto oznámeno veliteli zásahu, který vydal rozkaz k zahájení jízdy a rovněž informoval operační středisko.

5.6.1 *Komunikace*

Během celé jízdy spolu byli všichni cvičící ve vzájemném spojení za použití mobilních telefonů a analogových a digitálních vysílaček. Spojení mezi účastníky probíhalo zejména na zásahovém analogovém kanále "K" a spojení s operačním střediskem zajišťoval v rámci přehlednosti pouze velitel zásahu prostřednictvím digitální rádiové sítě Matra. V případě výpadku spojení analogové sítě (např. velká vzdálenost jedoucích vozidel) mohlo být spojení uskutečněno pomocí mobilních telefonů. Nejdůležitější spojení probíhalo mezi obsluhou barokomory nacházející se v nákladovém prostoru automobilu a mezi velitelem zásahu (vozidla) a řidičem. Ti obsluhu průběžně informovali o místě, kde se zrovna nacházejí, o hustotě provozu a o případných hrozících nebezpečích, nebo předpokládaných změnách směru jízdy. Naopak obsluha barokomory, přesněji řečeno supervizor, informoval velitele o situaci v nástavbě a o probíhající léčbě. S lékařem v případě potřeby komunikoval supervizor, který byl přímo přítomen u barokomory a u postiženého potápěče.

5.6.2 *Doprava a bezpečnost během jízdy*

Jak již bylo uvedeno, doprava byla zajištěna automobilem Iveco Daily vezoucím barokomoru a dále dvěma dodávkovými automobily Ford Custom. Vozidla se pohybovala po celou dobu jízdy v koloně, přičemž barokomora jela vždy uprostřed. Vozidla řídili s největší opatrností hasiči s dlouholetými zkušenostmi s řízením zásahových vozidel. Celá cesta probíhala v režimu zásahové jízdy, to znamená se zapnutým světelným a ruchovým výstražným zařízením (maják, siréna). I přes dopolední hustotu provozu, zejména před Prahou a v Praze, cesta probíhala poměrně hladce. Pouze jedenkrát došlo k nepředvídatelné situaci, když řidič nákladního automobilu bezdůvodně a bez očekávání začal prudce brzdit, čím donutil kolonu hasičských vozidel ke stejnému manévru. Tato situace však ukázala, že náhlé brzdění, nebo neočekávaná změna směru jízdy představuje největší nebezpečí pro obsluhu barokomory. Ta tyto manévry nemůže předvídat, připravit se na ně a ani osádka

automobilu je nedokáže včas informovat. Obsluha barokomory po celou dobu jízdy u obslužného pultu barokomory stojí a má pouze málo možností jak se přidržovat. Jedinou možností jsou madla barokomory, která jsou však velmi nízko a pro stojící osobu jsou v nepříjemné a nepřírozené poloze. I zdánlivě jednoduchá věc, jako je odečítání a zapisování časů, se v těchto podmínkách ukázala do jisté míry problematická a velmi ztěžuje práci obsluhy. U ovládacího pultu není žádný odkládací prostor, kam by mohl být umístěn mobilní telefon, nebo desky pro zapisování a vzhledem k válcovitému tvaru tělesa barokomory není možné nic odložit ani sem, jelikož během jízdy vše ihned spadne. Již před jízdou však bylo dohodnuto, že obsluha barokomory bude vybavena, buď lehkou zásahovou hasičskou přilbou, nebo přilbou lezeckou, dále bude mít každý hasičský opasek s karabinou a lezecký úvazek. Po celou dobu jízdy bude obsluha pomocí polohovacího pásu a úvazku zajištěna k tělesu barokomory, které je pevně spjato s konstrukcí automobilu (obr. 20).



Obrázek 20: Zajištěný hasič pomocí polohovacího opasku a úvazku (zdroj: vlastní)

Toto se ukázalo jako správný krok při uvedeném manévru nouzového brzdění. Obava, která panovala o potápěče umístěné v barokomoře, se však nenaplnila a dle jejich informací cesta probíhala, klidně, pohodlně a bezproblémově. Po těchto zkušenostech

bylo doporučeno vybavit zásahový automobil s barokomorou sadou dvou polohovacích pásů s karabinou, úvazkem a dvojicí lezeckých přileb. Bezpečnost všech byla jedním ze základních předpokladů hladkého průběhu taktického cvičení. Na tento zřetel byl po celou dobu kladen velký důraz a kladně hodnotím, že celé cvičení proběhlo bez komplikací a většího množství krizových situací. Toto bylo oceněno také vedením HZS. Trasa do kladenské nemocnice byla zvolena po dálnici D3 přes Tábor, dále po D1 přes Prahu po pražském okruhu a dále na Kladno. Celková doba jízdy byla i přes značný provoz rovné 2 hodiny.

5.6.3 Rekompresní terapie

Léčba postiženého potápěče umístěného v barokomoře probíhala podle uvedené tabulky US NAVY č. 5, která se používá pro lehčí případy dekompresních chorob. Tento postup léčby byl stanoven po konzultaci s lékařem. V první fázi léčby je barokomora natlakována na tlak odpovídající hloubce 18 m slané mořské vody. Tato rekompresa probíhá rychlostí 6 m/min a trvá 3 minuty. Potápěči již mohou dýchat čistý kyslík. Další fází je isoprese, neboli setrvání v hloubce bez tlakové změny. Buď od začátku, nebo po dosažení hloubky přecházejí potápěči na dýchání 100 % kyslíku po dobu 20 minut. Následuje takzvaný air brake, neboli vzduchové okno, kdy je vypnut přívod kyslíku, a osoby dýchají čistý vzduch. Je nutné na tento přechod předem upozornit, jelikož musí odložit kyslíkové polomasky. Dýchání čistého kyslíku trvá dalších 5 minut a poté dochází opět k přechodu na 100 % kyslík. Toto další kyslíkové okno trvá celých 50 minut. Avšak, po 20 minutách dochází k první dekompresi, neboli k snížení tlaku a k přechodu na menší hloubku. Tento proces je velmi náročný pro obsluhu barokomory, jelikož stoupání probíhá velmi pomalu a je náročné korigovat rychlost výstupu. Tento krok vyžaduje poměrně velkou zkušenost obsluhujícího personálu. Rychlost výstupu nesmí přesáhnout 0,3 m/min a celkový výstup do hloubky 9 m tudíž trvá celých 30 minut. Po celou dobu výstupu jsou potápěči na kyslíku. Obsluha barokomory průběžně kontroluje obsah kyslíku v atmosféře barokomory, který za žádných okolností nesmí přesáhnout 23 %. V opačném případě musí obsluha upozornit potápěče na netěsnost polomasek a na nutnost polomasky řádně utěsnit. Pokud obsah kyslíku neklesne pod stanovenou hranici je obsluha povinna bezpodmínečně vypnout přívod kyslíku. Po dosažení hloubky 9 m následuje další, 5 minutový air brake a přechod na vzduch.

5.6.4 *Nedostatek zásoby kyslíku*

V tomto bodě léčebné rekompresce nastal však poměrně velký problém, jelikož začala docházet zásoba kyslíku. Zpočátku bylo rozhodnuto, že kyslíkovou terapii podstoupí oba potápěči. Toto se ukázalo jako chybný krok a od začátku měl být na 100 % kyslíku pouze postižený potápěč. Zde je však nasnadě hypotetická otázka, jak postupovat, pokud budou postiženi dva potápěči s potřebou podávání kyslíku? Před koncem snižování hloubky bylo s MUDr. Novotným domluveno, že zbytek ponoru, lépe řečeno do vyčerpání zásoby bude dýchat kyslík už pouze potápěč postižený dekompresní nehodou. I za těchto okolností se však zásoba kyslíku ukázala jako nedostatečná a chvíli po dosažení hloubky 9 m byla kyslíková tlaková láhev prázdná. Dále probíhala dekomprese již pouze na vzduchu. Dle tabulky US NAVY mělo po vzduchovém okně následovat dýchání kyslíku po dobu 20 minut s následným a již posledním vzduchovým oknem. Poslední fáze trvajících 30 minut již zahrnuje pouze opět velmi pomalý výstup do nulového tlaku současně s dýcháním 100 % kyslíku. Celková doba léčby je 2 h 15 min.

Ačkoli se tento problém může zdát jako zásadní, za mou osobu mohu vyjádřit potěšení z nastalé situace. Vzhledem k faktu, že se nedostatek projevil během cvičení a nikdo nebyl skutečně ohrožen na zdraví či na životě vyskytl se zde dostatečný prostor pro řešení problému. V případě že bude postižený potápěč pouze jeden, bude kyslíková terapie určena pro něj a doprovod bude dýchat celou dobu pouze vzduch, jehož zásoba se naopak ukázala jako naddimenzovaná. Pro případ postižení dvou potápěčů s nutností dýchání kyslíku dvou osob byl na vedení HZS dán požadavek na doplnění barokomory o další tlakovou láhev určenou pro 100 % kyslík. Další možností je výměna jedné vzduchové láhve za kyslíkovou. Toto je zatím stále v řešení. V případě, že by tato situace nyní nastala při reálném zásahu a při skutečné záchraně osoby, dekomprese by nadále probíhala pouze na vzduchu, ale byl by prodloužen čas v hloubce 9 m. To vše po konzultaci s lékařem. Další možnost nabízí právě námět tohoto taktického cvičení. Po připojení transportní barokomory ke stabilní hyperbarické komoře přestoupí potápěč a zde potápěč pokračuje s kyslíkovou terapií s již dostatečnou zásobou.

Doplnění zásoby vzduchu lze provést i během provozu barokomory, nikoli však během jízdy. Tlaková hadice musí být připojena k vysokotlakému vzduchovému kompresoru, který zajistí plnění TL. Tato alternativa však není možná pro případ plnění kyslíkové

tlakové láhve. Ta musí být pro případ plnění vymontován a odvezena do Tábora, jelikož pouze zde je u HZS Jhc kyslíková plnicí tlaková stanice.

5.6.5 Propojení barokomor

Po příjezdu do kladenské nemocnice k oddělení hyperbarické oxygenoterapie jsme již byli z minulého pokusu poučeni o problematickém sjezdu ke vstupu, proto byl příjezd velmi opatrný i vzhledem k velkému zatížení nákladového prostoru. Vše proběhlo hladce a následovalo vymontování tělesa barokomory z vozidla. Před tímto krokem bylo však nutné přejít na vzduch z transportních zásobníků, které jsou uloženy z obou stran na boku tělesa barokomory (obr. 21). V tomto okamžiku není možné použití kyslíku. Láhve se stlačeným kyslíkem nejsou součástí transportních TL. K vymontování bylo použito náradí, které se ve vozidle pro tyto účely standardně nachází. Po zkušenostech z minulého cvičení nechal MUDr. Novotný zhotovit pojízdnou plošinu vyrobenou z vyřazené nemocniční postele s možností výškového nastavení (obr. 21). Toto nám velmi ulehčilo práci při přenášení barokomory. Ta byla pouze vysunuta z vozidla a rovnou umístěna na přistavenou plošinu, pomocí které byla převezena ke stávající hyperbarické komoře. Při tomto cvičení byl již vyřešen i problém s úzkým průchodem ke stabilní komoře, který bránil pootočení transportní barokomory a vzájemnému nasazení zámků obou hyperbarických komor. Při tomto taktickém cvičení již vše proběhlo naprosto hladce. Upravený prostor poskytl dostatečné místo pro manipulaci s transportní barokomorou a nově vyrobená plošina velmi ulehčila její převoz a připojení. Po zkontrolování zapadnutí zámků byla stabilní hyperbarická komora natlakována na přibližně stejný tlak, jaký byl komoře transportní. Následně došlo povolením ventilu na poklopu ke vzájemnému vyrovnání tlaků v obou komorách a byl uvolněn vstupní poklop. Nyní již nic nebránilo přesunu potápěčů do velké stabilní léčebné komory. Posledním krokem bylo opětovné uzavření poklopu stabilní hyperbarické komory a poté odtlakování a odpojení transportní barokomory Haux Medicom.

Přesunem potápěčů a odpojením barokomory byl zásah v podstatě ukončen. Toto bylo oznámeno na OPIS HZS Jhc a také řídicímu důstojníkovi. Transportní barokomora byla vrácena a namontována zpět do vozidla.

Osobně jsem byl velmi překvapen tím, jak velký zájem vzbudil tento unikátní pokus mezi zaměstnanci nemocnice, kteří se přišli na závěr taktického cvičení podívat v hojném počtu.



Obrázek 21: Transport barokomory pomocí pojízdné plošiny (zdroj: vlastní)

6 DISKUZE

Cílem metodicko - praktické části této diplomové práce bylo:

1. Vypracovat a otestovat uživatelský manuál pro obsluhu transportní barokomory Haux Medicom (fa Haux, SRN).
2. Ověřit v reálných podmínkách transport pacienta do nemocničního zařízení, připojení transportní barokomory na stabilní nemocniční barokomoru s následným přesunem postižené osoby a pokračováním odborné léčby.

Výsledky vedoucí k vypracování uživatelského manuálu jsou souhrnem sběru dat, osobních zkušeností, konzultací s odborníky a lékaři z oboru hyperbarické oxygenoterapie a potápěčské medicíny, konzultací s odborníky a revizními techniky tlakových nádob a tlakových zařízení a rozbohem problematiky s kolegy hasiči potápěči, kteří působí u Hasičského záchranného sboru České republiky.

Ke splnění druhého bodu mé diplomové práce vedlo uskutečněné taktické cvičení potápěčské skupiny Hasičského záchranného sboru Jihočeského kraje, které jsem domluvil, navrhl a vedl.

6.1 Zdroje a literatura

Při hledání zdrojů, ze kterých bych mohl čerpat při vypracování mé diplomové práce, jsem narazil na několik zásadních problémů. Prvním krokem bylo provedení rešerše odborné literatury. Avšak téma mé diplomové práce je natolik specifické, že i v oboru teorie je výběr velmi omezený. Přesněji řečeno, je napsáno několik moderních, velmi populárních a často citovaných monografií a také článků zveřejněných v odborných věstnících, nebo ve sbornících z vědeckých konferencí. Další, zejména internetové zdroje se však většinou odkazují na tyto monografie a články. Mnohdy je možné najít zdroje, které se na tyto publikace sice neodkazují, ale je zřejmé, že z nich vycházejí. Obor potápěčské medicíny je relativně mladý a rychle se rozvíjející, což s sebou přináší ten efekt, že starší literatura zabývající se tímto tématem je již ze zjevných důvodů nepoužitelná.

Literatura a zdroje, které bych použil a na které bych se odkázal při řešení metodické části diplomové práce pro mne, však představovala ještě větší problém. Jelikož jsem se rozhodl pro zpracování tématu, které zatím dle dostupných informací nikdo

obdobným způsobem neřešil, nebo o tom nejsou zmínky, tak jediným zdrojem zůstává spíše nekvalitní a nedostačující návod výrobce a osobní účast na školení.

Stejný zdroj informací (návod výrobce) byl jako jediný částečně použitelný při řešení praktického úkolu diplomové práce. Cvičení, které jsem naplánoval a spolu s potápěčskou skupinou provedl, představovalo unikum v tomto oboru a proto nebylo možné dohledat žádné relevantní zdroje zabývající se touto problematikou.

Z výše uvedených důvodů nesplňuje tato diplomová práce předepsaný minimální počet zdrojů použitých k jejímu vypracování.

6.2 *Vypracování a otestování uživatelského manuálu transportní barokomory Haux Medicom*

K zařazení tohoto bodu do mé diplomové práce jsem se rozhodl, jelikož jsem jako dlouholetý člen potápěčské skupiny, jež pravidelně používá hyperbarickou komoru Haux Medicom postrádal skutečně funkční návod na ovládání této barokomory. Oficiální návod od výrobce barokomory je k dispozici jak v německém originále, tak i v překladu do českého jazyka. Tento překlad je však dle mého názoru velmi špatně vyvedený. Hlavním problémem zůstává fakt, že i německý originál je naprosto nedostačující k pochopení ovládání barokomory a ke zvládnutí řešení mimořádné události typu potápěčské nehody. Návod obsahuje pouze základní a strohé vysvětlení funkcí jednotlivých ovladačů ale naprosto postrádá ucelený popis jednotlivých kroků vedoucích ke zvládnutí úspěšné léčby. Sám jsem se zúčastnil školení pro obsluhu barokomory, které bylo uspořádáno a vedenou přímo zástupcem firmy Haux pro Českou republiku. Pro obsluhovatele barokomory je toto školení skutečně užitečné, není přímo nezbytné. Sám jsem se snažil pravidelným cvičením s barokomorou si své vědomosti prohlubovat a udržovat tak, abych byl schopen, dle mého názoru, spolehlivého provedení přípravy barokomory pro použití a zejména jejího ovládání během léčebného procesu. Při předávání svých zkušeností mladším kolegům jsem stále častěji narážel na absenci jasného, přehledného a spolehlivě funkčního návodu k obsluze barokomory.

Návod, který je součástí této diplomové práce bych rád využíval během výcviků s barokomorou. Zejména by měl však sloužit mým kolegům a v neposlední řadě i mně, jako dostupná pomůcka při neočekávaných mimořádných událostech. V takovéto

situaci, kdy záleží na rychlosti a hlavně správnosti provedených úkonů spatřuji jeho výhodu v jednoduchém vedení obsluhy krok za krokem v logickém, na sebe navazujícím, pořadí.

Každá z vypracovaných verzí byla vždy testována nejprve mnou a poté oslovenými kolegy potápěči. Po několika variantách a postupných úpravách návodu, jsem se domníval, že jsem dospěl k finální verzi. Proto jsem požádal o otestování také přátele potápěče, i nepotápěče, kteří nikdy do styku s barokomorou nepřišli a mnozí z nich ji viděli poprvé v životě. Rozumím tomu, že na osobu neznalou může ovládání působit složitě, ale účelem této zkoušky nebylo, aby laik ovládání barokomory pochopil, ale aby "slepě" vykonal pokyny z manuálu. Tento nový pohled však do vypracovaného návodu vnesl další pochybnosti a nejasnosti. Rozhodl jsem se proto k jeho dalšímu přepracování. Jedni z posledních hodnotících, které jsem požádal, byli odborníci zabývající se problematikou léčby v přetlaku MUDr. Štěpán Novotný a MUDr. Hana Pácová. Během posledních testů probíhaly většinou již jen "kosmetické" korekce. Poslední revize proběhla opět v režii mých kolegů z potápěčské skupiny, protože zejména oni jsou budoucí potenciální uživatelé návodu.

Ke konečné verzi uživatelského manuálu vedla poměrně dlouhá cesta, při které jsem se několikrát dostal do slepé uličky. První verze návodu byla vypracována v textové podobě s podrobným popisem každého kroku a možností několika variant postupu. Po otestování jsem však dospěl k názoru, že návod je potřeba zjednodušit a zestručnit. Finální varianta má podobu bodového scénáře, také můžeme tento návod přirovnat jakémusi check listu. První strana návodu obsahuje obrázek ovládacího panelu s očíslovaným rozkresem jednotlivých ovládacích prvků a s číselným seznamem, kde je u každého čísla popis odpovídající funkci jednoho každého ovladače. Na dalších stranách najdeme již očíslovaný sled kroků, které by měla obsluha postupně vykonávat. Podmínkou uvedenou a zvýrazněnou na začátku návodu je, že obsluha by měla splnit každý bod ze seznamu bez vynechání a v takovém pořadí, v jakém jsou pokyny napsány. Po vykonaných testech by mělo být zaručeno, že obsluha barokomory zvládne bezproblémově zajistit nezbytnou léčbu případné postižené osoby. I nyní se však snažím o další možná vylepšení a ještě větší ulehčení obsluhy. Jedním z nápadů je doplnění piktogramů na ovládacím panelu o červené a zelené popisky u poloh zavřeno (0) x otevřeno (1). Další návrh se týká scrubberu, který se nepoužívá, jeho piktogram bude výrazně červeně přeškrtnut. Během celého průběhu zkoušek nastaly dva případy,

kdy došlo k vybití baterie. Poprvé se jednalo o baterii napájející komunikaci. I z tohoto důvodu se nyní pracuje na napojení komunikace na elektrický rozvod vozidla. Jelikož je i při odstavení automobil napojen na dobíjecí konzervátor, nemělo by již příště dojít k situaci, že baterie bude vybitá a komunikace nebude funkční. V dalším případě došlo k vybití baterie oxymetru. Oxymetr je napájen 9V baterií, přičemž náhradní bude umístěna do vozidla.

Návod je již v této chvíli vylepen na těle barokomory, na místě vedle ovládacího panelu tak, aby byl snadno dostupný a použitelný. Tento uživatelský manuál však nepředstavuje dogma a je pouze na vlastní vůli obsluhujícího, jestli se rozhodne jej využít, nebo bude postupovat dle svých znalostí a zkušeností. Uživatelský manuál je v plné verzi přílohou této diplomové práce.

6.3 Ověření transportu pacienta do nemocničního zařízení v reálných podmínkách, připojení transportní barokomory na stabilní nemocniční barokomoru s následným přesunem postižené osoby a pokračováním odborné léčby

Toto téma jsem po dlouhém zvažování do vypracování diplomové práce zařadil na podnět a doporučení pana doktora Novotného, který jej navrhl pro jeho unikátnost a inovativnost. Zároveň je mi námět velmi blízký, jelikož během potápěčských výcviků pravidelně pracuji s barokomorou Haux Medicom a též se jako instruktor potápění podílím na výcviku mladších kolegů. Také jsem již byl několikrát přítomen při jejím využití v situaci reálné potápěčské nehody. Ačkoli je MUDr. Novotný dlouholetým odborníkem na problematiku hyperbarické oxygenoterapie a potápěčské medicíny nikdy se na našem území s podobným pokusem nesetkal a dle jeho tvrzení se nic podobného neuskutečnilo ani jinde ve světě. Toto je sice pouze velmi těžko ověřitelné, nicméně zůstává nesporným faktem, že jsem při zevrubné rešerši literatury nenarazil na popsání dané problematiky, ani na zmínku o provedení připojení transportní barokomory na hyperbarickou léčebnou během reálného zásahu. Jediným zdrojem proto zůstává návod výrobce a informace od školitele, že toto uskutečnit jde. Cvičení, které bylo pro vypracování tématu nezbytné naplánovat, zorganizovat a provést, zároveň navazovalo na předešlý neúspěšný pokus.

Ačkoli jsem první pokus o propojení dvou barokomor označil za neúspěšný, toto pojmenování je mírně zavádějící. Taktická a běžná cvičení se u Hasičského záchranného sboru organizují právě z toho důvodu, aby odhalila neznalosti, nedostatky

či závady a vznikl tak prostor pro jejich pojmenování a včasné odstranění. V tomto případě platí skutečně ono okřídlené heslo, "*Kdo je připraven, není překvapen*". Právě díky tomu, že se nepodařilo uskutečnit připojení transportní barokomory Haux Medicom ke stabilní hyperbarické komoře mohla být učiněna řada kroků vedoucích k nápravě a také k vypracování této diplomové práce.

6.3.1 Stanovení výzkumných otázek

Výzkumné otázky, na které má tato práce odpovědět, se vztahují pouze ke druhému ze zadaných cílů. První z otázek se zabývá problematikou možných potíží, jež mohou nastat v souvislosti s transportem pacienta v mobilní barokomoře Haux Medicom. Druhá z výzkumných otázek se zabývá rozбором případných komplikací v průběhu připojení barokomory a přesunu postižené osoby k následné léčbě. Splnění praktických úkolů mi mělo dopomoci k zodpovězení položených otázek. Úkoly jsem stanovil následující:

- provést praktické ověření transportu pacienta v mobilní barokomoře, její připojení na stabilní nemocniční barokomoru a následný přesun postiženého do stabilní barokomory
- provést vyhodnocení a rozbor získaných poznatků z praktického ověření a navrhnout případné opatření a zlepšení pro eliminaci zjištěných nedostatků

6.3.2 Praktický výzkum - taktické cvičení HZS Jihočeského kraje

V rámci praktického výzkumu bylo uspořádáno taktické cvičení potápěčské skupiny Hasičského záchranného sboru Jihočeského kraje. Toto jsem po domluvě s náměstkem pro integrovaný záchranný systém navrhl, naplánoval a též jsem byl jeho vedoucím. Scénář cvičení byl navržen pro situaci, kdy se při praktickém výcviku přihodila domnělá potápěčská nehoda, při níž byl jeden z potápěčů postižen dekompresní chorobou. Potápěč byl dopraven na břeh, byla mu poskytnuta první pomoc podáním kyslíku, zajištěním tepelného komfortu a dostatečného množství tekutin pro hydrataci organismu. Po nelékařském vyšetření potápěče byl vysloven předpoklad dekompresní choroby typu I. Až do tohoto okamžiku se jednalo o pouhou hypotetickou situaci a v tomto bodě začala praktická část cvičení. Mimořádná událost byla ohlášena operačnímu a informačnímu středisku HZS, řídicímu důstojníkovi a celá záležitost byla rozebrána s lékařem znalým oboru potápěčské medicíny. Po této konzultaci bylo

rozhodnuto o umístění postiženého potápěče a jeho doprovodu do hyperbarické komory, kde měla být vykonána léčebná rekompresa. Vzhledem ke zhoršujícím se potížím byl již před umístěním potápěče do barokomory navržen jeho převoz na oddělení hyperbarické medicíny oblastní nemocnice Kladno. Právě s MUDr. Štěpánem Novotným, vedoucím lékařem tohoto odd. byla od počátku celá záležitost konzultována.

Mezi účastníky taktického cvičení byly již předem rozděleny jednotlivé role. Já jsem si určil funkci, takzvaného, supervizora. Mým úkolem bylo kontrolovat kolegu obsluhujícího barokomoru (v době cvičení ještě nebyl hotový návod pro ovládání barokomory), komunikovat s lékařem, s řidičem a s velitelem vozidla vezoucího barokomoru. Během jízdy byl kladen důrazný zřetel zejména na naprostou bezpečnost osob nacházejících se v nákladovém prostoru automobilu (obsluha barokomory a osoby umístěné uvnitř barokomory). Příslušníci zajišťující ovládání barokomory byli vybaveni ochrannou přilbou, polohovacím hasičským opaskem a úvazkem s karabinou. Po celou dobu jízdy byli připoutáni k tělesu barokomory. Toto se v jednom krizovém okamžiku s nutností prudkého nouzového brzdění ukázalo jako nezbytné a prozíravé. I přes tyto menší problémy však jízda, navzdory velmi silnému provozu, probíhala hladce. Trasu vedoucí z Českých Budějovic přes Tábor a Prahu s cílovou destinací na Kladně zvládla celá kolona hasičských vozidel v čase dvou hodin. Po celou dobu cesty vozidla používala výstražné světelné a ruchové zařízení (maják, siréna).

Největším problémem se během cesty ukázala nedostatečná zásoba 100 % kyslíku v tlakových lahvích. Ačkoli byly vzduchové tlakové lahve, i kyslíková, naplněny, tak před Prahou došla veškerá zásoba kyslíku. Léčba po celou dobu transportu probíhala dle léčebné rekompresní tabulky US NAVY č. 5. Terapie je založena na natlakování barokomory a "suchém zanoření" postiženého do hloubky 18 m, kde potápěči po většinu času dýchají 100 % kyslík. Do kyslíkové terapie je vloženo pouze několik pětiminutových vzduchových oken, kdy je přívod kyslíku zastaven, a potápěči dýchají čistý vzduch. Po uplynutí pěti minut je opět otevřen přívod kyslíku a potápěči pokračují v jeho dýchání. Po určitém čase, daném rekompresní tabulkou, je tlak snížen na hloubku odpovídající 9 m. I v této hloubce jsou stále potápěči na kyslíku, opět s vložením krátkých vzduchových oken. Po dalším časovém je tlak v barokomoře snížen na hodnotu okolního atmosférického tlaku a potápěči ukončují rekompresní terapii. Velmi důležité je neustálé hlídání koncentrace kyslíku v atmosféře barokomory. Tato nesmí překročit kritickou hranici 23 %. V případě porušení tohoto zákazu vystavuje

obsluha osoby uvnitř barokomory vysokému riziku zahoření, či dokonce vzniku požáru. Vzhledem k velké spotřebě kyslíku během celého léčebného procesu jsme narazili na zásadní problém. Jeho nedostatek. Toto bylo zřejmě způsobeno tím, že celou cestu absolvovali na kyslíku oba potápěči, nikoli pouze potápěč postižený dekompresní nemocí. Tento fakt byl oznámen lékaři, který rozhodl o pokračování léčby "na vzduchu".

Po příjezdu do oblastní nemocnice Kladno již byli zaměstnanci oddělení připraveni k příjmu pacienta a stabilní hyperbarická komora byla nachystána v pohotovostním režimu. Problémy, které při prvním pokusu znemožnily propojení obou barokomor, byly ze strany nemocnice odstraněny a nově byla také vyrobena transportní plošina, která výrazně usnadnila závěrečný přesun barokomory z vozidla přímo na oddělení. Tato fáze je poměrně náročná na počet lidských sil, jelikož se barokomora transportuje v šesti, až osmi lidech. Při tomto cvičení byl na místě dostatek potápěčů, avšak v reálné situaci by pravděpodobně byla využita místní jednotka profesionálních hasičů. Vzhledem k provedeným úpravám již připojení barokomory proběhlo překvapivě hladce a po vyrovnání tlaků byl postižený potápěč přemístěn do léčebné komory, kdy již byl připraven lékař. Následně byla transportní barokomora odpojena a vrácena zpět do vozidla.

6.4 Zodpovězení výzkumných otázek

Ot. 1: Jaké problémy se mohou reálně vyskytnout v souvislosti s transportem pacienta v mobilní barokomoře Haux Medicom?

- Jedná se zejména o problémy přímo související s běžným provozem na komunikacích. Zásahová jízda, byť s majáky a houkající sirénou, s sebou vždy přináší zvýšené riziko nebezpečných a hlavně neočekávaných manévrů ze strany ostatních řidičů. Velmi vysoká je bohužel pravděpodobnost kolize s jiným vozidlem. Toto je ze strany hasičů jen málo ovlivnitelné a největší díl zodpovědnosti leží v tomto ohledu na bedrech řidiče hasičského vozu.
- Také porucha na vozidle může zapříčinit zpoždění, či přerušení jízdy. Je však předpoklad bezvadného technického stavu výjezdových vozidel a pravidelná kontrola a údržba celé flotily hasičských vozů.
- Úzce související, s dopravou a provozem na pozemních komunikacích, je bezpečnost převážených osob. Posádka jedoucí v nákladovém prostoru

vozidla a obsluhující barokomoru, by měla být vždy vybavena ochrannými osobními prostředky a pevně zajištěna proti pádu při nutnosti náhlé změny směru jízdy, prudkém brzdění, nebo jiné kolizi. Je vhodné trvale doplnit vozidlo o přilby, polohovací opasky a lezecké úvazky s karabinou.

- Nedostatečná zásoba kyslíku může být dalším z problémů, které mohou během transportu nastat. Řešením je přidání jedné tlakové láhve a její připojení do systému. Tento požadavek byl vznesen na vedení HZS Jhc a nyní je řešen. Je také vhodné doplnit stávající tlakové láhve o vysokotlakou vzduchovou hadici a redukční ventil 300/200 bar. Potápěčská skupina používá k ponorům obvykle dvoumontáž tlakových lahví o objemu 2 x 10 l s plnicím tlakem 300 bar. Tento redukční ventil by umožnil doplňování zásobníků vzduch barokomory během jízdy, například z těchto potápěčských lahví.

Ot. 2: Jaké lze očekávat komplikace v průběhu připojení barokomory a přesunu postižené osoby k následné léčbě v situaci reálného zásahu?

- Vzhledem k naprosto hladkému průběhu procesu vzájemného propojení obou barokomor je tato výzkumná otázka nyní spíše v rovině domněnek a odhadů typu, co kdyby...
- Komplikace by mohla být určitě způsobena nějakou neočekávanou technickou závadou na jedné, nebo druhé barokomoře. Barokomory by ale měly být pravidelně udržovány, kontrolovány a revidovány, čímž by se danému mělo předejít.
- Další komplikaci by mohl způsobit nedostatek osob potřebných pro přesun barokomory. Jak již bylo řečeno, zde je předpoklad využití místní jednotky.
- Nedostatečná zásoba vzduchu v transportních tlakových nádobách, které zajišťují přísun vzduchu po vynesení komory z vozidla. Ani k této komplikaci by nemělo dojít, jelikož zásoba vzduchu je pravidelně kontrolována. A osobně se domnívám, že i kdyby vinou lidského selhání byli tlakové láhve prázdné, tak atmosféra tělesa komory by poskytla dostatečnou zásobu vzduchu pro přesun, připojení a přestup.

Ani vypracovaný uživatelský manuál, ani proběhlé cvičení však v žádném případě nemohou nahradit praxi a pravidelný trénink. Osobně se domnívám, že optimální perioda pro opakování cvičení v ovládní barokomory je maximálně 4 měsíce.

7 ZÁVĚR

V této diplomové práci jsem se zaměřil na práci s hyperbarickou komorou Haux Medicom, kterou má ve své výbavě a používá potápěčská skupina Hasičského záchranného sboru Jihočeského kraje. Tato barokomora slouží k rekompresní léčbě při potápěčské nehodě a zejména při postižení potápěče dekompresní nemocí. Využita však může být i při léčbě otravy oxidem uhelnatým, nebo při nadýchání se zplodinami hoření během požáru.

Potápěčská skupina barokomoru pravidelně využívá při cvičeních a při zásazích. Na bezchybném zvládnutí její obsluhy a jejím ovládnutím však může záviset zdraví a život potápěče. Jelikož mám s prací s barokomorou bohaté zkušenosti, rozhodl jsem se vypracovat jednoduchý a přehledný návod, který by byl v krizových situacích vodítkem pro kolegy, kteří nemají tolik praxe s jejím ovládnutím, ale i pro ty zkušenější, kteří jej mohou využít jako podporu. Návod jsem během jeho vzniku několikrát testoval za přispění mých kolegů a dalších odborníků. Domnívám se, že konečná verze je natolik jednoduchá, přehledná a zároveň funkční, že tento uživatelský manuál bude velkým přínosem pro všechny, kteří budou v budoucnu s barokomorou pracovat.

Za inovativní a unikátní si dovoluji považovat námět a provedení taktického cvičení potápěčské skupiny, které proběhlo a které jsem navrhl, připravil a vedl. Jednalo se o transport potápěče postiženého dekompresní nemocí, který byl společně s doprovodem za probíhající rekompresní terapie transportován na oddělení hyperbarické medicíny oblastní nemocnice Kladno. Zde byla transportní barokomora Haux Medicom připojena ke stabilní léčebné hyperbarické komoře do které byl potápěč přesunut k následné komplexní a odborné léčbě. Pokud je mi známo, tak tento pokus, nebo reálný zásah nebyl do té doby nikde jinde uskutečněn a jednalo se tudíž o jisté novum v tomto oboru.

Ani jedna z těchto dvou věcí by však nemohla být uskutečněna bez zápalu a bez podpory mých kolegů hasičů - potápěčů, kterým patří velký dík, stejně jako MUDr. Štěpánovi Novotnému a firmě Kübeck s. r. o.

Největší potenciál vypracovaného uživatelského manuálu, v kombinaci s uskutečněným unikátním cvičením, spatřuji v tom, že mohou jednotlivě, či společně přispět k záchraně lidského zdraví nebo dokonce života.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- BALCAR, Rudolf, Milada EMMEROVÁ a Milan HADRAVSKÝ, 2000. *Hyperbarie a hyperbarická oxygenoterapie*. Plzeň: V. Kuna. ISBN 80-902017-7-6.
- BLACK, Ray, Harry AVERILL, Scott EVANS a David WEISMAN, 2011. *Nitrox Diver Manual*. Jacksonville: NASE Worldwide.
- *Krizová legislativa (soubor zákonů)*, [2016]. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk. ISBN 978-80-7380-627-9.
- DOBEŠ, Dušan, 2005. *Přístrojové potápění: praktická příručka pro každého potápěče*. Brno: CP Books. Hobby (CP Books). ISBN 80-251-0700-0.
- DOBEŠ, Dušan, Josef SKALKA, David VRATISLAVSKÝ, et al., 2013. *Učební texty pro potápěče v podmínkách Hasičského záchranného sboru České republiky*. Praha: MV - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR. ISBN 978-80-86466-32-3.
- DYLEVSKÝ, Ivan, 2000. *Somatologie*. Vyd. 2. (přepřac. a dopl.). Olomouc: Epava. ISBN 80-86297-05-5.
- EDMONDS, Carl, Bart MCKENZIE, Robert THOMAS a John PENNEFATHER, 2010. *Diving Medicine for Scuba Divers*. 3rd ed. Australia. ISBN 978-0-646-52726-0.
- GWILLIAM, Annette a Derall GARRETT, ed., 2021. *UHMS Guidelines for Hyperbaric Facility Operations*. 3rd ed. Best Publishing Company. ISBN 978-1-947239-33-3.
- HÁJEK, Michal, 2017. *Hyperbarická medicína*. Praha: Mladá fronta. Aeskulap. ISBN 978-80-204-4235-2.
- HARRIS, Richard, D.J. DOOLETTE, D.C. WILKINSON, D.J. WILLIAMS, 2003. Measurement of fatigue following 18 msw dry chamber dives breathing air or enriched air nitrox. *Undersea & hyperbaric medicine : journal of the Undersea and Hyperbaric Medical Society, Inc.* 30. 285-91.
- *HAUX-LIFE-SUPPORT GmbH* [online]. [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://www.hauxlifesupport.de/>
- HUANG, Enoch, 2023. *UHMS Hyperbaric Medicine Indications Manual*. 15th ed. Best Publishing Company. ISBN 978-1-947239-42-5.

- *Kübeck s. r. o., oddělení hyperbarické a potápěčské medicíny* [online]. [cit. 2024-04-10]. Dostupné z: <https://www.hyperbarickakomora.cz/>
- Lánová, E., 2021. *Analýza činnosti jednotek požární ochrany při mimořádných událostech vyžadující provedení záchranných a likvidačních prací pod vodní hladinou*. Kladno. Diplomová práce. ČVUT
- LUKÁŠ, Luděk, 2011. *Informační podpora integrovaného záchranného systému*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-105-7.
- LUKŠ, Oldřich, 2006. *Tlakové láhve, uzavírací ventily a plnění dýchacích směsí potápěčských dýchacích přístrojů*. Praha: Svaz českých potápěčů.
- MILER, Tomáš, 2016. *Prevence, bezpečnost a záchrana u vody: bazény, koupaliště a aquaparky*. Praha: Ondřej Falešník - FALON. ISBN 978-80-87432-20-4.
- MV - GŘ HZS ČR, 2017. *Řád chemické služby Hasičského záchranného sboru ČR*. Praha: Ministerstvo vnitra. ISBN 978-80-87544-49-5.
- MV - GŘ HZS ČR, 2006. *Koncepce Činnosti hasičů při práci pod vodní hladinou*. Praha: Ministerstvo vnitra, Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR.
- MV - GŘ HZS ČR, 2016. *Sbírka interních aktů řízení generálního ředitele HZS ČR - částka 16/2013*. Praha: MV - GŘ HZS ČR.
- MV - GŘ HZS ČR, 2016. *Sbírka interních aktů řízení generálního ředitele HZS ČR - částka 25/2016*. Praha: MV - GŘ HZS ČR.
- NACHTIGAL, Milan, 2004. *Použití kyslíku pro první pomoc při potápěčských nehodách*. Praha: Svaz potápěčů české republiky.
- NAVRÁTIL, Leoš, ed., 2019. *Fyzikální léčebné metody pro praxi*. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-0478-9.
- NOVOMESKÝ, František, 2002. *Potápění a jeho vliv na lidský organismus*. *Interní medicína* [online]. 2002 [cit. 2024-04-16]. Dostupné z: <https://www.internimedicina.cz/pdfs/int/2002/05/04.pdf>
- NOVOMESKÝ, František, 2013. *Potápěčská medicína*. Martin: Vydavatelství Osveta. ISBN 978-80-8063-397-4.
- NOVOTNÝ, Štěpán a Hana PÁCOVÁ, 2012. *TBM: práce v hyperbarickém prostředí*. Kladno: Kübeck. ISBN 978-80-260-1358-7.

- PADI, 2011. *Enriched Air Diver Manual*. Rancho Santa Margarita: PADI. ISBN 978-1-878663-85-6.
- PIŠKULA, František, Michal PIŠKULA a Jiří ŠTĚTINA, 1985. *Sportovní potápění*. Praha: Naše vojsko. Knižnice svazarmu. ISBN 28-105-85.
- SPČR, 2016. *Bezpečnostní směrnice SPČR*. Praha: Svaz potápěčů České republiky.
- SPČR, 2018. *Dekompresní tabulky SPČR 2018*. Praha: Svaz potápěčů České republiky.
- ŠENOVSKEJ, Michail, Vilém ADAMEC a Zdeněk HANUŠKA, 2005. *Základy požární ochrany*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. ISBN 80-86634-65-5.
- *Suunto, Finland* [online]. [cit. 2024-04-07]. Dostupné z: <https://www.suunto.com/>
- UDI, 2010. *Specializační kurz NITROX * DIVER*.
- UNITED STATES. NAVAL SHIP SYSTEMS COMMAND. SUPERVISOR OF DIVING, 2016. *U.S. Navy Diving Manual*. 7th ed. Navy Department.
- VOKURKA, Martin, Jan HUGO a Jiří PRESL, 1995. *Praktický slovník medicíny*. Třetí rozšířené vydání. Praha: Maxdorf. ISBN 80-85800-27-6.
- Vyhláška MV č. 328/2001 Sb, o organizaci a činnosti jednotek požární ochrany, In: Sbírka zákonů. 17. 11. 2019. ISSN 1211-1244
- Vyhláška č. 328/2001 Sb, o některých podrobnostech zabezpečení integrovaného záchranného systému. In: Sbírka zákonů. 17. 11. 2019. ISSN 1211-1244
- WHELAN, Harry T., 2017. *Hyperbaric Medicine Practice*. 4th ed. Best Publishing Company. ISBN 978-1-947239-00-5.
- Zákon č. 239/2000 Sb. Zákon o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů. In: Sbírka zákonů. 8. 3. 2020. ISSN 1211-1244
- Zákon č. 320/2015 Sb. Zákon o Hasičském záchranném sboru České republiky a o změně některých zákonů (zákon o hasičském záchranném sboru). In: Sbírka zákonů. 17. 11. 2019. ISSN 1211-1244

9 SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A PŘÍLOH

| | |
|---|-----|
| Obrázek 1: Přenos O ₂ a CO ₂ ; plíce x krev; krev x tkáň (zdroj: Dobeš, 2013)..... | 23 |
| Obrázek 2: Saturační a desaturační křivky N ₂ ; ZH-L16 (zdroj: Novomeský, 2013)..... | 32 |
| Obrázek 3: Mikrobublina blokuující cévu (zdroj: stranypotapecske.cz)..... | 34 |
| Obrázek 4: Patent foramen ovale; PFO (zdroj: uzs.ch) | 35 |
| Obrázek 5: Dekompresní tabulka CMAS a osobní počítač Suunto EON Steel Black (zdroj: suunto.com)..... | 39 |
| Obrázek 6: Kontinuální a stupňovitá dekomprese (zdroj: vlastní) | 41 |
| Obrázek 7: Cunninghamova přetlaková komora Cleveland, 1928 (zdroj: hbobratislava.sk)..... | 50 |
| Obrázek 8: Rekompresní léčebná tabulka US NAVY č. 5 (zdroj: US NAVY) | 55 |
| Obrázek 9: Rekompresní léčebná tabulka US NAVY č. 6 (zdroj: US NAVY) | 56 |
| Obrázek 10: Požár hyperbarické komory; Galezzi, Itálie (zdroj: Hájek, 2017) | 58 |
| Obrázek 11: Rozdílná koncentrace kyslíku při úniku O ₂ (zdroj: Hájek, 2017)..... | 59 |
| Obrázek 12: Barokomora Haux - Medicom 5,5 (zdroj: hauxlifesupport.de) | 66 |
| Obrázek 13: Barokomory Haux Medistar s předkomorou Medilock a Haux Transstar (zdroj: hauxlifesupport.de)..... | 67 |
| Obrázek 14: Transport barokomory Haux Medicom pomocí vrtulníku (zdroj: hauxlifesupport.de) | 69 |
| Obrázek 15: Ovládací panel barokomory Haux Medicom s popisem (zdroj: vlastní) ... | 74 |
| Obrázek 16: NA Iveco Daily (zdroj: vlastní)..... | 79 |
| Obrázek 17: Pohled do vnitřku jednomístné a dvoumístné barokomory Haux (zdroj: vlastní) | 81 |
| Obrázek 18: Hyperbarická komora Dräger, oblastní nem. Kladno (zdroj: vlastní)..... | 85 |
| Obrázek 19: Průchod a detail zámku barokomory Haux (zdroj: vlastní) | 86 |
| Obrázek 20: Zajištěný hasič pomocí polohovacího opasku a úvazku (zdroj: vlastní).... | 97 |
| Obrázek 21: Transport barokomory pomocí pojízdné plošiny (zdroj: vlastní) | 101 |
| | |
| Tabulka 1: Zjednodušené shrnutí sycení, pro různé typy tkání | 24 |
| Tabulka 2: Rozpustnost plynů v kapalinách | 27 |
| Tabulka 3: Přehled poločasu a plné saturace kompartmentů, dle modelu ZH-L16..... | 28 |
| Tabulka 4: Projev příznaků DCS. | 49 |

| | |
|--|-----|
| Tabulka 5: Změny parametrů sférických bublin..... | 54 |
| Tabulka 6: Plán taktického cvičení HZS Jhc, časový průběh..... | 91 |
| | |
| Příloha 1: Uživatelský manuál K barokomoře HAUX Medicom..... | 118 |
| Příloha 2: Doporučený postup diagnostiky a léčby potápěčské dekompresní nehody . | 122 |

10 SEZNAM ZKRATEK

AGE - Arterial Gas Embolism

BOZP - Bezpečnost a ochrana zdraví při práci

BT - Bottom Time

CMAS - Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques

DAN - Divers Alert Network

DCS - decompression sickness

DZ - Dekompresní zastávka

HBO, HBO_x - Hyperbarická oxygenoterapie

HZS ČR – Hasičský záchranný sbor České republiky

HZS Jhc - Hasičský záchranný sbor Jihočeského kraje

IZS – integrovaný záchranný systém

MOD - Maximal operating depth (maximální operační hloubka)

MU - Mimořádná událost

MUDr. - Medicinae universae doctor

NASA - National Aeronautics and Space Administration

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

OPIS - Operační a informační středisko

PADI - Professional Association of Diving Instructors

PET - Polyethylentereftalát

PFO - Patens Foramen Ovale

SRN - Spolková republika Německo

SSI - Scuba Schools International

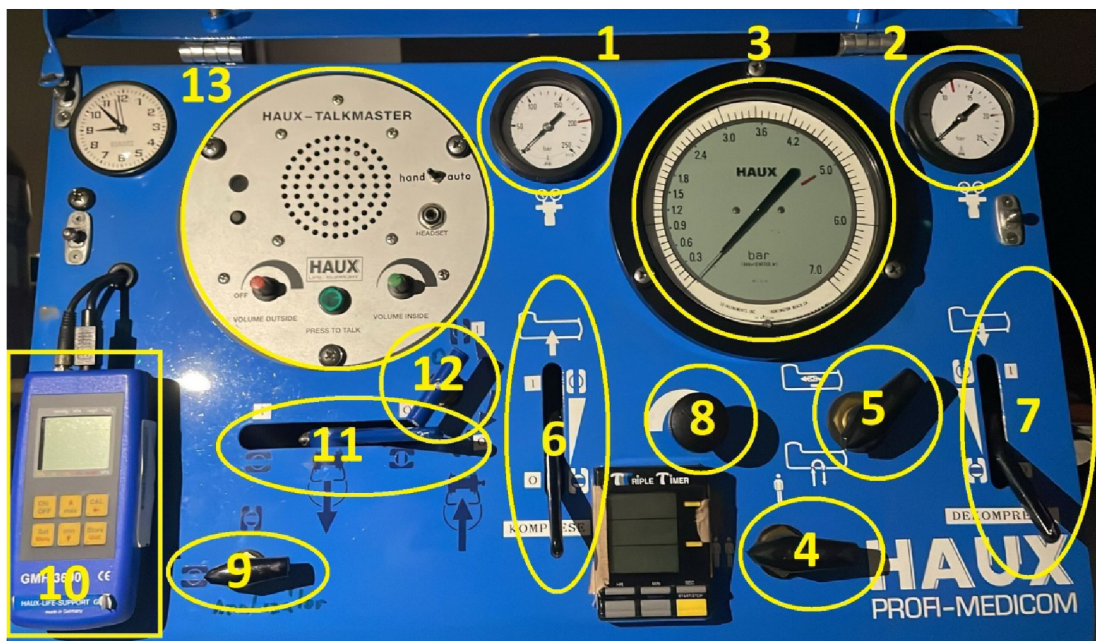
TL - Tlaková láhev

US NAVY - United States Navy

ZZS - Zdravotnická záchranná služba

11 PŘÍLOHY

Příloha 1: Uživatelský manuál K barokomoře HAUX Medicom



1. **VYSOKOTLAK VZDUCH (CELKOVÁ ZÁSoba VZDUCHU)**
2. **STŘEDOTLAK - VZDUCH**
3. **TLAK V BAROKOMOŘE**
4. **POČET OSOB 1 X 2**
5. **PŘEPÍNÁNÍ VENTILACE X SCRUBBER**
6. **TLAKOVÁNÍ BAROKOMORY - KOMPRESSE**
7. **VYPOUŠTĚNÍ BAROKOMORY - DEKOMPRESSE**
8. **MIKRVENTILACE VZDUCHU**
9. **KYSLÍKOVÉ ČIDLO OTEVŘENÍ X UZAVŘENÍ**
10. **OXYMETR**
11. **POJISTKA OTVÍRÁNÍ KYSLÍKU**
12. **OTVÍRÁNÍ KYSLÍKU**
13. **KOMUNIKACE**

NEPŘESKAKUJ ŽÁDNÝ KROK A VŠE PEČLIVĚ ZKONTROLUJ

OSOBY UVNITŘ STÁLE KONTROLUJ O VŠEM JE INFORMUJ

1. ZKONTROLUJ UZAVŘENÍ NAPOUŠTĚCÍHO VENTILU č. 6 ↓
2. ZKONTROLUJ UZAVŘENÍ VYPOUŠTĚCÍHO VENTILU č. 7 ↓
3. ZKONTROLUJ UZAVŘENÍ MIKROVENTILACE č. 8 (DOPRAVA)
4. PŘIPOJ KYSLÍKOVÉ POLOMASKY UVNITŘ KOMORY
5. OTEVŘI VENTILY VELKÝCH TLAKOVÝCH LAHVÍ (3x 50 l)
6. ZKONTROLUJ UZAVŘENÍ MALÝCH TLAKOVÝCH LAHVÍ (4x 11 l)
7. ZKONTROLUJ UZAVŘENÍ ODVZDUŠNĚNÍ U ČERVENÝCH VENTILŮ
8. OTEVŘI ČERVENÉ VENTILY NA BOKU OVL. PANELU (POUZE TY PŘIPOJENÉ)
9. ZKONTROLUJ POČÁTEČNÍ TLAK NA MANOMETRU č. 1 (min. 150 bar)
10. ZAPNI KOMUNIKACI (NA DRUHÉ STRANĚ KOMORY) A VYZKOUŠEJ
11. UMÍSTI OSOBY DO KOMORY A UZAVŘI POKLOP
12. UZAVŘI VENTIL NA VSTUPNÍM POKLOPU
13. NASTAV OVLADAČ č. 4 PODLE POČTU OSOB (1 ↑ X 2 ←)
14. NASTAV OVLADAČ č. 5 NA VENTILACI ↙
15. **UPOZORNI NA ZAČÁTEK TLAKOVÁNÍ**
16. OTEVŘÍ PÁKU č. 6 NAPOUŠTĚNÍ ↑
17. **PRŮBĚŽNĚ KONTROLUJ OSOBY V KOMOŘE (UŠI, DUTINY)**
18. NATLAKUJ KOMORU (TAB. US NAVY 5, 6, NEBO DLE MUDr.)
19. KONTROLUJ TLAK NA VELKÉM MANOMETRU č. 3 (1 bar = 10 m)
20. PO DOSAŽENÍ HLOUBKY (OBVYKLE 18 m) UZAVŘI VENTIL č. 6 ↓
21. POMOCÍ MIKROVENTILACE č. 8 UDRŽUJ HLOUBKU
22. DÁLE POSTUJ PODLE TABULEK US NAVY č. 5, nebo 6
23. HLÍDEJ A ZAPISUJ ČASY A TLAKY

PŘECHOD NA KYSLÍK

1. OTEVŘI KYSLÍKOVÉ ČIDLO č. 9 ←
2. ZAPNI OXYMETR č. 10 TLAČÍTKO ON
3. NA OXYMETRU č. 10 NA TŘI VTEŘINY PODRŽ TLAČÍTKO CAL
4. POČKEJ, AŽ SE ZOBRAZÍ % HODNOTA KYSLÍKU
5. OTEVŘI POJISTKU OTVÍRÁNÍ KYSLÍKU č. 11 ←
6. OTEVŘI VENTIL KYSLÍKU č. 12 (doleva) - OTÁČEJ DOKUD TO JDE
7. **ŘEKNI OSOBÁM UVNITŘ KOMORY, AŽ SI NASADÍ KYSLÍKOVÉ POLOMASKY A PEVNĚ SI JE PŘITISKNOU NA OBLIČEJ - DŮLEŽITÉ**
8. ZAZNAMENEJ ČAS PŘECHODU NA KYSLÍK
9. STÁLE HLÍDEJ HLOUBKU POMOCÍ MIKROVENTILACE č. 8
10. **NA OXYMETRU č. 10 KONTROLUJ HLADINU KYSLÍKU !!! NESMÍ PŘESÁHNOUT 23 % !!! POKUD ANO, UPOZORNI NA ŠPATNÉ UTĚSNĚNÍ POLOMASEK.**

V PŘÍPADĚ ŽE KONCENTRACE NEKLESNE POD 23 %

UKONČI PODÁVÁNÍ KYSLÍKU

PŘECHOD NA VZDUCH

1. UPOZORNI OSOBY NA UKONČENÍ DODÁVKY KYSLÍKU
2. UPOZORNI OSOBY, AŽ ODLOŽÍ POLOMASKY
3. UZAVŘI VENTIL KYSLÍKU č. 12 (doprava)
4. POJISTKU VENTILU KYSLÍKU NECH OTEVŘENOU č. 11 ←
5. ZAZNAMENEJ ČAS PŘECHODU NA VZDUCH
6. OPAKUJ KYSLÍKOVÁ OKNA DLE TAB. US NAVY, NEBO DLE NAŘÍZENÍ LÉKAŘE

SNIŽOVÁNÍ TLAKU (HLOUBKY) **MAX 0,3 m/min**

1. UPOZORNI OSOBY NA SNIŽOVÁNÍ TLAKU
2. ZKONTROLUJ UZAVŘENÍ VENTILU NAPOUŠTĚNÍ č. 6 ↓
3. PŘI POMALÉM SNIŽOVÁNÍ TLAKU OTEVŘI A KORIGUJ RYCHLOST OVLADAČEM MIKROVENTILACE č. 8
4. PRO RYCHLÉ VYPOUŠTĚNÍ UZAVŘI OVLADAČ MIKROVENTILACE č. 8 A OTEVŘI VENTIL VYPOUŠTĚNÍ č. 7 ↑
5. REGULUJ RYCHLOST VÝSTUPU VENTIL č. 8
6. **PRŮBĚŽNĚ KONTROLUJ OSOBY V KOMOŘE (UŠI, DUTINY)**
7. ZAPIŠ SI ČASY ZAHÁJENÍ VÝSTUPU
8. PO DOSAŽENÍ POTŘEBNÉHO TLAKU (HLOUBKY) UZAVŘI VYPOUŠTĚCÍ VENTIL č. 7 ↓
9. ZAPIŠ ČAS UKONČENÍ VÝSTUPU
10. POMOCÍ MIKROVENTILACE č. 8 UDRŽUJ HLOUBKU

UKONČENÍ

1. UPOZORNI OSOBY NA SNIŽOVÁNÍ TLAKU
2. UZAVŘI MIKROVENTILACI č. 8 (doprava)
3. ZKONTROLUJ UZAVŘENÍ VENTILU NAPOUŠTĚNÍ č. 6 ↓
4. ZKONTROLUJ UZAVŘENÍ KYSLÍKU č. 12 (doprava)
5. OTEVŘI VENTIL VYPOUŠTĚNÍ č. 7 ↑ (RYCHLÝ VÝSTUP)
6. NEBO REGULUJ RYCHLOST VÝSTUPU VENTIL č. 8
7. **PRŮBĚŽNĚ KONTROLUJ OSOBY V KOMOŘE (UŠI, DUTINY)**
8. PO VYPUŠTĚNÍ KOMORY (TLAK 0 bar) OTEVŘI VENTIL NA POKLOPU
9. OTEVŘI HLAVNÍ POKLOP
10. UZAVŘI VENTILY TL A ČERVENÉ VENTILY - ODVZDUŠNI



Česká lékařská společnost Jana Evangelisty Purkyně
Česká společnost hyperbarické a letecké medicíny

| | | | |
|---|--|---|---|
| Předseda: MUDr. Michal Hájek Centrum hyperbarické medicíny Anesteziologicko-resuscitační oddělení, Městská nemocnice Ostrava, Nemocniční 20 728 80 Ostrava, tel: 596 192 483 e-mail: michalhajek@email.cz michal.hajek@mmnof.cz | Místopředseda, vědecký sekretář: Doc. MUDr. Evžen Hrnčíř, CSc., MBA Klinika pracovního a cestovního lékařství, Fakultní nemocnice Královské Vinohrady, Šrobárova 50, 100 34 Praha 10, tel: 267 162 810 e-mail: hmcir@fnkv.cz | Místopředseda: MUDr. Miloš Sázel, CSc. Oddělení bezpečnosti letů Ústav leteckého zdravotnictví Praha Gen. Píky 1 160 60 Praha 6 tel: 973 208 126 e-mail: sazel@tulz.cz | Místopředseda: MUDr. Pavel Macura Ambulance potápěčské medicíny K.H.Máchy 592, 500 02 Hradec Králové 2 tel: 495 512 959 e-mail: pavel.macura@wmet.cz |
|---|--|---|---|

Doporučený postup diagnostiky a léčby potápěčské dekompresní nehody

Autoři: MUDr. Štěpán Novotný¹, MUDr. Hana Pácová, Ph.D.²

¹ Oddělení hyperbarické a potápěčské medicíny, HBOx Kladno,

² Anesteziologicko-resuscitační oddělení, Privamed Healthia, s.r.o., Masarykova
nemocnice v Rakovníku

Recenze: MUDr. Miloš Sázel, CSc.¹, MUDr. Michal Hájek², MUDr. David Skoumal³

¹ Ústav leteckého zdravotnictví Praha, ² Centrum hyperbarické medicíny, Městská nemocnice
Ostrava, ³ Instruktor IANTD, CMAS, DAN, CSS, IWD, Ordinance praktického lékaře Ostrava

1) Úvodní poznámky

Dokument vypracovala pracovní skupina složená z odborníků několika specializací, zejména oboru hyperbarická a letecká medicína. Vychází především z dokumentu německé odborné společnosti GTUEM, jehož první vydání bylo publikováno před téměř 10 lety a velmi se v praxi osvědčilo. Je určen zdravotníkům na všech úrovních systému diagnosticko-léčebné péče, kteří se podílí na zajištění pacienta s dekompresní potápěčskou nehodou, zpravidla lékaře zajišťující dohled při potápění, lékaře záchranných služeb a v neposlední řadě lékaře v rámci hospitalizační péče (urgentní medicína, neurologie, anesteziologie a intenzivní medicína, hyperbarická medicína apod.)

Platnost trvání doporučeného postupu jsou 3 roky od jeho vydání, tedy do září 2014.

2) Definice, patofyziologie, rozdělení

Potápěčská **dekompresní** nehoda je život ohrožující událost vznikající v souvislosti s potápěním. Je způsobena rychlým poklesem okolního tlaku při vynořování a je charakterizována vznikem volných bublin plynu v krvi a tkáních a jejich reakcí s organismem. Bubliny mechanicky komprimují tkáň nebo embolizují venózní řečiště a chovají se jako cizorodá agens a mohou aktivovat různé kaskádové systémy, které způsobují sekundární poškození (aktivace komplementu, aktivace PMN, reperfuze a endoteliální poranění, DIC).

V této souvislosti je třeba upozornit na anglickou terminologii, která se vyskytuje i v našem písemnictví: DCI - decompression injury nebo illness je společné označení pro DCS - decompression sickness a AGE - arterial gas embolism.

DCS - dekompresní nemoc vzniká po pobytu v prostředí s vysokým tlakem, který způsobí nárůst množství inertního plynu ve tkáních. Dle Goldingovy klasifikace se lehčí formy označují jako DCS typu I (forma kožní,

muskuloskeletální, lymfatická, nespecifická), těžší formy jako DCS typu II (forma neurologická, plicní, audiovestibulární). Hlavními symptomy DCS typu I je muskuloskeletální bolest, kožní nebo lymfatické příznaky. Vedoucími symptomy DCS typu II jsou neurologické a kardiopulmonální příznaky. Tato klasifikace je vžita na celém světě.

AGE - arteriální plynová embolizace vzniká při plicním barotraumatu jako následek přepětí a poškození plicní tkáně. Toto je způsobeno redukcí okolního tlaku během výstupu v kombinaci s nedostatečným výdechem. Vedlejším nálezem může být pneumothorax a emfýsém různé lokalizace. Jiným důvodem AGE může být průstup volných bublin plynu patologicky přítomnou pravolevou komunikací na úrovni srdečních síní - PFO (persistující foramen ovale) nebo plicním zkratem při aberantní plicní žíle.

3) Neodkladná opatření na místě nehody

Většinou je první pomoc prováděna ostatními potápěči či doprovodným personálem. Její efektivnost je závislá na rychlosti a správnosti jednání. Předpokladem je trénink potápěčů, přítomnost potřebného vybavení k poskytnutí pomoci a zajištění spojení pro zavolání záchranné služby (znalost telefonních čísel, spojení na nejbližší barokomoru).

O potápěčské dekompresní nehodě uvažujeme, pokud pacient dýchal pod vodou vzduch nebo jinou dýchací směs z potápěčského přístroje nebo z podvodního rezervoáru (keson, jeskyně) a nebo se potápěl se zadržným dechem (free divers) a je současně přítomen jeden nebo více z následujících příznaků:

Mírné příznaky

- Nápadná únava
- Svědění kůže
- Zduření podkožních tkání a mizních uzlin
- Bolesti břicha, plynatost, průjem
- Kompletně mizí do 30 minut od zahájení **specifické první pomoci**, která sestává z:
 - Dýchání 100 % kyslíku a to bez ohledu na předchozí dýchací směs během ponoru
 - Podání dostatečného množství tekutin (1/2 – 1 litr nealkoholických nápojů bez kofeinu a jiných stimulantů)
 - Ochrana proti chladu i přehřátí
 - Provedení základního neurologického vyšetření (Příloha č. 3)
 - Neprovádět rekompresi pod vodou

Jestliže příznaky zmizí do 30 minut, pokračovat v dýchání 100 % kyslíku, kontaktovat potápěčského lékaře a sledovat postiženého dalších 24 hodin.

Pokud příznaky přetrvávají déle než 30 minut, je potřeba zacházet s postiženým jako při „těžkých příznacích“.

Těžké příznaky

Objeví se bezprostředně po vynoření nebo ještě před vynořením:

- Skvrny na kůži („mramorování“)
- Parestezie a změna citlivosti kůže
- Bolest (kloubů, hlavy – migrenózní)
- Dušnost, bolest za hrudí
- Nevolnost
- Tělesná slabost, extrémní únava
- Ztráta koordinace, třes
- Ochrnutí, porucha svěračů

- Porucha sluchu
- Porucha vidění, nystagmus
- Závrat'
- Porucha řeči
- Změny osobnosti, poruchy paměti, bizarní chování, emoční labilita
- Porucha vědomí všech stupňů
- Šokový stav

A) Laická první pomoc

Kardiopulmonální resuscitace

- zahájit resuscitaci podle aktuálních ERC guidelines

Specifická první pomoc

- **Poloha**
 - Potápěč při plném vědomí: položit na záda nebo do úlevové polohy
 - Ostatní situace: stabilizovaná poloha
- **100 % kyslík**
 - Začít s dýcháním kyslíku co možná nejdříve bez ohledu na dýchací médium během ponoru
 - **Spontánní dýchání je dostatečné**
 - bez závislosti na stavu vědomí je vhodné podat kyslík dobře těsnící obličejovou maskou:
 - a) S použitím automatiky (demand valve)
 - b) Uzavřeným okruhem s absorbérem CO₂
 - c) Pokud není k dispozici výše uvedené, použít systém s konstantním průtokem 15-25 litrů za minutu se zásobním vakem
 - **Spontánní dýchání je nedostatečné**
 - umělé dýchání obličejovou maskou se 100% kyslíkem:
 - a) Dýchacím vakem s rezervoárem a konstantním průtokem 15-25 litrů za minutu
 - b) Dýchacím vakem s automatikou (demand valve)
 - c) Uzavřeným okruhem s CO₂ absorbérem

Podávat kyslík do doby uložení pacienta do hyperbarické komory.

Podávat kyslík v maximální možné koncentraci bez míchání s okolním vzduchem a to i v případě, že není dostatečná zásoba kyslíku.

Další opatření

- **Tekutiny**
 - **Pokud je potápěč při vědomí:**
 - podávat tekutiny per os (0,5 až 1,0 litr za hodinu, bez alkoholu a kofeinu)
 - **Pokud má potápěč poruchu vědomí:**
 - nepodávat tekutiny ústy!
- **Volat záchrannou službu, kontaktovat potápěčského lékaře, barokomoru (Příloha č. 1)**

- **Provést neurologické vyšetření**
(Příloha č. 3)
- **Chránit postiženého před chladem i horkem**
- Při prochladnutí nepoužívat žádný způsob aktivního ohřevu (horká sprcha), mohlo by dojít ke zhoršení příznaků.
- **Neprovádět rekompresní léčbu ve vodě**

Transport

- Není určen žádný specifický typ transportu, je vhodné použít co možná nejrychlejší a nejšetnější přepravu. Použití vrtulníku (při nízké letové hladině – do 300 m s ohledem na nadmořskou výšku místa ponoru) nemá zdravotní kontraindikace.
- Preference nejbližšího nemocničního zařízení s léčebnou hyperbarickou komorou.
- Seznam léčebných HBO zařízení je dostupný na příslušných webových stránkách – www.cshlm.cz
- Dokumentace:
- předat informace o ponoru, rozvoji příznaků a léčbě
- zajistit potápěčskou techniku, veškeré vybavení, které umožní rekonstrukci ponoru a nehody (počítač, výstroj, hloubkoměr)
- Sledovat ostatní účastníky ponoru

Kontaktovat potápěčského lékaře co nejdříve, je nutné rozhodnout, zda bude prováděna léčba v komoře či ne a jak rychle musí být započatá. Lékař bez znalostí potápěčské medicíny toto není schopen zhodnotit.

B) Lékařská první pomoc

Kardiopulmonální resuscitace

- Pokud je zapotřebí, postupuje se podle platných ERC guidelines

Specifická první pomoc

- Polohování pacienta - viz výše
- Dýchání 100 % kyslíku
- Je třeba zahájit co nejdříve bez ohledu na použitou dýchací směs během ponoru
- Pokud postižený dýchá spontánně - viz výše
- Pokud postižený nedýchá spontánně, je nutno zahájit umělou ventilaci se zajištěním dýchacích cest podle ERC guidelines
- Léčba kyslíkem je prováděna bez přerušování až do umístění pacienta do hyperbarické komory
- Dýchat kyslík minimálně 15 litrů za minutu i při jeho nedostatečné zásobě
- Pokud není kyslík k dispozici, je nutno dýchat směs s nejvyšší koncentrací kyslíku
- Intravenózní podání tekutin
- Podáváme 0,5 až 1,0 litr za hodinu náhradních roztoků intravenózně, nepodávat glukózu!

Medikace

- Standardní medikace podle zásad urgentní léčby
- Neexistuje žádná specifická medikamentózní léčba potápěčské dekompresní nehody

Další postup

- Provedení neurologického vyšetření (5 minutový neurologický test) viz Příloha č. 3
- Zavedení močového katétru (pokud je indikováno)
- Provedení punkce hrudníku (pokud je zapotřebí)
- Zabezpečení dobrých tepelných podmínek, chránit před nadměrným teplem a zimou.
 - V případě těžké hypotermie může ohřívání vést k nezvládnutelnému kardiovaskulárnímu selhání a navíc může způsobit zhoršení příznaků dekompresní nemoci.

4) Transport do hyperbarické komory

• Způsob transportu:

- Vrtulník - rychlá a bezpečná metoda při dodržení nízké letové hladiny (do 300m od výšky místa ponoru). Letecká přeprava ve vyšší hladině není možná ani v letounu s přetlakovou kabinou (výjimka - přenosná barokomora)!
- Automobil - pozor na horské přejezdy (převýšení)

Během transportu je nutno vždy zabránit změnám tlaku do nižších hodnot než byly v místě potápěčské nehody (možnost zhoršení symptomatologie dekompresní nehody).

• Péče během transportu:

- Kyslík - podávání 100 % kyslíku je vhodné bez přerušování až do umístění pacienta do hyperbarické komory
- Pokračovat ve specifické první pomoci
 - viz výše
 - opakovat 5 minutové neurologické vyšetření (Příloha č. 3)

5) První léčba v hyperbarické komoře (Příloha č. 2)

• Předpoklady pro hyperbarickou komoru:

- 1) Pracovní tlak minimálně 280 kPa (2,8 ATA, to je 18 m vodního sloupce).
 - Užití vyšších tlaků je možné použít výjimečně při zhoršování stavu postiženého po pobytu 30 min v tlaku 280 kPa.
- 2) Možnost dýchání kyslíku pro všechny osoby v komoře

• Před léčbou v komoře je nutno provést:

- Neurologické vyšetření
- Při podezření na barotrauma plic předozadní a boční snímek RTG
 - je vhodné provést CT plic (pokud lze provést bez zdržení)

- Drenáž hrudníku (pokud je nutná)
 - Zavedení močového katétru (pokud je indikovaný)
 - Myringotomie (pokud je nezbytná)
 - Pokud je pacient intubován, je nutné změnit vzdušnou náplň obturačního balonu za vodní náplň.
- CAVE: po ukončení pobytu v komoře nutno opět naplnit obturační balon vzduchem!

6) Následná hyperbarická léčba

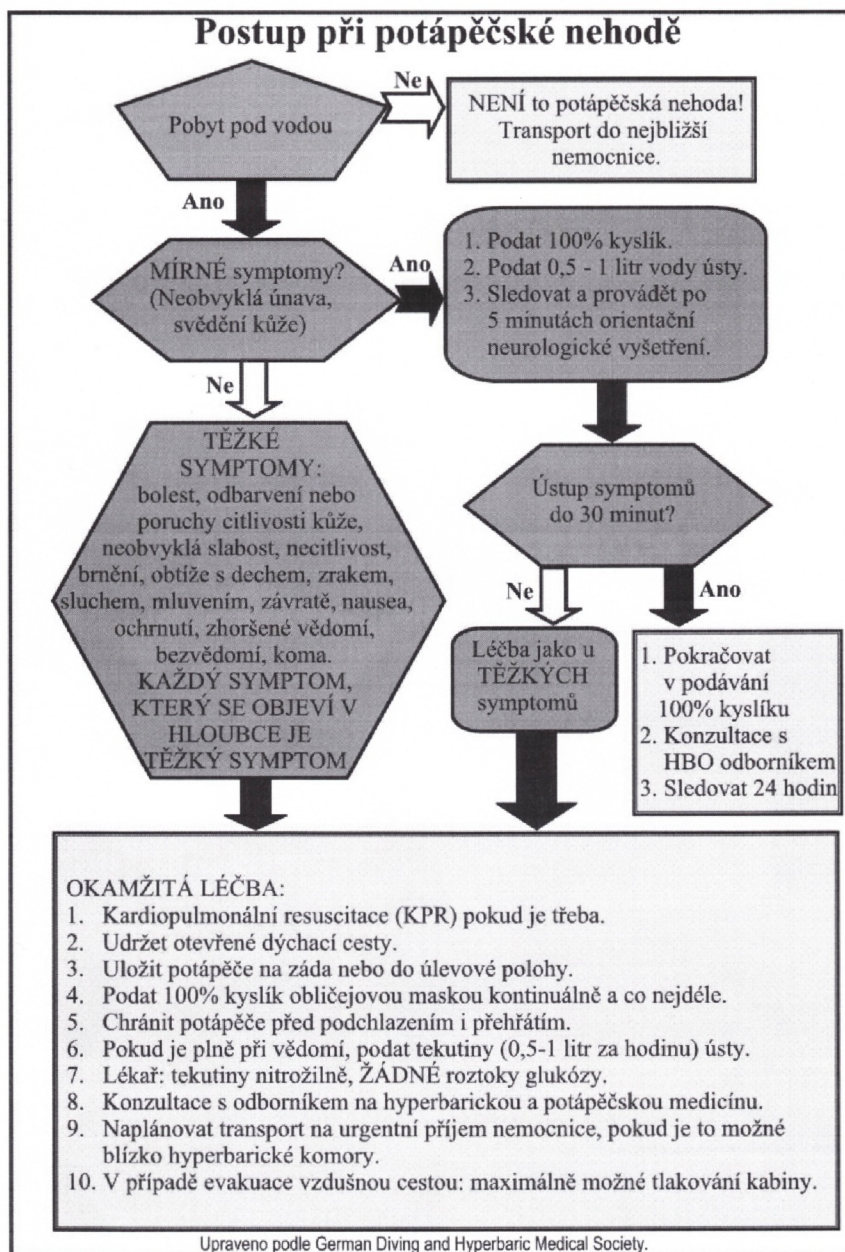
- V případech přetrvávajícího neurologického deficitu se doporučuje následná HBO léčba
- Lze užít stejný protokol jako během první léčby nebo dle zdravotního stavu pacienta klasický protokol hyperbaroxie
- Interval léčby: dle stavu pacienta
- Další pomocná vyšetření (CT, MRI, EEG, scintigrafie, angiografie, atd.) provést dle stavu pacienta
- Je doporučené souběžné provádění fyzioterapie
- Ukončení HBO: při odeznění příznaků či pokud již nedochází ke zlepšování stavu
- V případě přetrvávajících neurologických příznaků je nutná včasná adekvátní rehabilitační léčba

7) Následná péče po ukončení hyperbarické léčby

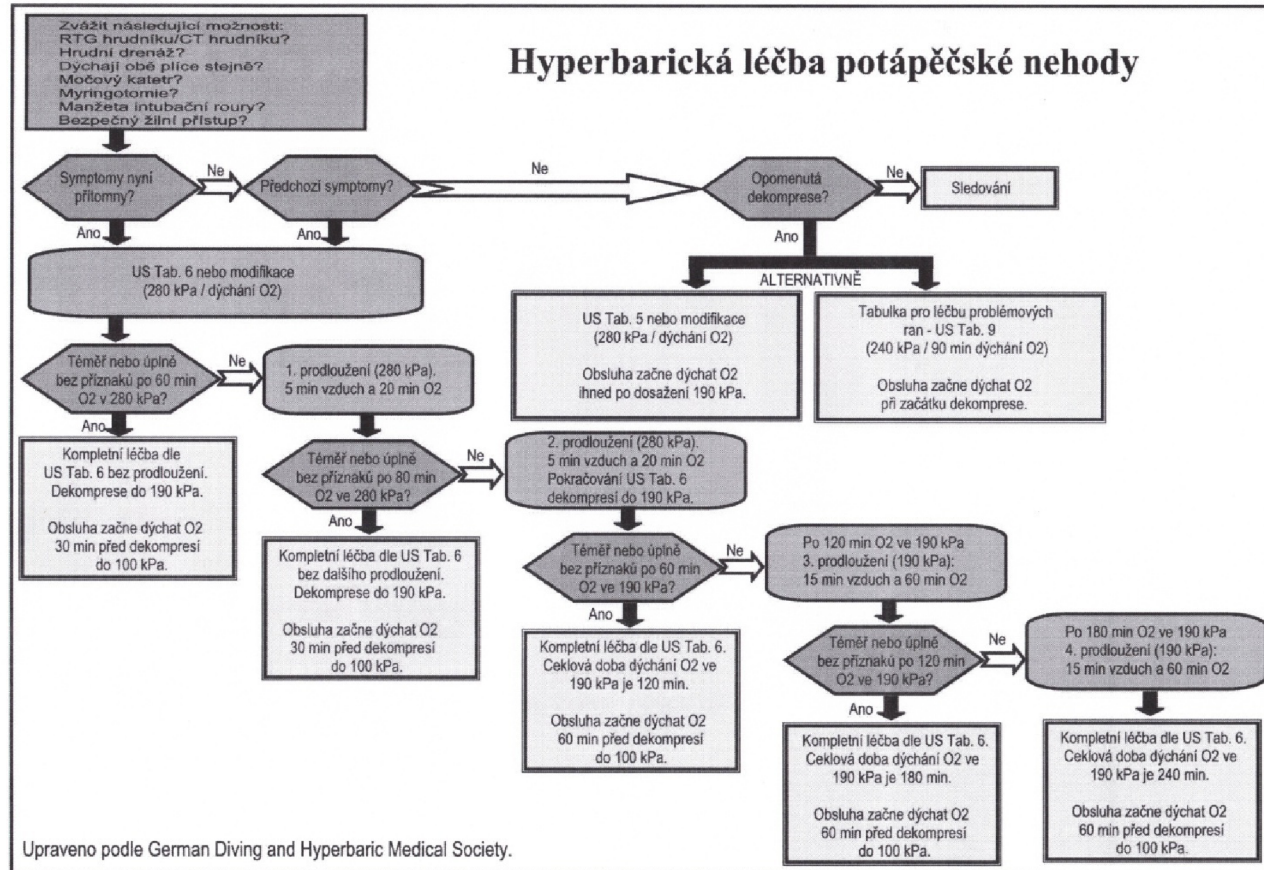
- Schopnost dopravy letadlem s tlakovanou kabinou po ukončení rekompresní terapie:
 - I. typu dekompresní nemoci za 24 h
 - II. typu dekompresní nemoci za 48 h
 - život ohrožující dekompresní nemoci za 72 h
- Posouzení schopnosti k dalšímu potápění specializovaným potápěčským lékařem

8) Literatura

- Müller P, Beuster W, Hühn W, Knessl P, Roggenbach HJ, Warninghoff V, Welslau W, Wendling J, Guideline "Diving Accident", Gesellschaft für tauch- und Überdruckmedizin e.V. (German Diving and Hyperbaric Medical Society), 2008
- U.S.Navy Diving Manual. Naval Sea Systems Command, Revision 6, 2008
- UHMS Guidelines for Adjunctive Therapy for Decompression Illness, 2002
- Marroni A., Cronjé F., Meintjes J., Cali-Corleo R., Dysbaric illness. In: D. Mathieu, Handbook on Hyperbaric Medicine, Springer, 2006: 173–216.
- Tetzlaff, K., Shank, E.S., Muth, C.M., Evaluation and management of decompression illness- an intensivist's perspective. Intensive Care Medicine 2003, 29:2128-2136
- www.stranypotapecske.cz



Hyperbarická léčba potápěčské nehody



Příloha č. 3

Pětiminutové neurologické vyšetření

podle DANu přeložil MUDr. Arnošt Růžička, zpracovali Zdeněk Šraier a Tomáš Sládek, www.stranypotapeckse.cz

Test slouží pro určení aktuálního stavu potápěče po dekompresní nehodě nebo jiném postižení nervového systému. Výslek by měl být součástí potápěčské lékařnické. Výsledky testu předej zdravotnickému personálu, který převezme postiženého.

| 1. Vyšetření | | Zaznamenej čas jednotlivých vyšetření, vyšetření opakuj každých 30 až 60 minut | 2. Vyšetření | |
|---|--------------------------|--|--------------------------|--------------------------|
| Ano | Ne | | Ano | Ne |
| 1. Orientace [zvláště důležité vyšetření] | | | | |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Zná potápěč své jméno a svůj věk? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Vi potápěč, kde se nachází? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Vi potápěč aktuální čas a datum (reálný odhad vzhledem k situaci)? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. Oči | | | | |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Ukaž 2× až 3× rozdílné počty prstů. Spočítá je potápěč správně? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Dokáže potápěč identifikovat vzdálené objekty? (Nenosí brýle?) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Potápěč má hlavu v klidu, případně mu pomoz. Pohybuj vztyčeným ukazovákem asi 50 cm před jeho obličejem, vodorovně i svisle. Jsou oči schopny sledovat prst bez trhavých pohybů? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Jsou zornice (panenky) obou očí stejně velké? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Obličej | | | | |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Potápěč se pokusí zapískat. Stahují se obě strany obličeje stejně (stejně sevření rtů)? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Potápěč stiskne zuby k sobě. Jsou oba žvýkači svaly stejně napjaty? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Potápěč se zavřenýma očima se jenně dotýká čela a tváře. Je citlivost oboustranně stejná? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. Sluch | | | | |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 50 cm od ucha tři ukazovák o palec. Vyzkoušej obě uši vícekrát. Během vyšetření musí být ticho (vyzkoušej, jak slyšíš sám). | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5. Polykací reflex | | | | |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Nech potápěče polknout. Pohybuj se ohryzek nahoru a dolů? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6. Jazyk | | | | |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Nech potápěče vypláznout jazyk. Sleduj, zda je ve středu, bez toho aby špička se uchýlovala napravo nebo nalevo. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7. Svalová síla [zvláště důležité vyšetření] | | | | |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Zjistí, zda potápěč může oběma rameny hýbat, když na ně shora tlačíš a zda vyvine v obou ramenech stejnou sílu. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Vyzkoušej paže potápěče, zda dokáže dát ruce na prsa, zvednout paže do výše ramen a zároveň otáčet ruce dlaní nahoru a dolů. Obě paže musí vyvinout stejnou sílu. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Vyzkoušej, zda potápěč dokáže v leže zvednout obě dolní končetiny od podložky rovnoměrně a zda je chvíli udrží ve vzduchu. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8. Zjištění citlivosti | | | | |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Dotýkej se těla potápěče, jako v předchozí části obličeje. Začni postupně od shora dolu na trupu, po obou stranách. Potápěč musí mít během vyšetřování zavřené oči. Potápěč musí posoudit každý dotek a posoudit, zda se doteky na srovnatelných místech neliší. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9. Rovnováha a koordinace [zvláště důležité vyšetření] | | | | |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Necháš potápěče postavit (s chodidly u sebe), oči zavřené a paže předpažené. Musí být schopen držet rovnováhu (pokud je podlaha či paluba v klidu). Připrav se potápěče zachytit, kdyby ztratil rovnováhu. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Potápěč má ruce předpažené a oči zavřené. Poté se ukazovákem jedné a pak druhé ruky pokusí dotknout špičky svého nosu. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | V leže na zádech potápěč patou jedné nohy táhne po holeni druhé nohy od kolena dolu. Zkoušku provede postupně oběma nohama. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10. Další poznámky a postřehy | | | | |