

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2018

**GABRIELA
BOLÁČKOVÁ**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**

Možnosti využití hyperbarické komory v urgentní medicíně

**The Possibilities of Using a Hyperbaric Chamber in Emergency
Medicine**

Bakalářská práce

Studijní program: Specializace ve zdravotnictví

Studijní obor: Zdravotnický záchranář

Vedoucí práce: doc. MUDr. Jan Pokorný, DrSc.

Gabriela Boláčková

Kladno, květen 2018

Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva

Akademický rok: 2016/2017

Z a d á n í b a k a l á ř s k é p r á c e

Student: **Gabriela Boláčková**
Obor: Zdravotnický záchranář
Téma: **Možnosti využití hyperbarické komory v urgentní medicíně**
Téma anglicky: The Possibilities of Using a Hyperbaric Chamber in Emergency Medicine

Zásady pro vypracování:

Předmětem bakalářské práce bude posouzení možnosti využití hyperbarické komory v urgentní medicíně.

V teoretické části práce se bude student zabývat historií vzniku hyperbarické komory, jejími technickými principy a postavením v současné medicíně. Ve zvláštní kapitole bude zmíněn princip účinku kyslíku na organismus za zvýšeného tlaku a indikace užití hyperbaroxie. Logickou součástí jsou dále poznámky zaměřené na anatomii a fyziologii dýchacích cest.

V praktické části budou popsány a zhodnoceny kazuistiky získané při aplikaci hyperbarické oxygenoterapie v nemocničním prostředí. Na základě získaných dat bude optimalizován diagnostický postup zdravotnického záchranáře umožňující včasné a správné směrování pacienta do hyperbarické komory.

Seznam odborné literatury:

- [1] BARCAL Rudolf, EMMEROVÁ Milada a HADRAVSKÝ Milan, Základy hyperbarické medicíny: určeno pro posl. lékař. fak. UK v Plzni, ed. 1., Praha: Karolinum, 1992, 109 s., ISBN 80-7066-525-4
[2] ROKYTA Richard a kol. , Fyziologie a patologická fyziologie: pro klinickou praxi, ed. 1., Praha: Grada , 2015, 680 s., ISBN 978-80-247-4867-2
[3] DOLEŽAL Vladimír, Hyperbarická oxygenoterapie, Postgraduální medicína, ročník 5, číslo 4, 2003, 398-399 s., ISSN 1212-4184

Zadání platné do: 11.09.2018
Vedoucí: doc. MUDr. Jan Pokorný, DrSc.
Konzultant: MUDr. Tomáš Hyánek

.....
vedoucí katedry / pracoviště

.....
děkan

V Kladně dne 23.02.2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Možnosti využití hyperbarické komory v urgentní medicíně vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů, které uvádím v seznamu bibliografických odkazů.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Kladně dne 17.05.2018

.....
podpis

Poděkování

Mé poděkování patří jak mému vedoucímu práce doc. MUDr. Janu Pokornému DrSc., tak mému konzultantovi MUDr. Tomáši Hyánkovi. Oběma bych touto cestou ráda poděkovala za jejich čas, trpělivost, cenné rady a ochotu, kterou mi věnovali při zpracování této práce.

Dále bych ráda poděkovala etické komisi Nemocnice Na Homolce, která mi umožnila přístup ke zdravotnické dokumentaci potřebné k realizaci bakalářské práce.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá možnostmi využití hyperbarické komory v urgentní medicíně, konkrétně využitím hyperbarické léčby u otrav oxidem uhelnatým. Cílem práce je zhodnocení diagnostických a léčebných postupů výjezdových skupin zdravotnické záchranné služby u pacientů s otravou oxidem uhelnatým v porovnání s doporučenými postupy vydaných Českou společností hyperbarické a letecké medicíny a navržení optimalizace postupu pro správnou diagnostiku a směrování pacientů v přednemocniční neodkladné péči.

Teoretická část práce shrnuje obecné poznatky o vývoji hyperbarické medicíny, technické stránce hyperbarické komory a kyslíku jako respiračním plynu. Dále jsou zmíněny fyzikální principy hyperbarického prostředí. Zvláštní pozornost je zaměřena na indikace a kontraindikace hyperbarické oxygenoterapie, možné komplikace a průběh léčby. Teoretickou část uzavírá kapitola zabývající se intoxikací oxidem uhelnatým.

Praktická část práce se zabývá vyhodnocením diagnostiky, terapie a směřováním pacientů intoxikovaných oxidem uhelnatým. Na uvedených kazuistikách z přednemocniční neodkladné péče je hodnoceno dodržování doporučených postupů vydaných Českou společností hyperbarické a letecké medicíny. Na základě výsledných dat je navržena optimalizace postupu diagnostiky a směřování pacientů intoxikovaných oxidem uhelnatým v přednemocniční neodkladné péči.

Klíčová slova

Hyperbarická oxygenoterapie; hyperbarická komora; otrava oxidem uhelnatým; karboxylhemoglobin; přednemocniční neodkladná péče

Abstract

The bachelor thesis deals with possibilities of using a hyperbaric chamber in emergency medicine in particular by the use of hyperbaric treatment for carbon monoxide poisoning. The objective of this work is to evaluate diagnostic and therapeutic procedures of emergency medical services to patients with carbon monoxide poisoning and comparing with official guidelines published by the Czech Society of Hyperbaric and Aviation Medicine and proposing optimization of the procedure for proper diagnosis and routing of patients in pre-hospital emergency care.

The theoretical part summarizes the general knowledge of the development of hyperbaric medicine, the technical aspect of hyperbaric chamber and oxygen as a respiratory gas. Physical principles of hyperbaric environment are also mentioned. Particular attention is focused on indications and contraindications of hyperbaric oxygen therapy, possible complications and course of treatment. The theoretical part is closed by chapter dealing with carbon monoxide intoxication.

The practical part concentrates on evaluation of diagnostics, therapy and direction of patients intoxicated by carbon monoxide. The above-mentioned case reports of pre-hospital emergency care assesses compliance with official guidelines issued by the Czech Society of Hyperbaric and Aviation Medicine. Based on the results, optimization of the diagnosis and routing process of patients in pre-hospital emergency care, intoxicated by carbon monoxide, is proposed.

Keywords

Hyperbaric oxygen therapy; hyperbaric chamber; poisoning by carbon monoxide; carboxylhemoglobin; pre-hospital emergency care

Obsah

1	Úvod	10
2	Současný stav	11
2.1	Historie hyperbarické medicíny	11
2.1.1	Vývoj hyperbaroxie ve světě.....	11
2.1.2	Počátky hyperbarické medicíny v Československu a ČR	14
2.1.3	Současné postavení v ČR	15
2.2	Fyzikální principy v hyperbarickém prostředí	15
2.3	Kyslík.....	17
2.3.1	Anatomie dýchacích cest.....	17
2.3.2	Fyziologie dýchání	20
2.3.3	Transport dýchacích plynů krví.....	23
2.3.4	Princip hyperbarického prostředí a jeho vliv na kyslík.....	25
2.3.5	Toxicita kyslíku.....	27
2.4	Technická stránka hyperbarické komory	29
2.4.1	Typy komor.....	29
2.4.2	Vybavení hyperbarických komor	32
2.5	Průběh léčby	34
2.5.1	Příprava	34
2.5.2	Vlastní léčba	35
2.5.3	Komplikace během hyperbarické oxygenoterapie	35
2.6	Indikace k použití hyperbarické komory	36
2.7	Kontraindikace hyperbarické oxygenoterapie	38
2.8	Otrava oxidem uhelnatým	38

2.8.1	Oxid uhelnatý	38
2.8.2	Závažnost otravy oxidem uhelnatým	39
2.8.3	Diagnostika hladiny COHb	40
2.8.4	Terapie.....	40
2.8.5	Komplikace	41
3	Cíl práce.....	42
4	Metodika	43
5	Výsledky.....	45
5.1	Kazuistika č. 1	45
5.2	Kazuistika č. 2	48
5.3	Kazuistika č. 3	51
5.4	Kazuistika č. 4	54
5.5	Kazuistika č. 5	58
6	Diskuze	61
7	Závěr	65
8	Seznam použitých zkratk.....	66
9	Seznam použité literatury.....	69
10	Seznam použitých obrázků	72
11	Seznamu použitých tabulek	73

1 ÚVOD

Hyperbarická medicína je celosvětově uznávaná lékařská specializace, zabývající se problematikou hyperbarické oxygenoterapie a potápěčské medicíny. Hyperbarická oxygenoterapie využívá k léčbě pacientů aplikaci kyslíku za přetlaku. Jedná se o neinvazivní metodu léčby. Léčba kyslíkem v hyperbarických podmínkách je indikována jak u akutních, tak i chronických klinických stavů.

Bakalářská práce se zabývá možnostmi využití hyperbarické oxygenoterapie v urgentních stavech, konkrétně je zaměřena na její terapeutický účinek u pacientů postižených akutní otravou oxidem uhelnatým.

Otrava oxidem uhelnatým je celosvětově závažný problém. Tuto skutečnost potvrzují i závěry mezinárodních statistik, které uvádějí, že otrava oxidem uhelnatým je zodpovědná za více než polovinu smrtelných otrav v celém světě. Současně s tímto zjištěním drží intoxikace oxidem uhelnatým první místo v náhodných otravách v Evropě a Severní Americe. V ČR se výskyt otravy oxidem uhelnatým odhaduje zhruba na 1000–1500 případů za rok, z toho je přibližně 300 pacientů hospitalizovaných a 110-140 pacientů postižených otravou oxidem uhelnatým umírá. [33]

Účelem využití léčby hyperbarickým kyslíkem u otrav oxidem uhelnatým je rychlejší eliminace toxického oxidu uhelnatého z organismu, jakožto i profylaxe pozdních neurologických příznaků na podkladě dlouhotrvající hypoxie tkání.

2 SOUČASNÝ STAV

„Hyperbarická oxygenoterapie je léčebná metoda, při níž pacient inhaluje čistý kyslík v přetlakové komoře při vyšším tlaku, než je tlak normální. HBO není izolovaná léčebná metoda, ale je ve většině případů součástí komplexního léčebného procesu...“ [29]

2.1 Historie hyperbarické medicíny

2.1.1 Vývoj hyperbaroxie ve světě

Počátky hyperbarické medicíny jsou datovány od 17. století. Přesto však její kořeny sahají mnohem dál, a to převážně díky spojitosti s potápěním. První zmínky o potápění jsou dochovány již z roku 4500 př.n.l., tehdy šlo o lovce perel. Jelikož v tehdejší i pozdější době nebylo dostupné žádné potápěčské vybavení, byli lidé při potápění limitováni jedním vdechem a mohli se potápět jen do hloubky několika desítek metrů. I přesto však mnohdy docházelo k tělesným následkům, které byly impulzem pro vznik hyperbarické medicíny. [1]

Britský lékař *Nathaniel Henshaw* byl prokazatelně první člověk, kterému se roku 1662 podařilo sestrojít zařízení se stlačeným vzduchem. Komora, kterou pojmenoval „domicilium“, se plnila vzduchem a pomocí ventilů bylo možné regulovat tlak. Využit se dala jak pro hyperbarické, tak i pro hypobarické podmínky. V tehdejší době byla využívána především pro zlepšení dýchání, odkašlávání a zažívání. [1]

V první polovině 19. století se stal ve Francii pobyt v hyperbarické komoře velmi populární. Především díky předpokladům, že pobyt v komoře zlepšuje prokrvení orgánů i lepší průtok krve mozky. *David Junod* použil komoru při léčbě plicních afekcí, astmatu a zánětu dýchacích cest. V Lyonu Junodův kolega *Pravaz* léčil převážně plicní onemocnění, např. tuberkulózu, laryngitidu a dávivý kašel. Léčbu kyslíkem však využili i pro další onemocnění, např. hluchota, cholera, menoragie, zánět spojivek. V druhé polovině 19. století došlo ve Francii k otevření mobilního

operačního sálu doktorem *Fontainem*. Na základě výsledků z operací, ze kterých vyšla vysoká úspěšnost a rychlejší zotavení z anestezie, měl být vybudován hyperbarický chirurgický amfiteátr. K tomu však nedošlo, neboť Fontaine jako první lékař v historii skonal v důsledku nemoci z dekomprese. [1,2]

Na americkém kontinentu došlo k otevření hyperbarického zařízení roku 1860 ve městě Oshawa ležícím v Kanadě. První hyperbarická komora v USA byla otevřena roku 1891 v New Yorku a doktor *Cornig* zde léčil nervové a duševní nemoci. Průkopnický rok byl 1920, kdy *Oroville J. Cunningham* otevřel v Kansas City téměř 30 m dlouhou klinickou komoru. Využití zde našla při léčbě epidemie španělské chřipky, vysokého krevního tlaku, cukrovky, rakoviny a dalších onemocnění. Po třech letech však v léčebně vypukl požár a komora byla zničena. I přes tuto nehodu a smrt několika pacientů se vývoj hyperbarické medicíny nezastavil. *Cunningham* vybudoval v Clevelandu roku 1928 nové a větší zařízení – pětipodlažní budovu o 12 pokojích v každém patře. [1,2]

Americká lékařská asociace vyzvala doktora *Cunninghama* na základě jeho úspěchu v léčbě hyperbarickým kyslíkem o vědecký podklad léčby a její úspěšnosti. Jelikož *Cunningham* neměl zájem, muselo se zařízení roku 1930 uzavřít. [2]

Objevitel kyslíku – britský vědec *Joseph Priestley*, označil rok 1775 za začátek hyperbarické oxygenoterapie, a to i přes obavy některých vědců z neznámých toxických účinků kyslíku na lidský organismus. [1,2]

Roku 1878 se zapsal do historie hyperbarické medicíny *Paul Bert* se svou prací *La Pression Barométrique*, která se stala jedním z hlavních pilířů hyperbarické medicíny. Ve své práci se zabýval účinky hyperbaroxie, studoval různé směsi plynů a zkoumal jejich efekty, objevil toxické účinky kyslíku a jejich vliv na organismus. Svého výzkumu toxických účinků kyslíku se sám účastnil. Na základě svých poznatků došel k závěru, že při běžném atmosférickém tlaku by neměl být

vdechovaný kyslík v koncentraci nad 60 %, aby nedošlo ke vzniku škodlivých účinků na organismus. [2, 3]

Toxicita kyslíku byla poté prokázána *Lavoisierem* a *Seguinem* v roce 1789. Toxické účinky kyslíku na plicní parenchym popsal roku 1899 *Lorrain-Smith*. [1,2]

Scott Haldane roku 1895 zkoumal účinky oxidu uhelnatého (CO) na tenzi kyslíku a na základě svých výsledků doporučil hyperbarickou oxygenoterapii jako léčebnou metodu u otrav CO. [1,2]

Mezi další významné osobnosti hyperbarické medicíny patří v 20. století holandský kardiochirurg profesor *Ite Boerema*, který se rozhodl operovat v hyperbarické komoře náročnou kardiochirurgickou operaci. Při pokusech na psech zjistil, že pes dokáže při podchlazení a dýchání hyperbarického kyslíku při tlaku 3 ATA lépe tolerovat srdeční zástavu. Jeho publikace s názvem *Life without blood* sklidila ve světě velký úspěch a došlo k velkému rozmachu ve světě. Skotský chirurg *I. McA. Ledingham* aplikoval léčbu hyperbaroxií u osob, které byly postiženy otravou CO a vyzkoušel tuto metodu také u pacientů s akutním infarktem myokardu. Britský lékař *I. Churchill-Davidson* zkoušel léčebnou účinnost kombinací hyperbarické oxygenoterapie (HBO) a radioterapie u léčby zhoubných nádorů. [2, 4]

Roku 1962 vyšla publikace *G. Smitha* a *G.R. Sharpa* zaměřující se na význam HBO při léčbě intoxikace CO. V ten samý rok se pokusil sir *CH.F.W. Illingworth* léčit hyperbarickou oxygenoterapií pacienta s tepenným uzávěrem na dolní končetině. [2]

Léčba HBO byla roku 1966 vyzkoušena i u pacienta s mozkovou mrtvicí doktory *A. Heymanem*, *H.A. Saltzmanem* a *R.R. Whalenem*. [2]

Čeští lékaři *V. Boschetty* a *J. Černocho* se roku 1970 jako první pokusili aplikovat hyperbarický kyslík při léčbě roztroušené sklerózy. [2]

V druhé polovině minulého století docházelo díky velkému rozmachu této léčebné metody k ověřování účinků hyperbaroxie u cca 60 různých indikací. Jelikož mezi lety 1980 a 1994 docházelo k zpochybňování účinků léčby HBO, je od roku 1994 její vývoj striktně směřován dle pravidel vědeckého výzkumu. [2, 3]

2.1.2 Počátky hyperbarické medicíny v Československu a ČR

Hyperbarická medicína se v tehdejším Československu oproti světu rozvinula později. Mezi významné průkopníky patří z Ústavu leteckého zdravotnictví v Praze *MUDr. Vladimír Doležal CSc.*, který se hyperbarickou medicínou zabýval od 60. let minulého století. Zájem svého výzkumu zaměřil také na problematiku toxicity kyslíku. První hyperbarická komora vznikla roku 1965 v Městské nemocnici v Ostravě a navázala tak na výzkum *MUDr. Doležala*. Při klinickém využití komory byli upřednostňováni především pacienti s akutními stavy. Další hyperbarická komora vznikla roku 1966 v Praze v Ústavu leteckého zdravotnictví Praha v Ústřední vojenské nemocnici. Tato komora byla využívána i k operacím a mohl v ní být umístěn i pacient na umělé plicní ventilaci (UPV). Třetí hyperbarická komora byla zprovozněna ve Vojenské nemocnici v Košicích. Jednomístná komora byla otevřena ve Fakultní nemocnici v Plzni roku 1968. Od roku 1985 je ve Fakultní nemocnici v Plzni další, větší komora středního typu. Na vzniku této komory se podílela i česká osobnost v rámci hyperbarické medicíny a to *doc. MUDr. Milan Hadravský, Csc.*, který toho času pracoval na Ústavu biofyziky Lékařské fakulty v Plzni. Roku 1995 byla v Plzni otevřena ještě jedna komora středního typu. Na konci 20. století vznikaly na území České republiky další hyperbarické komory, aktuálně je na území republiky v provozu 13 hyperbarických komor. Mezi další české osobnosti hyperbarické medicíny se řadí *doc. MUDr. Rudolf Barcal, Csc.*, který roku 1974 založil Odbornou pracovní skupinu „*Tlakové komory*“. Roku 1995 došlo

k ustanovení a vzniku samostatné organizace Asociace pracovníků v hyperbarické medicíně. Hyperbarická medicína byla roku 2004 uznána i jako samostatný medicínský obor. [4, 5]

2.1.3 Současné postavení v ČR

Hyperbarická medicína je v současné době celosvětově uznávaný specializační obor medicíny, který se zabývá problematikou potápěčské medicíny a hyperbarické oxygenoterapie. V České republice je zákonem uznána od roku 2004. Později vyšly vyhlášky č. 185/2008 Sb. a č. 189/2009 Sb., dle kterých je obor hyperbarická a letecká medicína řazena mezi nástavbové obory specializačního vzdělávání. Roku 2004 vzniká také odborná společnost hyperbarické medicíny, která se v současné době nazývá *Česká společnost hyperbarické a letecké medicíny*, ČSHLM. [6]

2.2 Fyzikální principy v hyperbarickém prostředí

Při léčbě v hyperbarické komoře dochází k určitým fyzikálním jevům, které je nezbytné pochopit a současně znát i jejich fyzikální veličiny a hodnoty. Nejdůležitější veličinou, na které je hyperbarická léčba založena je tlak. Tlak je fyzikální veličina definující účinek síly, který působí na jednotku plochy. Hlavní jednotkou tlaku je 1 Pascal (1 Pa) a značí se „p“ (anglicky pressure). Tlak vyskytující se při hladině moře neboli atmosférický tlak má hodnotu 101,325 kPa (1 bar či 1 ATA). Atmosférický tlak je roven sloupci vody o výšce 10 m (760 mmHg). [2]

V rámci fyzikálních principů je nutné zmínit i několik fyzikálních zákonů, které ovlivňují tlak a jeho změny. Tyto zákony platí nejen pro plyny, ale i pro kapaliny. Prvním zákonem je *Pascalův zákon*, který udává, že tlak v plynech a kapalinách působí rovnoměrně všemi směry. Dalším zákonem je *Daltonův zákon*, který se zaměřuje na směsi plynů a jejich tlaky. Daltonův zákon praví, že tlak směsi plynů je roven součtu parciálních tlaků plynů obsažených ve směsi. Hlavní zákon objasňující léčebnou efektivitu hyperbarickým kyslíkem je zákon *Boyle – Mariotteův*. Tento

zákon popisuje vztah mezi tlakem a objemem plynu při konstantní teplotě, jedná se o izotermický děj. Při konstantní teplotě existuje nepřímá úměra mezi tlakem plynu a jeho objemem. Pokud dojde za stálé teploty ke stlačení plynu na 2 ATA (10 m hloubka), objem plynu se zmenší na polovinu. Dojde-li ke stlačení plynu na 3 ATA, sníží se původní objem plynových bublin na třetinu atd. Tento děj je pro hyperbarickou medicínu stěžejní. Zákon *Gay – Lussacův* definuje, že se všechny plyny působením tepla rozpínají stejně, bez rozdílů. Posledním zmíněným zákonem je *Henryho zákon*. Henryho zákon udává přímou úměru mezi hmotností fyzikálně rozpuštěného plynu v kapalině za stálé teploty a parciálním tlakem plynu, který se nalézá nad kapalinou. [2]

Výše zmíněné zákony platí pro ideální plyny, skutečné plyny jsou však složeny ze složitých molekul a dochází tak k mírným odchylkám. Jako příklad je možno uvést nemožnost udržet při stlačování, případně rozpínání plynu konstantní teplotu. Ve skutečnosti totiž dochází při stlačování nebo rozpínání plynu i k výměně tepla s okolím. Takový děj je nazýván děj polytropický. Tento děj je také zodpovědný za rychlé a velké teplotní změny při kompresi a dekompresi v hyperbarických komorách. [2]

Během léčebné fáze v hyperbarické komoře dochází ke změnám vlhkosti vzduchu. V rámci kompresní fáze dochází k rychlejšímu vzestupu absolutní vlhkosti oproti vlhkosti maximální, což je způsobeno stlačováním vodních par společně se vzduchem. Současně se během kompresní fáze zvyšuje také teplota. Při fázi dekomprese se uplatňuje přes snížení absolutní vlhkosti tzv. rosný bod, kdy dojde k zamlžení prostředí v komoře. Tento děj je způsoben výrazným poklesem teploty v dekompresní části léčby. [2, 4]

2.3 Kyslík

2.3.1 Anatomie dýchacích cest

Hlavním úkolem dýchací soustavy je přesun dýchacích plynů, ke kterému dochází mezi zevním prostředím a tkáněmi. Celý proces se dá rozdělit na vnější a vnitřní dýchání. Vnější dýchání je označení pro výměnu plynů mezi zevním prostředím a plicemi. Vnitřním dýcháním se označuje přesun plynů mezi krví a tkáněmi. [7]

Horní dýchací cesty

Horní část dýchacího ústrojí se skládá z dutiny nosní (cavitas nasi) a za ní uloženým nosohltanem (pars nasalis pharyngis). [8]

Dutina nosní

Cavitas nasi neboli dutina nosní je prostor nacházející se mezi kostěnými výběžky horní čelisti, dále mezi kostí čelní a kostí čichovou, z malé části je ohraničena také nosními kůstkami. Dutina nosní se dělí na předsíň nosní (vestibulum nasi) a vlastní dutinu nosní (cavitas nasi propria), které mají odlišnou úpravu sliznice a odlišný epitel. Prostor vlastní dutiny nosní je dále rozdělen na dvě ne zcela stejné poloviny nosní přepážkou (septum nasi). V některých lebečních kostech se nachází vedlejší dutiny nosní (sinus paranasales), které přestože není zcela zřejmá jejich funkce, zvětšují celkový vnitřní povrch dutiny nosní. Jedná se o sinus maxillaris ležící v horní čelisti, sinus frontalis uložený v kosti čelní, sinus ethmoidalis je uložen v kosti čichové a sinus sphenoidalis, který leží v dutině kosti klínové. [7, 8, 9]

Nosohltan

Nosohltan, lat. nasopharynx se nachází za dutinou nosní a ústí v ústní části hltanu, na který dále navazuje hrtan. Nosohltanem prochází vzduch vdechnutý

nosem, kde dochází k jeho úpravě, především ohřátí a očištění. Nosohltan je od ústní části hltanu oddělen měkkým patrem (*pallatum molle*) a čípkem (*uvula*). U vzduchu vdechnutého ústy nedochází k jeho úpravě a je přiváděn přímo do hrtanu. Do nosohltanu ústí Eustachova trubice (sluchová trubice), která vyrovnává tlak ve středoušní dutině. [9]

Dolní dýchací cesty

Dolní část dýchacího ústrojí navazuje na horní dýchací cesty a jejich součástí jsou hrtan, průdušnice, průdušky a vlastní orgán dýchání – plíce. [8]

Hrtan

Hrtan (*larynx*) je dutá trubice, která navazuje na dolní část hltanu, a její dolní část ústí do průdušnice. Hrtan se nachází na přední stěně krku a na jeho bočních stěnách přiléhají laloky štítné žlázy, za hrtanem procházejí krkem hltan a krční tepny. Hrtan je slizničními řasami rozdělen na tři části – horní, střední a dolní. Horní část, tzv. předsíň je otevřena do hltanu a hrtanová příklopka (*epiglottis*) uzavírá vchod do hrtanu. Konec předsíně je ohraničen nepravými hlasovými řasami. Střední část hrtanu je tvořena štěrbinovitým prostorem a probíhá od nepravých hlasových řas až po pravé hlasové řasy (*plicae vocales*). Nachází se tu hlasové vazy (*liggamentum vocalia*), což jsou párové řasy, které vedou od štítné chrupavky až k hlasivkovým chrupavkám. Nejužším místem hrtanu je hlasová štěrbina, která se nachází mezi hlasovými řasami. Od hlasových řas dál prochází dolní část hrtanu, její vyústění je při okraji prstencové chrupavky, kde dochází k rozšíření a plynulému přechodu do průdušnice. [9]

Průdušnice

Průdušnice neboli *trachea* je trubice, která navazuje na hrtan, kde je zavěšená na prstencovou chrupavku. Její konec je dán rozdělením na levý a pravý bronchus

(průdušky). Průdušnice je dlouhá zhruba 12-13 cm a dělí se na krční a hrudní část. Krční část prochází od prstencové chrupavky až k hornímu okraji sternu. Hrudní úsek prochází horní částí mediastinu (mezihrudím), kde za průdušnicí prochází jícen. Před průdušnicí se nacházejí tepny, které odstupují z oblouku aorty. [7, 9]

Průdušky

Průdušky (bronchi) vznikají rozdělením průdušnice a jedná se o krátké trubice, kterými prochází vzduch dále do plic. Průdušky se dělí na pravý a levý bronchus. Pravá průduška je na rozdíl od levé průdušky kratší (3 cm) a širší (1,5 cm) a sestupuje strměji. Na základě toho dochází k častějšímu vdechnutí těles právě do pravého bronchu. Levý bronchus je dlouhý 4-5 cm a sestupuje pozvolněji. Kmenové bronchy se při ústí do plic rozvětví a vytvoří se segmentové bronchy, tím se stávají stavební a funkční součástí plic. [7, 9]

Plíce

Plíce jsou párový orgán, ve kterém dochází k výměně plynů mezi vzduchem a krví. Jejich velikost se odvíjí od velikosti hrudníku. Na mediální ploše plic se nalézá plicní branka (hilus). V hilu vstupují do plic průdušky, cévy, plicní tepna, plicní žíly a nachází se zde i místní uzliny. Průdušky se v plicích nadále plynule rozvětvují na průdušinky (bronchioli), alveoly a plicní sklípky (alveoli pulmonis), kde dochází k vlastní výměně plynů mezi dutinou alveolu a na ně zvenku přiloženými krevními kapilárami. Na vnitřní stěně alveolu je z tuků, bílkovin a cukrů vytvořena ochranná vrstva (tzv. surface-lining-complex, surfaktant), kterou produkují pneumocyty II. typu (buňky respiračního epitelu). Funkce této vrstvy je snížení povrchového napětí alveolů, aby nedocházelo k jeho kolapsu při expiraci a zvýšení povrchového napětí při vrcholu inspirace zabraňující rupturám alveolů. Plíce jsou tvořeny z pěti laloků – pravá plíce se skládá ze tří laloků (lobus superior, medius, inferior) a levá plíce je složena ze dvou laloků (lobus superior a inferior), které jsou od sebe odděleny

rýhami a navzájem se dotýkají. Laloky se dále dělí na menší oddíly, tzv. plicní segmenty, které jsou základní stavební a funkční jednotkou plic. Jednotlivé segmenty jsou ventilovány jedním bronchem a vyživovány jednou větví plicní tepny. Každá plíce má celkem deset segmentů. [7, 8, 9]

Plíce se nacházejí ve dvou pleurálních dutinách. Pravá plíce leží v pravé pleurální dutině (*cavitas pleuralis dextra*) a levá plíce je uložena v levé pleurální dutině (*cavitas pleuralis sinistra*). Tyto pleurální dutiny jsou vystlány serózní pohrudnicí (*pleura parietalis*), která přechází v poplicnici (*pleura visceralis*). [7, 8, 9]

2.3.2 Fyziologie dýchání

Funkcí dýchacího systému je zajištění neustálého přívodu a odvodu dýchacích plynů mezi vnější atmosférou, krví a tkáněmi. Jako dýchací plyny jsou označovány *kyslík* a *oxid uhličitý*. V plicích dochází k okysličení krve, která kyslík dále rozvádí ke tkáním organismu. Tento proces je nezbytný pro správnou funkci organismu, jelikož bez přísunu kyslíku tkáním dochází k jejich odumření. Oproti tomu je nutné odvádět z těla oxid uhličitý, který vzniká jako produkt metabolismu. Z funkčního hlediska je možné rozdělení dýchací soustavy na respirační a distribuční část. Respirační částí je označován přechod dýchacích plynů na alveolo-kapilární membráně do krve a zpět. Distribuční část je anatomicky tvořena dýchacími cestami, v kterých dochází k ohřátí, zvlhčení a očištění vdechnutého vzduchu. V rámci dýchání se uplatňuje mrtvý prostor, což je objem vzduchu, který se neúčastní výměny plynů v alveolech. [10, 11]

Přesun dýchacích plynů mezi atmosférou a plícemi je označován jako ventilace. V plicích dále dochází k tzv. *difuzi*, což je výměna plynů na úrovni plicních alveolů a kapilár, kde se tyto plyny dostávají do krve. Ventilace a difuze jsou souhrnně označovány jako vnější dýchání. Pojem vnitřní dýchání je označován děj, kdy je okysličená krev kardiovaskulárním oběhem distribuována ke tkáním. [12]

Plicní oběhy

Funkční oběh zajišťuje výměnu krevních plynů mezi krevním řečištěm a plicními sklípky (alveoly). Malý plicní oběh začíná v pravé síni srdce (atrium dextrum), kam je přiváděna neokysličená krev horní a dolní dutou žilou (vena cava superior a vena cava inferior). Z pravé síně neokysličená krev teče do pravé komory (ventriculus dextrum) přes trojcípou chlopeň (valva tricuspidalis). Z pravé komory vychází plicní kmen, který se rozvětňuje na pravou a levou plicní tepnu (arteria pulmonalis dextra a arteria pulmonalis sinistra), a vede krev do plic, kde na alveolo-kapilární membráně dojde k výměně dýchacích plynů a okysličená krev se vlévá do čtyř plicních žil (venae pulmonales) a směřuje zpět do srdce, přesněji do levé síně (atrium sinistrum). [9, 12]

Nutritivní oběh je zodpovědný za výživu plicní tkáně, odvádí zplodiny metabolismu, je součástí systémové cirkulace a přivádí do plic okysličenou krev. [12]

Difuze přes alveolo-kapilární membránu

Difuze je fyzikální děj závislý na velikosti tlakového gradientu (rozdíl parciálních tlaků) plynů na alveolo-kapilární membráně. Dále je velikost parciálního tlaku plynu ve směsi závislá na atmosférickém tlaku a také na parciálních tlacích ostatních plynů, které se ve směsi vyskytují. Současně s tím je difuze nepřímo úměrná k tloušťce membrány, kterou musí plyn při difuzi překonat. Aby došlo k difuzi plynu, je zapotřebí, aby plyn přecházel z místa vyššího parciálního tlaku do místa nižšího parciálního tlaku. Jelikož má kyslík v alveolech hodnotu parciálního tlaku 100 mmHg, respektive 13,3 kPa, dochází k jeho difuzi přes membránu do krve a následně k buňkám, kde je hodnota parciálního tlaku pro kyslík 10 mmHg, respektive 1,33 kPa. Oxid uhličitý má naopak vyšší parciální tlak v plicním řečišti, a proto dochází k jeho difuzi z krve do plicních sklípků a dále do vnější atmosféry.

Jelikož je rozpustnost oxidu uhličitého asi 25x větší než rozpustnost kyslíku, difuze oxidu uhličitého přes membránu je podstatně vyšší. [10]

Mechanika dýchání

Proces dýchání je tvořen inspiriem (vdech) a expiriem (výdech). Během dýchání dochází ke změnám objemu dutiny hrudní, což má za následek změny vnitřních tlaků, které tak umožňují proudění vzduchu. Vdech, jakožto děj aktivní, způsobuje při normálních klidových podmínkách zvětšení dutiny hrudní o zhruba 500 ml. Zvětšení dutiny hrudní je zapříčiněno kontrakcí bránice, jakožto hlavního dýchacího svalu, a zevními mezižebními svaly, které pomáhají rozvinutí hrudního koše. Výdech je za normálních podmínek pasivní děj, kdy dochází k vytlačení bránice zpět do původní polohy a díky pružnosti žeber i k zmenšení hrudního koše na svou velikost. Při výdechu se aktivně zapojují pouze vnitřní mezižební svaly. Pomocné dýchací svaly (svaly prsní, podklíčkové a kývači hlavy) se aktivují při zvýšené zátěži. [11]

Poddajnost plic a hrudníku

Nejen hrudník, ale i plicní tkáň je díky svému prostorovému uspořádání a přítomnosti elastických vláken v celé části dýchacích cest elastická. Při výdechu dochází přirozeně k smrštění plic a tento jev se nazývá *elastance*. Jejím opakem je *compliance* neboli poddajnost, což je schopnost roztáhnutí plic při vdechu. Poddajnost plic je pasivní děj a je možné ji změřit. Jelikož během dýchání dochází ke změnám objemů jednotlivých alveolů, mění se tím i povrchové napětí. Povrchové napětí je významně sníženo *surfaktantem*, který se nachází na povrchu alveolů. Surfaktant je produkován speciálními pneumocyty II. typu v plicních sklípcích a jedná se o směs proteinů a fosfolipidů. Při vdechu dochází díky působení surfaktantu k zvýšení povrchového napětí. Při výdechu naopak dochází k snížení povrchového napětí, čímž je zabráněno kolapsu plicních sklípků. [10, 12]

Plicní objemy a kapacity

Pro změření dechových a plicních objemů a kapacit je využíváno spirometrie. Vdech a po něm probíhající výdech je nazýván dechový cyklus. Za normálního dýchání dojde v plicích k výměně cca 500 ml vzduchu na jeden vdech, tento objem nazýváme jako *dechový objem* (VT). Při vdechu s maximálním úsilím a zapojením pomocných dýchacích svalů je možné nadechnout navíc 2-2,5 l a jedná se o tzv. *inspirační rezervní objem* (IRV). Součet dechového objemu a inspiračního rezervního objemu je *inspirační kapacita* (IC). Po klidovém výdechu je ještě možné z plic vydechnout přibližně 1,2 l vzduchu, jedná se o *expirační rezervní objem* (ERV). *Reziduální objem* (RV) je objem, který se i přes maximální expirační úsilí nepodaří vydechnout a zůstává v plicích, jeho množství je zhruba 1,2 l. [12, 13, 30]

Celkovou plicní kapacitou se rozumí součet plicních objemů. *Vitální kapacita plic* (VC) je hodnota, která vzniká součtem dechového objemu a obou rezervních objemů (VT + IRV + ERV) a její hodnota je zhruba 4,2 l. *Celková plicní kapacita* (TLC) je tvořena všemi plicními objemy (VC + RV) a její hodnota je odhadována na 5,4 l. *Funkční reziduální kapacita* (FRC) je součtem reziduálního objemu a expiračního rezervního objemu (RV + ERV) a její hodnota vychází na 2,4 l. [12, 13, 30]

2.3.3 Transport dýchacích plynů krví

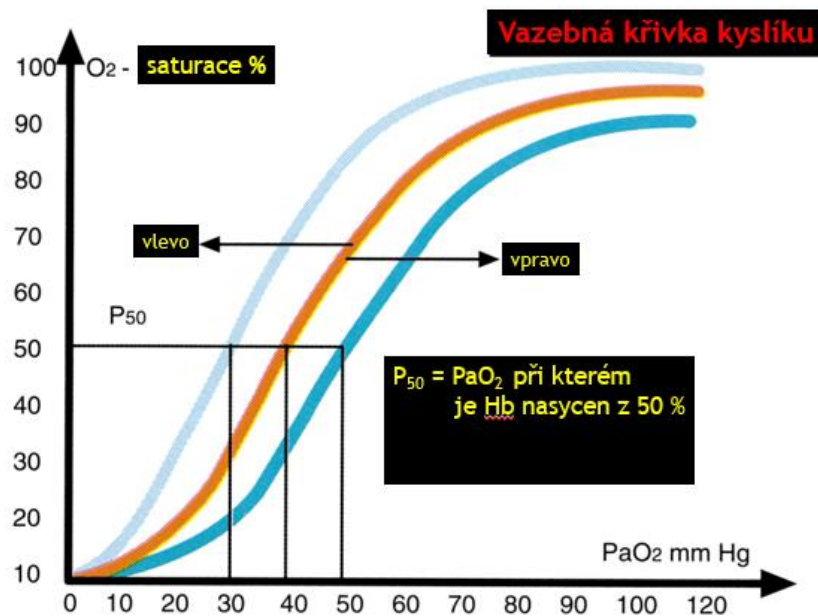
Transport dýchacích plynů mezi plícemi a tkáněmi je zajištěn krevním oběhem. Pro správnou funkci organismu v klidovém stavu je nutné dodat přibližně 250 ml bazálního množství kyslíku za minutu a stejné množství oxidu uhličitého by mělo být eliminováno, což odpovídá 50 ml na 1 l krve. V rámci transportu v klidovém režimu však dochází k přesunu až 200 ml kyslíku v 1 l krve, tím se vytváří funkční rezerva pro případ náhlého zvýšení činnosti metabolismu. Z toho vyplývá, že se v klidovém stavu žilní kreví navrátí do plic 75 % krve nasycené kyslíkem. [10]

Transport kyslíku

Kyslík je v krvi obsažen a přenášen ve dvou formách. Hlavním nositelem kyslíku (97 %) je *hemoglobin*, kde je kyslík chemicky reverzibilně vázán na molekulu železa v jeho hemové části. Mírou oxyhemoglobinu je *saturace krve kyslíkem*. Zbylá 3 % kyslíku jsou *fyzikálně rozpuštěna v plasmě* a jejich mírou je *parciální tlak*. Dále je možné vypočítat celkový obsah kyslíku v krvi, a to jak v arteriální, tak venózní krvi. [12]

Po difuzi kyslíku z plic do plasmy dojde k jeho navázání na hemoglobin červených krvinek a fyzikálnímu rozpuštění v plasmě za vzniku oxyhemoglobinu. Kyslík je dále rozváděn krví do celého organismu. [12]

Závislost parciálního tlaku a sycení hemoglobinu kyslíkem je dána *disociační křivkou hemoglobinu pro kyslík*. V případě klesajícího parciálního tlaku dochází k uvolnění kyslíku z hemoglobinu nebo naopak v případě stoupajícího parciálního tlaku stoupá i sycení hemoglobinu. Vlivem změn dochází k posunu křivky doleva nebo doprava. Děj, při kterém se disociační křivka posune doprava je označován jako *Bohrův efekt*. Bohrův efekt vzniká na podkladě vlivu zvýšení parciálního tlaku oxidu uhličitého a snadnějšího uvolňování kyslíku z hemoglobinu, což je zapříčiněno zvýšením teploty a snížením pH. Naopak *posun disociační křivky doleva* je zapříčiněn fetálním hemoglobinem, jelikož jako zdroj kyslíku využívá placentární krev, která má nízký parciální tlak kyslíku. Děj, kdy dochází ke snížení parciálního tlaku kyslíku, je označován jako *hypoxémie*. Pokud dojde k snížení obsahu kyslíku v krvi, dochází současně s tím i ke snížení oxygenace (méně než 90 %), respektive se sníží i saturace arteriální krve. [12]



Obr. 1 Disociační křivka hemoglobinu pro kyslík [31]

Transport oxidu uhličitého

Vznik oxidu uhličitého je dán vlivem metabolismu a jeho transport probíhá celkem ve třech formách. Nejvíce oxidu uhličitého (zhruba 75 %) se přenáší jako *bikarbonát* (HCO_3^-), který se nachází v erythrocytech. *Karbaminosloučeniny* přenáší okolo 20 % oxidu uhličitého, tam dochází k jeho vazbě na bílkoviny plasmy a globinové řetězce hemoglobinu. Zbýlý oxid uhličitý je *fyzikálně rozpuštěn v plasmě* a jeho míra je parciální tlak oxidu uhličitého. Pokud dojde ke zvýšení množství oxidu uhličitého v krvi, současně se sníží hodnota pH v krvi. Zvýšení parciálního tlaku oxidu uhličitého je nazýváno *hyperkapnií*. [12]

2.3.4 Princip hyperbarického prostředí a jeho vliv na kyslík

Vliv hyperbarického prostředí a HBO na lidský organismus je relativně složitý proces. Účinek hyperbarického prostředí může probíhat na různých úrovních dle druhu postižení nebo onemocnění organismu, neboť přenos kyslíku z atmosféry až k buňkám organismu je velmi dlouhý a může být v průběhu kdekoliv omezen. [4]

V plicích může dojít k omezení průchodu kyslíku přes alveolo-kapilární membránu z důvodu jejího ztlustění (např. intersticiální plicní edém). To může vést k významnému omezení přechodu kyslíku, zatímco transport oxidu uhličitého je pořád dostačující. Vzniká tak hypoxémie s absencí hyperkapnie, což je označováno jako *parciální respirační insuficience*. Při zvýšení parciálního tlaku kyslíku v alveolu o přetlaku 2 ATA (0,2 MPa), se zvýší parciální tlak kyslíku 15x oproti normální hodnotě a nastává účinná kompenzace hypoxémie. [4]

Dojde-li ke snížení hladiny hemoglobinu nebo jeho znehodnocení, nedostává se tkáním dostatek kyslíku a vzniká *tkáňová hypoxie*. Při užití hyperbaroxie však dochází k podstatnému zvýšení parciálního tlaku kyslíku v alveolech a plasmě. Tím se zvýší množství rozpuštěného kyslíku natolik, že je téměř rovno normálnímu arteriovenóznímu rozdílu. Fyzikálně rozpuštěný kyslík se tak stává plně hodnotný pro potřebu tkání a po čas trvání HBO zabraňuje tkáňovým hypoxickým změnám. Mezi další významné schopnosti vysokého parciálního tlaku kyslíku patří jeho schopnost eliminovat CO z vazby na karboxylhemoglobin (COHb), čímž napomůže hemoglobinu k obnovení jeho běžných funkcí – přenosu kyslíku. [4]

Hyperbaroxii je možné užít i v případě, kdy dojde k lokálním poruchám oběhu. Nedostatečný průtok krve orgánem je možné kompenzovat zvýšeným množstvím utilizovaného kyslíku v objemu krevní jednotky. Dojde tak nejen ke 100 % saturaci hemoglobinu, ale především také k podstatnému zvýšení množství fyzikálně rozpuštěného kyslíku v plasmě. [4]

Kyslík dokáže nezanedbatelnou měrou difundovat i do ischemické tkáně s úplnou blokádu průtoku krve. Emmerová uvádí, že při dýchání kyslíku o přetlaku 2 ATA je i pouhá difuze z hyperoxické krve dostačující pro zasyčení anoxického myokardu komor do hloubky zhruba 0,3 mm. Stejný princip se osvědčuje i u anaerobních bakteriálních infekcí, kdy se rozpuštěný kyslík, který

v místech infekce působí bakteriocidně na klostridia, dostává do ischemické tkáně snadněji než antibiotika. [4]

2.3.5 Toxicita kyslíku

Přestože je kyslík pro náš organismus nepostradatelný a v některých léčebných procesech má dýchání normobarického i hyperbarického kyslíku důležitou roli, za určitých stavů se může stát i škodlivým pro všechny buňky, tkáně i orgány. Tato skutečnost může proběhnout v závislosti na celkové dávce, která je dána parciálním tlakem kyslíku, a dále pak množstvím a délkou doby vystavení kyslíku. Nejpravděpodobnější mechanismus vzniku toxicity kyslíku je dán nadměrnou produkcí reaktivních forem kyslíku a dusíku, *reactive oxygen and nitrogen substances*. Díky jejich nadměrnému množství dochází k peroxidaci mastných kyselin a poškození struktury enzymů, proteinů a nukleových kyselin. [2, 4]

Klinická forma toxicity se projevuje symptomaticky v rámci centrální nervové soustavy a plic. Nedá se však vyloučit i postižení dalších orgánů, jakými jsou oko, srdce, játra, ledviny. Během léčby je důležitá monitorace pacienta a podpurná terapie. V rámci profylaxe je možné pacientovi podávat vitamíny C a E. [2, 4, 14]

Akutní intoxikace kyslíkem

Akutní intoxikace kyslíkem postihuje *centrální nervovou soustavu* (CNS) a je označována také jako *Paul Bertův efekt*. Začínající projevy toxicity je možné pozorovat při parciálních tlacích nad 2,0 ATA a nejnebezpečnější tlak pro riziko vzniku toxicity je okolo 3,0 ATA. Ze zmíněného je patrné, že reálné riziko vzniku akutní intoxikace je možné dosáhnout pouze při HBO nebo v rámci potápění. Za určitých podmínek může dojít ke zvýšení citlivosti k intoxikaci CNS. Mezi predisponující faktory patří hyperkapnie, zvýšená tělesná námaha, vyšší tělesná teplota, užívání některých léků nebo hormonů (např. inzulin, kortikoidy, thyroxin), pohlaví a věk. [2, 14]

Akutní otrava kyslíkem má několik forem projevů od lehčích po závažné, kdy dochází až ke ztrátě vědomí a možné smrti. Začínající otrava se projevuje pocením, zkreslenými sluchovými i zrakovými vjemy, únavou až ospalostí, vznikají palpitace, dále mohou být přítomny závratě, chvění víček, parestezie a svalové záškuby, které mohou vyústit v křeče se ztrátou vědomí. Křeče vzniklé na podkladě otravy kyslíkem se nazývají *hyperoxické křeče* a mají charakter generalizovaných tonicko-klonických záškubů. [2, 14]

Při zpozorování projevů kyslíkové otravy je nutné co nejdříve *redukovat koncentraci inhalovaného kyslíku* a předejít tak prohlubování projevů intoxikace. Po sejmutí kyslíkové masky a snížení parciálního tlaku kyslíku dochází k návratu vědomí obvykle v rozmezí několika minut a nejpozději do 30 minut by mělo dojít k plnému návratu vědomí. Při hyperoxických křečích se zvyšuje riziko tělesného poranění. Vzniklou-li hyperoxické křeče během dekomprese komory, je nutné okamžité přerušování dekomprese, neboť by pokračující dekomprese mohla pacienta ohrozit při apnoické pauze vznikem plicního barotraumaty. [2]

Chronická intoxikace kyslíkem

Chronická forma otravy kyslíkem se projevuje postižením dýchacího ústrojí a obvykle je označována jako *Lorraine-Smithův efekt*. Vznik chronické intoxikace kyslíkem je způsoben vdechováním *normobarického kyslíku*, kdy se při normobarické hyperoxii mohou objevit první projevy intoxikace přibližně za 12–16 hodin. Dochází k postižení respiračního traktu za vzniku morfologických změn ve smyslu ARDS (acute respiratory distress syndrome) a později plicní fibrózy. Příčinou vzniku je vyšší tenze kyslíku, které jsou plíce vystaveny a oproti ostatním tkáním reagují jako první na toxický účinek kyslíku. Změny na plicích probíhají ve dvou fázích, a to ve *fázi akutní* (exsudativní) a *fázi chronické* (proliferativní). [4, 14]

Při průběhu exsudativní fáze dochází k perivaskulárnímu, peribronchiálnímu, intersticiálnímu a posléze intraalveolárnímu edému, spolu s krvácením do alveolů. Vzniká nekróza plicního kapilárního endotelu, destrukce pneumocytů a nakonec vazivová přestavba. Prvními projevy jsou bradykardie, zvyšuje se periferní cévní odpor, tlak a minutový dechový objem. Mezi další projevy patří podráždění dýchacích cest současně s pocitem sucha v ústech, následuje bolest na prsou, kašel a dušnost. Později se dostaví nevolnost, zvracení s celkovou slabostí a tachykardie. Dochází ke snížení vitální kapacity, plicní compliance, difuzní plicní kapacity a redukci objemu krve cirkulující v plicním řečišti. Rozvoj hypoxémie s hyperkapnií vyústí ve smrtící *hyperoxickou anoxii*. [4]

Pro proliferativní fázi je typická postupná resorpce exsudátu a ztlustění alveolárních sept na podkladě hyperplazie intersticiálních buněk. Dochází k fibrotizaci intersticia za zvýšené tvorby kolagenu a elastinu. K rozvoji proliferativní fáze dochází pouze v případě, kdy pacient vystavený vlivu kyslíku překoná fázi exsudativní. U pacientů, kteří přežili exsudativní fázi dochází k úplné restituci změn. Naopak změny vzniklé v chronické fázi nadále přetrvávají. [4]

2.4 Technická stránka hyperbarické komory

Hyperbarická komora je tlaková nádoba, která je vyráběna nejčastěji z oceli, případně akrylátu a jejich kombinací. Jelikož se jedná o tlakovou nádobu, musí se během jejího provozu striktně dbát na bezpečnost všech zúčastněných a dodržovat bezpečnostní pravidla. [15]

2.4.1 Typy komor

Hyperbarické komory lze dělit na základě níže uvedených specifikací podle:

- *velikosti* na malé, střední, velké
- *počtu míst* na jednomístné, vícemístné

- *způsobu plnění* na naplněné kyslíkem, vzduchem, směsí plynů
- *dle účelu* na komory hyperbarické léčebné, komory potápěčské dekompresní, komory potápěčské rekompresní, komory experimentální
- *dle mobility* na komory transportní, komory stabilní. [16]

Jednomístné komory

Mezi nejčastěji používané komory patří *komory jednomístné*. Tyto typy komor se mohou plnit kyslíkem nebo vzduchem, buď z centrálního rozvodu nebo případně z tlakových lahví. Do jednomístné komory je možné umístit pouze jednu osobu, ve výjimečných případech u dětských pacientů může být do komory umístěn i rodič. Vybavení komory může umožňovat monitorování vitálních funkcí, umělou plicní ventilaci, podávání infuzí. Během celého léčebného procesu by měla být zachována komunikace mezi pacientem a ošetřujícím personálem. Významnou výhodou jednomístné komory je možnost *vdechování kyslíku bez použití masky, kdy je kyslík přítomen v prostředí komory*. Tato varianta má ovšem i zvýšené riziko vzniku požáru. Proto se musí přísně dbát na dodržování bezpečnostních opatření. Mezi další výhody jednomístných komor patří minimální prostorové, technické a technologické požadavky, jednoduchá instalace a monitoring, minimální požadavky na obsluhující personál, izolace pacientů, nižší náklady na provoz i pořízení. Mezi nevýhody jednomístné komory naopak patří především obtížné poskytnutí neodkladné péče pacientům, vyžadující zpravidla neodkladnou dekompresi komory. [2]



Obr. 2 Jednomístná komora [16]

Vícemístné komory

Ve *středních komorách*, které jsou plněny vzduchem z kompresorových stanic mohou léčbu podstoupit současně až 3 pacienti. Ve vybavení rovněž nechybí monitorovací systémy. U středních komor se nachází také předkomora, která umožňuje vstup a výstup z komory i během kompresní fáze. Nevýhodou komor středního typu je nedostatek prostoru a omezená možnost ošetření akutních stavů. [2]

Velké vícemístné komory dokáží pojmout na jedno ošetření až 20 sedících pacientů najednou. V těchto typech komor pacienti nejčastěji *inhalují kyslík přes těsnící obličejovou polomasku, případně v helmě prostřednictvím dýchacího zařízení* (plicní automatika). Pacienti otvírají inhalačním úsilím inspirační ventil, který přivádí kyslík. Součástí je obvykle i výdechová jednotka, která odvádí výdech mimo vzduch v komoře. Velké vícemístné komory umožňují během léčby i přítomnost lékaře nebo sestry. Neodkladná péče může být tedy v případě nutnosti provedena okamžitě. Velká komora má stejně tak jako střední, předkomoru, která umožňuje personálu vstup i výstup z komory. Součástí komory jsou také nutné vstupy pro možné

sledování pacientů z vnějšku. Mezi nevýhody velké hyperbarické komory patří především vysoké pořizovací a provozní náklady, nároky na personální zabezpečení a dostatečný prostor. K nevýhodám patří, i přes malé riziko, možnost nemoci z dekomprese u personálu komory. K dalším nevýhodám patří i současná léčba pacientů s různým stupněm alterace vitálních funkcí. Dále je důležité přísně dbát zvýšených hygienických opatření a zamezit tak možnosti šíření nozokomiálních nákaz. [2]



Obr. 3 Vícemístná komora [32]

2.4.2 Vybavení hyperbarických komor

Mezi základní vybavení vlastní komory patří průhledná akrylátová okna, komunikační zařízení, osvětlení, podávací okénko, dýchací systém. U vícemístných komor je před hlavní komorou předkomora. Součástí hlavní komory jsou dále křesla, lehátko, klimatizace, hasící systémy a komunikační systém. Přítomna je také vysokotlaká a nízkotlaká technologie, která je potřebná pro přípravu medicínálního vzduchu, jejíž součástí jsou šroubové/pístové kompresory, kondenzační nebo absorpční sušička vzduchu, filtrační zařízení, separátor kondenzátu, separátor oleje a zásobník vzduchu. V komoře jsou povoleny elektrické přístroje s pracovním

napětím do 6 V, ale pouze v případě, kdy hladina kyslíku v atmosféře nepřesahuje 23 %. [2]

Ovládání hyperbarické komory je v dnešní době zpravidla vně komory, kde je vše ovládáno vyškoleným pracovníkem bez nutnosti přítomnosti v komoře. Ovládání může být automatické, případně manuální. Mezi další součásti patří také provozní tlakoměr a variometr pro udávání časových údajů o změnách tlaku v komoře. Léčebný proces je ovládán operačním a řídicím systémem, který zaznamenává důležité provozní parametry. Řídicí počítač funguje s obsluhou komory na podkladu dialogu, může se také přepnout do programu autopilota. [2]

Nedílnou součástí hyperbarické komory je klimatizace. Jelikož fyzikální adiabatické děje způsobují při stlačování a rozpínání plynů značné teplotní změny. Během začátku léčby dochází ke zvýšení tlaku a tím dojde k zahřátí vzduchu. Přesný opak se děje při snižování tlaku – v komoře dochází ke snížení teploty. Tím se relativně zvýší i vlhkost uvnitř komory. Někdy může být dosaženo i rosného bodu, kdy dojde k zamlžení prostředí a vysráží se vodní páry. A právě zapojením klimatizace je možné těmto dějům předcházet. [2]

U některých pacientů je i během hyperbarické léčby nutná *kontinuální monitorace*. Rozsah monitorace není vždy stejný a záleží na vybavení komory. V moderních komorách je možné monitorovat i několik pacientů najednou. Monitorace může být vedena prostřednictvím kabelů, ale i telemetricky. Pokud to vybavení komory umožní, dají se monitorovací funkce sledovat jak vně komory, tak přímo v komoře pomocí LC monitorů. V komoře je možné pacienta monitorovat jak neinvazivními, tak invazivními metodami. Každé monitorovací zařízení užívané v hyperbarické komoře by mělo disponovat tzv. CE certifikací (prohlášení výrobce, že je zařízení vhodné pro využití v hyperbaroxii). Změny tepla uvnitř komory mohou významně ovlivnit funkci ventilátoru, případně průtok infuzním systémem. Mezi monitorovacími zařízeními v hyperbarické komoře nalezneme monitor pro měření

životních funkcí, ventilátor, odsávací zařízení, lineární dávkovače, přetlakové manžety atd. Dostupné musí být i vybavení pro život ohrožující stavy, jedná se především o set ke kardiopulmonální resuscitaci, pomůcky pro ošetření pneumotoraxu, set pro hrudní drenáž, léčiva (antihypertenziva, analgetika, sedativa) a infuzní roztoky. Použití defibrilátoru je upraveno s ohledem na dané podmínky. V jednomístné komoře, která je plněna kyslíkem, je jeho použití kontraindikováno. Pro použití ve vícemístných komorách je zapotřebí dodržet přísné bezpečnostní podmínky, které snižují riziko jeho použití na relativně bezpečnou úroveň. Je nutné neopomenout skutečnost, že ne každý defibrilátor je určený pro defibrilaci v hyperbarické komoře a musí být řádně nastaven pro užití v podmínkách hyperbarické komory. Pokud vznikne situace, kdy defibrilace v komoře není možná, je nutná okamžitá dekomprese a provedení defibrilace za normálního atmosférického tlaku. [2]

2.5 Průběh léčby

2.5.1 Příprava

Před samotnou léčbou musí být stanovena vhodná léčba a kontraindikace. Pacient by měl projít vstupním vyšetřením (vyšetření specialistou ORL, poslech plic a vyhodnocení schopnosti vyrovnat tlak ve středoušních dutinách), další vyšetření probíhají individuálně dle potřeby a okolností. U pacientů v bezvědomí je indikována preventivní *paracentéza*. V případě, kdy je pacient napojen na umělou plicní ventilaci, je nutné před začátkem léčby vyměnit vzduch v těsnící manžetě za vodu. Před začátkem léčebného procesu v hyperbarické komoře je personál povinen poučit pacienty o průběhu léčby a jejích principech, jak použít dýchací přístroje, vyrovnat tlak ve středoušních dutinách atd. Další součástí poučení je seznámení s vedlejšími účinky, možnými riziky a bezpečnostní instruktáž. Pacient před zahájením léčby podepisuje *informovaný souhlas*. V některých případech personál doprovází pacienty i během hyperbaroxie. V případě závažného stavu pacienta je zapotřebí jeho monitorace i během provádění terapeutických úkonů. [2]

2.5.2 Vlastní léčba

Vlastní léčebná procedura se skládá ze 3 fází – fáze komprese, fáze izoprese a fáze dekomprese.

Při *fázi komprese* dochází k zajištění tlaku v komoře na požadované hodnoty, což obvykle trvá cca 10–20 minut. Během této fáze pacienti pociťují tlak v uších a je nutné tento tlak ve středoušních dutinách vyrovnat s tlakem uvnitř komory. Nejjednodušší způsob vyrovnání tlaku v dutině středoušní je *Valsalvův manévr*, kdy je nutné vydechnout při současně uzavřeném nosu a ústech, tím dojde k zvýšení tlaku v nosohltanu a dutině hrudní. Dalším možným manévrem je *Toynbeeho manévr*, kdy pacient polkne a současně přitom má uzavřené nosní dírky a ústa. Pokud se pacientovi nedaří vyrovnat tlak ve středoušním prostoru je nutné ukončit léčbu pro riziko ruptury bubínku. V rámci komprese dochází také k zvyšování teploty. [2, 15, 27]

Ve *fázi izokomprese* dochází k aplikaci kyslíku za daného přetlaku. Obvyklý léčebný přetlak je 200kPa (maximální léčebný tlak je 300kPa) a udržuje se po dobu 90-120 minut. [2, 15, 27]

Poslední fáze je *dekomprese*, kdy dochází k postupnému snižování tlaku v komoře. Dekomprese končí vyrovnáním tlaku na běžný atmosférický tlak v okolním prostředí. [2, 15, 27]

2.5.3 Komplikace během hyperbarické oxygenoterapie

Přestože je HBO obecně považována za bezpečnou formu léčby, mohou se během vlastního léčebného procesu vyskytnout komplikace a vedlejší účinky. Komplikace mohou nastat během všech tří léčebných fází. Při některých komplikacích je nutné léčbu okamžitě přerušit dekompresí a případně aplikovat vhodnou terapii. [15]

Dle Haddanyho je také možné komplikace rozdělit do dvou skupin, a to podle příčiny jejich vzniku. Komplikace mohou vzniknout buď na podkladě *vysokého tlaku* (riziko barotraumatů a s ním spojené komplikace) nebo je příčinou komplikací *kyslík* (riziko otravy kyslíkem a stavy s tím související). [17]

V *kompresní fázi* nastává riziko barotraumatů, které je způsobeno tlakovým rozdílem mezi atmosférou v komoře a tělesnými dutinami. Nejčastěji dochází k poškození bubínku, středního a vnitřního ucha, vedlejších nosních dutin. [15]

Během *izokompresní fáze* je riziko vzniku intoxikace kyslíkem. Toto riziko se zvyšuje s nedodržením předepsané doby inhalace a vdechované koncentrace kyslíku. Při vzniku intoxikace může dojít i k toxickému poškození mozku, jež se projevuje vznikem křečí (*grand-mal*). [15]

Při *dekompresní fázi* vzniká opět riziko poškození ucha ve středoušních prostorech a dále ve vedlejších dutinách nosních. Zůstává i riziko vzniku barotraumatů plic, je možný i vznik tenzního pneumotoraxu. [15]

2.6 Indikace k použití hyperbarické komory

Během vývoje hyperbarické medicíny byl seznam možných indikací pro využití hyperbarické komory nesčetněkrát měněn. V dnešní době je uznáváno okolo 15-20 indikací pro možné využití HBO. Počet indikací se globálně liší na základě různého stupně vyspělosti a znalosti hyperbarické medicíny. Indikace pro HBO je možné pojmout z dvou hledisek, jimiž jsou *patogeneze* a *stupeň naléhavosti*. Z patogenetického hlediska je možné rozdělení HBO na základě *využití fyzikálního efektu hyperbarického prostředí* (kdy dochází k rozpuštění vzduchových bublin, např. u dekompresní nemoci a vzduchové embolie) a možné *substituce kyslíku v hypoxických tkáních* (u otrav CO a dalších kouřových plynů, ischemie CNS, polytraumat, anaerobní bakteriální infekce a další). Obecně se uznávají 3 stupně využitelnosti hyperbarické komory dle naléhavosti k jejímu využití. Níže je uveden

přehled doporučených indikací dle naléhavosti podle 10. konference Evropského výboru pro hyperbarickou medicínu z roku 2016. [2]

1. stupeň: zahrnuje stavy, kdy *hyperbaroxie ovlivňuje prognózu přežití*. Jedná se jak o vitální, tak absolutní indikaci k přesunu do hyperbarické komory. Mezi tyto stavy a onemocnění se řadí onemocnění z dekomprese, intoxikace oxidem uhelnatým, plynová embolie, anaerobní nebo smíšená bakteriální infekce, otevřené fraktury s drtivým poraněním, osteoradionekróza mandibuly a její prevence po odstranění zubu, radionekróza měkkých tkání a náhlá percepční porucha sluchu. [2]

2. stupeň: zde je *hyperbarická oxygenoterapie důležitou součástí léčby* a má za úkol předcházet možným vážným komplikacím. Druhý stupeň obsahuje následující onemocnění a stavy, jako jsou popáleniny 2. stupně (více než 20 % tělesného povrchu), uzávěr centrální sítnicové tepny, drtivá poranění bez fraktury, kompromitované kožní štěpy a svalově-kožní laloky, diabetické a ischemické ulcerace, avaskulární nekróza hlavice femuru, neuroblastom (4.stupně), osteoradionekróza (ostatních kostí kromě mandibuly), pneumatisis cystoides intestinalis, radionekróza měkkých tkání, refrakterní chronická osteomyelitida, chirurgický zákrok a implantace na ozářených tkáních. [2]

3. stupeň: v tomto případě je *hyperbarická léčba volitelná* a je možné ji zvolit jako *součást komplexní léčby*, kdy pozitivně ovlivňuje celkovou léčbu. V tomto případě se jedná o následující stavy a onemocnění, kterými jsou poranění mozku u vysoce selektovaných případů (akutní i chronická fáze traumatického poranění mozku, chronická fáze iktu a postanoxická encefalopatie), intersticiální cystitida, reperfuční syndrom po revaskularizačním cévním zákroku, replantace končetin, radiační poškození CNS a hrtanu, srpkovitá anémie a vybrané nehojící se ulcerace u systémových onemocnění. [2]

Seznam indikací pro užití hyperbarické komory v České republice je zanesen ve vyhlášce Ministerstva zdravotnictví ČR č. 331/2007 Sb. Obsahuje celkem 21 diagnóz pro užití hyperbarického kyslíku a vychází ze 7. konsensuální konference Evropského výboru pro hyperbarickou medicínu z roku 2004. [2]

2.7 Kontraindikace hyperbarické oxygenoterapie

Kontraindikace pro použití HBO můžeme rozdělit na absolutní a relativní.

Absolutní kontraindikací je neléčený pneumotorax, který by se během vystavení přetlaku mohl rozvinout v tenzní pneumotorax. [15]

Mezi *relativní kontraindikace* řadíme závažné virové infekce horních cest dýchacích, akutní astma, neléčené zhoubné nádory, diagnostikovanou klaustrofobii, spontánní pneumotorax, poranění plic, stavy po operacích (operace hrudníku, středního a vnitřního ucha), epilepsie, emfyzém spojený s vysokou tenzí oxidu uhličitého, hyperfunkce štítné žlázy. Pacient s vysokou teplotou nebo horečkou by neměl podstupovat hyperbarickou léčbu, dokud nedojde ke snížení tělesné teploty. [15, 18]

2.8 Otrava oxidem uhelnatým

2.8.1 Oxid uhelnatý

Oxid uhelnatý je jedovatý, bezbarvý plyn, mísící se se vzduchem. Lidské smysly ho nedokáží detekovat a v nepatrném množství je fyziologicky přítomen i v lidském organismu (v průmyslových oblastech a městech). Vzniká jako vedlejší produkt nedokonalým hořením a spalováním organických hmot za nedostatku kyslíku. Dále je obsažen ve výfukových plynech spalovacích motorů, mezi významné zdroje vzniku CO patří i kouření a plynové spotřebiče. [19, 20, 21]

V případě vdechnutí CO dojde k jeho přechodu přes alveolo-kapilární membránu a jeho navázání na molekuly hemoglobinu a vzniká *karbonylhemoglobin* (COHb). Dále je schopný se vázat na myoglobin a cytochromy dýchacích řetězců. Tím je zabráněno navázání kyslíku na hemoglobin, disociační křivka hemoglobinu pro kyslík se posune doleva a rozvíjí se tkáňová hypoxie. Zároveň se snižuje uvolňování oxidu uhličitého z tkání. Jelikož má CO k hemoglobinu 225–300 *x větší afinitu* než kyslík, je COHb stabilní sloučenina. [20, 21, 22]

2.8.2 Závažnost otravy oxidem uhelnatým

Otrava CO má různé stupně závažnosti v závislosti na hladině COHb v krvi. Množství COHb v krvi je závislé na *délce expozice CO a jeho koncentraci ve vdechované směsi*. Stupeň závažnosti vyjadřuje *Ostravská klasifikace intoxikace CO*. Mezi první příznaky otravy se řadí nevolnost, zvracení, bolest hlavy, případně se mohou objevit i bolesti na hrudi, závratě, slabost, palpitace a zmatenost. Dále dochází k rozvoji neurologických příznaků (extrapyramidové a pyramidové), vzniku křečí a prohlubuje se porucha vědomí, přes somnolenci, sopor až do případného kómatu. [23]

Tab. 1 Ostravská klasifikace [23]

Stádium	Vědomí	Neurologický nálezn	Vegetativní poruchy	Oběh	Dýchání
I.	při vědomí	Negativní	bolest hlavy, nauzea, zvracení	bez změn	bez změn
II.	při vědomí	pozitivní extrapyramidové a pyramidové příznaky	bolest hlavy, nauzea, zvracení	bez změn	bez změn
III.	somnolence sopor	pozitivní extrapyramidové a pyramidové příznaky	zvracení	hypertenze tachykardie	hyperventilace
IV.	kóma	pozitivní extrapyramidové a pyramidové příznaky	nelze	hypertenze tachykardie hypotenze, bradykardie, asystolie	hyperventilace hypoventilace

Zvlášť závažná je otrava CO u těhotných žen, kdy je velké riziko ohrožení plodu. *Těhotné ženy mají oproti plodu nižší hodnoty COHb přibližně o 10-15 %.* Tento jev je způsobený silnější afinitou fetálního hemoglobinu vůči CO. U plodu, který má již fyziologicky posunutou disociační křivku fetálního hemoglobinu doleva dojde při otravě CO k dalšímu posunu a tím dojde k další redukci uvolňování kyslíku v tkáních. [24]

2.8.3 Diagnostika hladiny COHb

V přednemocniční neodkladné péči je možné určení hladiny COHb více způsoby. Prvním z nich je *stanovení hladiny COHb ve výdechu.* Jedná se o jednoduchou, orientační a levnou metodu. Přístroj měří v jednotkách ppm, kdy 80 ppm odpovídá 10 % COHb. Dalším možným způsobem, jak jednoduše změřit hladinu COHb v krvi je *neinvaзивní pulzní CO-oxymetrie.* Jedná se o relativně přesnou metodu měření, kromě hladiny COHb v krvi zobrazuje také plethysmografickou křivku, saturaci kyslíku a tepovou frekvenci. V rámci nemocniční péče je nejvhodnější způsob měření hladiny COHb *vyšetřením krevním plynů.* [23]

2.8.4 Terapie

V přednemocniční neodkladné péči (PNP) je důležitá *evakuace pacienta* z místa nehody. Následně *podání 100 % kyslíku o vysokém průtoku (až 15 l/min),* kyslík je nejlépe podat kyslíkovou maskou s rezervoárem. Při poruše vědomí je nutné *zajištění dýchacích cest* s intubací a inhalací kyslíku o vysoké frakci. V souvislosti s UPV je vždy vhodný *PEEP.* Pokud došlo k zástavě oběhu je indikována neprodlená *KPR.* V případě křečí je možné podání *Diazepamu,* při edému mozku je doporučeno podat *Mannitol.* [19, 22, 25, 26]

„Na pracoviště s možností hyperbaroxie by měli být směrováni pacienti s hladinou COHb více než 10 % a zároveň bezvědomím na místě nehody nebo

v nemocnici, abnormálním neurologickým nálezem a těhotné ženy. Vždy je možné směřování a léčbu telefonicky konzultovat s příslušným pracovištěm.“ [25]

Při HBO dochází k *rychlejšímu uvolnění CO z vazby na hemoglobin*, a to z 250 min na 60 min při dýchání 100 % kyslíku. Pokud dojde k dýchání 100 % kyslíku za tlaku 2,2 ATA, zkrátí se čas na 22 min. [28]

2.8.5 Komplikace

Otravy CO mohou sekundárně zapříčinit vznik dalších onemocnění, a to i do té doby zdravých osob. V rané fázi je nejvíce ohrožen *kardiovaskulární systém*, kdy je možný rozvoj srdečních arytmií, koronární ischemie, akutního plicního edému, stenokardií a infarktu myokardu. V souvislosti s rhabdomyolýzou vzniká riziko *akutního ledvinového selhání*.

Mezi pozdní komplikace je možné zařadit *persistentní neurologické postižení* (mozkovou dysfunkci, koma), které je způsobeno těžkou otravou CO s následnou hypoxií tkání. Další pozdní komplikací je tzv. *pozdní neuropsychické postižení* a vzniká až s časovým odstupem od vzniku otravy v řádu dnů až měsíců, u již zdánlivě uzdravených pacientů. Tato komplikace se vyznačuje snížením IQ, zmateností, dochází k poruchám paměti, někdy i k poruše osobnosti. [24]

3 CÍL PRÁCE

Cíl 1: Zhodnotit postup výjezdových skupin zdravotnické záchranné služby u pacientů intoxikovaných oxidem uhelnatým a porovnat je s doporučenými postupy České společnosti hyperbarické a letecké medicíny.

Současně bude zhodnocen i léčebný vliv hyperbarické oxygenoterapie u pacientů intoxikovaných oxidem uhelnatým.

Cíl 2: Optimalizovat diagnostický postup u otrav oxidem uhelnatým a správné směrování pacienta v přednemocniční neodkladné péči.

4 METODIKA

Zvolenou metodou řešení praktické části této práce byl sběr dat jednotlivých kazuistických sdělení pacientů, u kterých došlo k otravě CO. V rámci zdravotnické dokumentace jsou využívány data zaznamenaná v PNP a dokumentace ze zdravotnického zařízení disponujícího hyperbarickou komorou, konkrétně anesteziologicko-resuscitační oddělení Nemocnice Na Homolce.

V rámci hodnocení kazuistik je posuzován jednak postup výjezdových skupin v rámci PNP a respektování doporučených postupů České společnosti hyperbarické a letecké medicíny, a jednak vliv hyperbarického kyslíku na organismus, míra redukce hladiny COHb v krvi a normalizace neurologické symptomatologie.

Dle doporučených postupů, které byly vydány Českou společností hyperbarické a letecké medicíny, má výjezdová skupina zdravotnické záchranné služby (ZZS) na místě nehody a během transportu postupovat následovně:

- okamžitě vyprostit pacienta ze zamořeného prostředí
- v případě zástavy oběhu neprodleně zahájit KPR
- aplikovat kyslík maskou s rezervoárem o vysokém průtoku kyslíku (až 15 l/min), při poruše vědomí zajistit průchodnost dýchacích cest orotracheální intubací (OTI) či jinými dostupnými prostředky a zahájit umělou plicní ventilaci (UPV) s FiO_2 1,0.
- zahájit symptomatickou orgánovou podporu, např. tekutinovou resuscitaci, inotropní podporu apod. [23]

Důležité je také rozpoznat správnou diagnózu pacienta. Intoxikace CO se projevuje především nespecifickými neurologickými příznaky, jakými jsou bolest hlavy, vertigo, nauzea, zvracení, třes, svalové záškuby, poruchy vidění, ve vážných stavech jsou přítomny křeče, poruchy vědomí až bezvědomí, které mohou končit letálně.

V souladu s požadavkem zachování ochrany osobních údajů (zákon č. 101/2000 Sb.) jsou níže uvedené kazuistiky zcela anonymní a náhled do potřebné zdravotnické dokumentace byl autorovi udělen se souhlasem etické komise Nemocnice Na Homolce.

5 VÝSLEDKY

5.1 Kazuistika č. 1

Výjezdová skupina obdržela výzvu k výjezdu k pacientce, která asi hodinu nevychází ze sprchy se zabudovanou karmou. Pacientku našla spolubydlící, jak sedí ve sprchovém koutě s kvantitativní poruchou vědomí.

Anamnéza:

AA: Neudává.

FA: Neudává.

OA: Zdravá.

NO: Dle spolubydlící asi hodinu nevycházela ze sprchy, nalezena sedící ve sprchovém koutě.

SP: Při příjezdu ZZS je pacientka nalezena ve sprchovém koutě v bezvědomí, vytažena do vedlejší větrané místnosti, GSC 6 (4-1-1), zornice mydriatické, fotoreakce + +, dýchání spontánní, mělké, AS pravidelná, oběhově stabilní, břicho měkké, v sanitě se probouzí do plného vědomí. U pacientky přetrvává nauzea, je dezorientována, bolest neguje, je přítomen třes pro hypotermii, křeče nebyly, hladina glykémie nezměřena. Naměřená hodnota COHb 51 %, indikace k HBO. Závažnost dle hodnotící stupnice naléhavosti NACA – IV.

Naměřené hodnoty na místě: TK 166/84, P 125/min, SpO₂ 92 %, DF 8/min, GCS 4-1-1.

Hodnoty při předání zdravotnickému zařízení: TK 154/80, P 117/min, SpO₂ 97 % DF 20/min, GCS 4-3-5.

Th: Podán kyslík 6 l/min polomaskou, žilní vstup nelze zavést pro zkolabované řečiště (hypotermie?), zahřátí termofolií a dekou.

Dg: T.58 otrava CO, T.68 Hypotermie

Objektivní nález ve zdravotnickém zařízení s hyperbarickou komorou: Pacientka při vědomí, výrazně zmatená, trpí amnézií, KP kompenzována, bez známek jakéhokoliv úrazu, zvrací, spontánní ventilace sufficientní, orientačně neurologicky bez paréz a lateralizace. Vstupní naměřené hodnoty: TK 156/85 mmHg, P 116/min, SpO₂ 94 %. V rámci terapie podán Torecan 1 amp i.m. Provedena hyperbarická oxygenoterapie trvající 2 hodiny pro vysokou hodnotu COHb v krvi a poruchu vědomí. Pacientka snesla výkon dobře, bez komplikací, bolest nekuje, nauzea odezněla, pacientka je v dobré náladě. Po vystavení HBO je hladina COHb 3,5 %. Následuje překlad k observaci pacientky na metabolickou JIP FN Motol.

Zhodnocení postupu:

Výjezdová skupina správně diagnostikovala otravu CO a postupovala dle doporučených postupů.

- Vynesení pacientky ze zamořeného prostředí do větrané místnosti
- V rámci vyšetření byl správně aplikován kyslík pro zlepšení oxygenace s následným vzestupem SpO₂ a návratem vědomí
- Symptomaticky zahájena podpůrná terapie, zahřátí pomocí termofolie

Na základě hyperbarické léčby došlo k rychlému a efektivnímu snížení koncentrace COHb, toxického působení CO, a tím i k redukci potencionálního rizika pozdních neurologických příznaků. Hyperbarická léčba byla úspěšná.

5.2 Kazuistika č. 2

Výjezdová skupina přijala výzvu k pacientce v bezvědomí, nalezena členem rodiny v koupelně.

Anamnéza:

AA: Nezjištěno.

FA: Nezjištěno.

OA: DM II. typu, dle syna rozvíjející se Alzheimerova choroba.

NO: Pacientka se byla vykoupat, dle člena rodiny náhle „odpadla“ v malé nevětrané koupelně. Členem rodiny přemístěna do vedlejší místnosti.

SP: Při příjezdu se pacientka již probírá, nekomunikuje, má růžové tváře. HZS naměřil vysokou koncentraci CO ve vzduchu. Pulzní hodnoty COHb v krvi 46-49 %. Pacientka bolesti hlavy neguje, je přítomno vertigo a nauzea, komunikace se postupně zlepšuje. Dýchání sklípkové čisté, kašel, mechanika dýchání dobrá, přetrvávající nauzea, kůže červená, má normální vlhkost, kapilární návrat pod 2 sekundy, bez otoků, neurologicky bez patologie, bolesti neguje. Po telefonické konzultaci se specializovaným pracovištěm indikována k HBO. Vyhodnoceno dle stupnice NACA – V., přímé ohrožení života.

Naměřené hodnoty na místě: TK 140/80, P 97/min, SpO₂ 82 %, DF 16/min, GCS 4-2-5, glykémie 12,4 mmol/l.

Hodnoty při předání zdravotnickému zařízení: TK 140/95, P 97/min, SpO₂ 99 %, DF 16/min, GCS 4-4-6.

Na EKG záznamu sinusový rytmus s komorovými extrasystolami, bigeminie.

Th: Aplikován kyslík polomaskou, zavedení žilní linky a podání F 1/1 250 ml. Terapie arytmie neuvedena.

Dg: T.58 Toxický účinek oxidu uhelnatého

Objektivní nález ve zdravotnickém zařízení s hyperbarickou komorou: Pacientka je při příjmu při vědomí, orientovaná, spolupracuje. Pacientka zvrací – podán Ondasetron. Vstupní hodnoty TK 150/90, SpO₂ 94 % s kyslíkovou polomaskou, EKG P 88/min. Na oddělení je provedena analýza krevních plynů, kde je hodnota COHb 32 %. Provedena expozice HBO v délce trvání 90 minut za přetlaku 1,5 ATA. Pacientka v průběhu expozice stabilní, bez komplikací, výstupní hladina COHb 2,9 %. Dále je pacientka hospitalizována k observaci do dalšího dne.

Zhodnocení postupu:

Výjezdová skupina postupovala dle doporučených postupů a nebyly nalezeny žádné zásadní odchylky. Pacientčin stav správně vyhodnotila jako toxický účinek CO.

- Pacientka byla přemístěna z nevětrané místnosti členem rodiny před příjezdem ZZS
- Při vyšetření podán kyslík polomaskou dle doporučených postupů s následným zlepšením SpO₂ a nastává zlepšení komunikace pacientky
- V rámci symptomatické léčby byla zavedena žilní linka a podán fyziologický roztok pro oběhovou stabilitu

Stejně jako v předchozím případě došlo během HBO k rychlému úbytku COHb v krvi a odeznění neurologických příznaků. Hyperbarickou léčbu lze na základě rychlé eliminace CO z krve a zlepšení klinického stavu pacienta prohlásit za úspěšnou.

5.3 Kazuistika č. 3

Výjezdová skupina přijala výzvu k výjezdu k pacientovi v bezvědomí.

Anamnéza:

AA: Nelze zjistit.

FA: Nelze zjistit.

OA: Nelze zjistit.

NO: Pacient pracuje jako noční hlídač stavby, nyní nalezen zaměstnanci sedící v osobním automobile, ve kterém hořela slabým plamenem propanbutanová bomba.

SP: Pacient nalezen posádkou RZP sedící s předkloněnou hlavou, cyanotický nebyl, po záklonu hlavy SpO₂ 93 %. Pacient vyproštěn z vozu. Pacient bez traumatických známek, bez cyanózy, SpO₂ 94 % při inhalaci kyslíku maskou, zornice izokorické, mióza bez fotoreakce, bulby ve středním postavení, narůžovělá barva kůže a sliznic, kapilární návrat pod 2 sekundy, na oslovení ani algický podnět nereaguje, AS pravidelná, mírná tachykardie, dýchání sklípkové bez vedlejších fenoménů, pozvracený ani pomočený nebyl, břicho měkké, prohmatné, dolní končetiny bez otoků a známek tromboembolické nemoci. Vzhledem ke stavu vědomí přistoupeno k orotracheální intubaci a podán 100 % kyslík, na EKG sinusový rytmus s depresiemi ST úseku. Během transportu se hodnoty COHb pohybují mezi 32-37 %, indikace k HBO. Transport bez komplikací. Dle hodnotící stupnice NACA – IV., potenciální ohrožení života.

Naměřené hodnoty na místě: TK 149/80, P 112/min, SpO₂ 94 %, DF 15/min, GCS 1-1-1, glykémie 21,7 mmol/l.

Hodnoty při předání zdravotnickému zařízení: TK 123/64, P 92/min, SpO₂ 97 %, DF 10/min (UPV), GCS 1-1-1.

Th: Aplikován kyslík, zajištění žilní linky a podán F 1/1 250 ml, Sufenta 0,01 mg i.v., Midazolam 5,0 mg i.v., Degan 10 mg i.v., udržovací infuze.

Dg: R.402 Bezvědomí – kóma NS, T.58 otrava CO

Objektivní nález ve zdravotnickém zařízení s hyperbarickou komorou: U pacienta trvá porucha vědomí, na algický podnět extenze končetiny, v PNP sedace, na oddělení kontrolní COHb v krvi 25,9 %, TK 80/50, centralizace oběhu. Žilní vstupy zajištěny, provedena paracentéza (ORL lékař). Nadále nutná podpora sympatomimetiky, noradrenalin 0,1 ug/kg/min. Před expozicí HBO podána sedace (Midazolam + Arduan 8 mg jednorázově). Léčba HBO v délce 90 minut při 1,5 ATA v 100 % kyslíku. Hladina COHb po expozici pacienta v hyperbarické komoře je 4,2 %. Nadále u pacienta přetrvává sedace, pacient je neurologicky nehodnotitelný, sympatomimetická podpora dle potřeby. Zajištěn překlad k hospitalizaci na Klinikou anesteziologie, resuscitace a intenzivní medicíny IKEM.

Zhodnocení postupu:

Při porovnání doporučených postupů s postupem výjezdové skupiny nebyly nalezeny významné nedostatky a výjezdová skupina se řídila doporučenými postupy. Pacientův stav byl správně vyhodnocen jako otrava CO.

- Přerušeno působení toxického účinku CO u pacienta vyproštěním z auta
- Vzhledem k hlubokému bezvědomí bylo přistoupeno k orotracheální intubaci (OTI) a řízené plicní ventilaci o vysoké frakci kyslíku dle doporučených postupů
- Zahájena symptomatická léčba, zavedena žilní linka, podán fyziologický roztok pro oběhovou podporu, v souvislosti s OTI sedace pacienta

HBO urychlila eliminaci CO z krve. Došlo tak k rychlejší reoxygenaci hypoxických tkání. Léčba v hyperbarické komoře byla úspěšná.

5.4 Kazuistika č. 4

Výjezdová skupina obdržela výzvu k výjezdu k pacientce v bezvědomí, pacientka nalezena manželem ve vaně.

Anamnéza:

AA: Nezjištěno.

FA: Doxium 500 mg, Moduretic, Lokren 20 mg, KCl, Anopyrin 100 mg.

OA: Hypertenze.

NO: Nahlášeno bezvědomí u pacientky ve vaně. Dle manžela se šla pacientka koupat, voda ve vaně byla horká. V koupelně mají karmu. Nalezena ve vaně polosedící v hlubokém bezvědomí. Přivolána ZZS. Pobyť pacientky v koupelně 15-20 minut, délka bezvědomí nezjištěna.

SP: Při příjezdu pacientka nalezena ležící v polosedě v uzavřené koupelně s karmou. Bezvědomí s GCS 3, SpO₂ 73 %. Pacientka vytažena z vany a přenesena do větrané místnosti. U pacientky přetrvává porucha vědomí s GCS 3, spontánní ventilace s nedostatečnou oxygenací, SpO₂ 73 %, glykémie 12,8 mmol/l. Přistoupeno k orotracheální intubaci a řízené ventilaci 100 % kyslíkem. Hlava: zornice izokorické, bez reakce, šířka zornic 2 mm. Hrudník: dýchání alveolární, ojediněle vrzoty, AS pravidelná. Břicho: měkké, prohmatné, nebolestivé. Dolní končetiny: bez otoků, známky chronické žilní insuficience. Neurologicky: přetrvává hluboké bezvědomí, bez reakce na bolest. Dle HZS je naměřená koncentrace CO ve vzduchu 100ppm a více.

Na EKG viditelné deprese ST úseku, ve svodech II, III, V5, V6, aVL, negativní vlna ve V1.

Naměřené hodnoty na místě: TK 128/86, P 96/min, SpO₂ 73 %, DF 18/min, GCS 1-1-1, glykémie 12,8 mmol/l, TT 36,1 °C.

Hodnoty při předání zdravotnickému zařízení: TK 115/70, P 95/min, SpO₂ 95 %, DF 12/min, GCS 1-1-1.

Th: UPV se 100 % kyslíkem, periferní žilní katétr 18 G PHK, Dormicum 5 mg i.v., Succinylcholinjodid 100 mg i.v., F 1/1 100 ml i.v., F 1/1 500 ml i.v., Arduan 8 mg i.v., močový katétr (vel. 18).

Dg: Bezvědomí nejasné etiologie (HZS naměřil vysokou koncentraci oxidu uhelnatého v ovzduší - otrava CO?), hypertenze

Pacientka předána do spádové Nemocnice Litomyšl, bez naměřené hodnoty COHb v krvi. Zde reakce na odsávání z dýchacích cest. Naměřená hladina COHb v krvi je 31 %. Tato koncentrace je současně s poruchou vědomí indikací k hyperbarické léčbě. Proto je domluven převoz k HBO v Nemocnici Na Homolce.

Objektivní nález ve zdravotnickém zařízení s hyperbarickou komorou: Při předání pacientky k HBO v Nemocnici Na Homolce trvá porucha vědomí, GSC 6, pacientka cíleně reaguje, neurologicky bez lateralizace. Pacientka byla při převozu sedována. Hlava: zornice izokorické, miotické, reakce nehodnotitelná, spojivky klidné, skléry bílé. Krk: šije volná, karotidy tepou symetricky, dilatace krčních žil. Hrudník: symetrický, dechové exkurze souměrné. Ventilace spontánní, dýchání sklípkové s vrzoty vlevo, zajištění dýchacích cest OTI s řízenou ventilací. Oběh: srdce pokleповě nezvětšeno, akce pravidelná, TK 105/60, P 68/min. Břicho: měkké, prohmatné, peristaltika přítomna, jinak bez nálezu. Končetiny: bez otoků nebo známek zánětu, pulsace do periferie hmatné. Na oddělení před provedením HBO změřena hladina COHb 11,9 %, provedena expozice v délce 60 minut a přetlakem 1,5 ATA. Sedace: Dormicum 20 mg. Koncentrace COHb po skončení léčby 3,5 %. Po expozici podána 1 amp Anexate i.v. Pacientka na výzvu otevírá oči, vyplázne jazyk.

Po extubaci je pacientka soporózní s adekvátní odpovědí vzhledem k celkovému stavu. Pro převoz zpět na ARO Nemocnice Litomyšl pacientka opět zaintubována.

Zhodnocení postupu:

Výjezdová skupina při vyšetření a ošetření pacientky postupovala v rámci svých možností dle doporučených postupů. I bez změření hodnoty COHb v krvi byl pacientčin stav diagnostikován správně jako suspektní otrava CO.

- Pacientka byla dle doporučených postupů přenesena do větrané místnosti
- Pro přetrvávající poruchu vědomí bylo přistoupeno k OTI a řízené ventilaci se 100 % kyslíkem, došlo k zvýšení SpO₂ na fyziologickou hodnotu, přetrvává hluboké bezvědomí
- Zahájena symptomatická léčba tekutinovou podporou, pacientka sedována, zavedení permanentního močového katétru

V rámci PNP nebyla u pacientky změřena hladina COHb v krvi, což bylo pravděpodobně zapříčiněno chybějícím CO-oxymetrem ve vybavení sanitního vozu. HZS však změřil vysokou přítomnost CO v ovzduší koupelny (přes 100ppm), čímž byla prokázána jeho přítomnost a pravděpodobná příčina pacientčina stavu.

Léčba HBO byla v tomto případě indikována až po převozu do zdravotnického zařízení, kde byla naměřena vysoká hladina COHb v krvi a pro přetrvávající bezvědomí byla pacientka po konzultaci letecky transportována k léčbě v hyperbarické komoře. Další možnou příčinou, proč byla pacientka převezena nejdříve do bližšího zdravotnického zařízení mohl být i celkový stav pacientky.

Po převozu a proběhlé HBO byla výsledná hladina COHb v krvi 3,5 %. Pacientka se začala probouzet a reagovat adekvátně k jejímu stavu. Došlo tedy k úspěšnému postupnému návratu vědomí. Hyperbarická léčba byla úspěšná.

5.5 Kazuistika č. 5

Výjezdová skupina přijala výzvu k výjezdu k pacientovi, který pracoval celý den v automobilové dílně, pro nespecifické neurologické obtíže. Pacient toho času při vědomí.

Anamnéza:

AA: Neudává.

FA: S ničím se neléčí.

OA: Stav po operaci slepého střeva.

NO: Jako automechanik pracoval dnes celý den v dílně. Bylo nastartované auto, ale odvětrávalo se. Dle pacienta ho začaly kolem poledne hrozně bolet nohy, šel si odpočinout ven a přešlo to. Kolem půlnoci chtěl jít domů, ale začala se mu silně točit hlava, neudržel se na nohou. Plazil se ven, tah k jedné straně nedokáže posoudit, píchalo ho pod levými žebry. Podařilo se mu zavolat manželce, která přijela a zavolala ZZS.

SP: Při příjezdu zdravotnické záchranné služby pacient sedí venku a hyperventiluje, bez dušnosti, je při vědomí, nauzeu a zvracení neguje, přetrvává motání hlavy, dysartická řeč, jinak pacient orientovaný, opocný. U pacienta přetrvává nekoordinovaný třes horních i dolních končetin, jsou přítomny svalové záškuby. Hlava bez známek traumatu, zornice izokorické, miotické, překrvené spojivky, jazyk plazí středem. Karotidy tepou symetricky. Pacient se posadí s pomocí. Dýchání bilaterální bez vedlejších fenoménů. Akce srdeční pravidelná, rychlá, bez šelestu. Břicho měkké, prohmatné. Dolní končetiny bez otoků. Pacient bolest neguje. Hladina COHb na místě nezměřena.

Na EKG negativní vlna T ve svodech III a VI.

Naměřené hodnoty na místě: TK 110/90, P 100/min, SpO₂ 97 %, DF 26/min.

Hodnoty při předání zdravotnickému zařízení: TK 135/70, P 100/min, SpO₂ 95 %, DF 18/min, TT 36,7 °C.

Th: Aplikován kyslík polomaskou, zavedena žilní linka, podán Midazolam 2 mg i.v., tekutinová podpora F 1/1 250 ml i.v.

Dg: suspektní intoxikace oxidem uhelnatým

ZZS převáží pacienta do spádové Oblastní nemocnice Příbram pro suspektní intoxikaci výfukovými plyny. Zde naměřena hladina COHb 26 %. Po telefonické konzultaci s ARO Nemocnice Na Homolce dojednáán převoz k HBO vzhledem k neurologické symptomatologii.

Objektivní nález ve zdravotnickém zařízení s hyperbarickou komorou: Pacient při předání k HBO v Nemocnici Na Homolce při vědomí, orientovaný, spolupracující, bez známek lateralizace, eupnoe. Hlava: zornice izokorické, fotoreakce ++, skléry bílé, spojivky růžové, jazyk plazí středem. Krk: šije volná, náplň žil nezvýšena, karotidy tepou symetricky. Hrudník: symetrický, poklep jasný plný, dýchání sklípkové, ventilace přes masku SpO₂ 99 %. Akce srdeční pravidelná TK 130/90, P 100/min. Břicho měkké prohmatné, bez rezistence, peristaltika poslechově přítomna, jinak bez nálezů. Končetiny bez otoků, drobné varixy, pulsace do periferie hmatná. U pacienta přetrvává třes. Pacient umístěn do hyperbarické komory na dobu 2 hodin. Konečná hladina COHb 1,2 % a ústup třesu horních končetin. Překlad zpět do Oblastní nemocnice Příbram.

Zhodnocení postupu:

Výjezdová skupina se v PNP řídila doporučenými postupy v péči o pacienta intoxikovaného CO, kdy pacientův stav po vyšetření diagnostikovala jako suspektní otravu CO.

- Pacient nalezen venku před dílnou, tím bylo zabráněno dalšímu působení CO
- Pacientovi byl aplikován kyslík polomaskou, následně došlo k úpravě a redukci hyperventilace
- Dále byla pacientovi zavedena žilní linka a podána tekutinová podpora, pacientovi byl pro přetrvávající svalové záškuby a třes podán myorelaxans

V PNP nebyla u pacienta změřena hladina COHb v krvi. Příčinou byl pravděpodobně chybějící CO-oxymetr ve vybavení sanitního vozu.

Hladina COHb byla proto změřena až po převozu do spádového zdravotnického zařízení, kde byla naměřena hodnota COHb v krvi 26 %. Následovala telefonická konzultace se specializovaným pracovištěm s hyperbarickou komorou a pacient byl indikován k převozu a léčbě HBO.

Po proběhlé léčbě v hyperbarické komoře je pacientovi naměřena výsledná hodnota COHb v krvi 1,2 %. Po skončení léčby došlo u pacienta k ústupu třesu končetin a pacient nejeví žádné známky proběhlé otravy. Hyperbarická léčba úspěšně snížila hladinu COHb v krvi na fyziologickou hodnotu a došlo k vymizení neurologických příznaků otravy CO.

6 DISKUZE

1. Zhodnocení vyšetření a směřování pacientů v PNP do hyperbarické komory

V rámci hodnocení jednotlivých kazuistik nebyly nalezeny při ošetřování pacientů žádné významné odchylky s doporučenými postupy ČSHLM. Z výše vyhodnocených kazuistik je tedy možné usoudit, že výjezdové skupiny postupují v PNP při péči o pacienty postižené intoxikací CO dle platných doporučených postupů vydaných ČSHLM. Všechny výjezdové skupiny ZZS z hodnocených kazuistik vyprostily pacienta mimo vliv toxického účinku CO, zavedly kyslíkovou terapii a s ohledem na daný stav pacienta byla zavedena vhodná terapie pro zlepšení klinického stavu pacienta.

Ve všech případech byla správně klinicky stanovena diagnóza otravy CO. V souladu s názorem Heřmana: *„Základem správné diagnostiky je samotné pomyšlení na tento druh otravy. Stanovení oxidu uhelnatého není rutinní součástí diagnostických postupů a musíme ho cíleně indikovat.“* [33]

Ve dvou případech nebyla změřena hladina COHb v krvi na místě zásahu. Příčinou byl pravděpodobně chybějící měřicí přístroj hladiny COHb v krvi ve vybavení sanitního vozu. Tuto skutečnost potvrzuje ve svém článku Heřman: *„Pulzní CO-oxymetrie, jak jsme zjistili, ale není součástí všech zdravotních záchranných služeb (ZZS), ani každé výjezdové jednotky. Dle našeho dotazníkového šetření je totiž využívána jen v pěti krajích České republiky, v dalších pěti krajích využívána není, ve zbylých se tyto informace nepodařilo zjistit.“* [33] Je důležité zmínit, že i přes nemožnost změření hladiny COHb v krvi postupovaly výjezdové skupiny systematicky a dle varovných signálů jednaly, jako by se jednalo o prokázanou otravu CO. V prvním případě došlo k změření vysoké koncentrace CO ve vzduchu HZS, což je nutné brát jako varovný signál pro možnou intoxikaci osob v daném prostředí. Ve druhém případě se jednalo o výjezd k pacientovi, který celý den pracoval v automobilové

dílně, kde je vyšší riziko nadýchání zplodin výfukových plynů a mohlo tak dojít k otravě CO.

V obou výše zmíněných případech došlo ke směřování pacienta nejdříve do spádového zdravotnického zařízení a až následně byla indikována léčba v hyperbarické komoře. Tato skutečnost mohla být v prvním případě ovlivněna především i celkovým stavem pacientky, která byla i po odstranění působení CO a řízené ventilaci se 100 % kyslíkem stále v hlubokém bezvědomí a mohla být nutná celková stabilizace před případným transportem k HBO. Ohled by měl být brán i na neznámou hladinu COHb v krvi. V druhém případě byl naopak pacient při vědomí a projevovaly se nespecifické neurologické příznaky bez poruchy vědomí, které mohly být zapříčiněny i jiným onemocněním. Heřman tuto skutečnost potvrzuje: „*Nicméně nespecifické symptomy a okolnosti otravy často vyžadují širší diagnostiku k vyloučení jiných příčin daných symptomů.*“ [33] V zdravotnickém zařízení byl pacient znovu vyšetřen a byla naměřena vysoká hladina COHb v krvi, která je v souvislosti s abnormálním neurologickým nálezem indikací k léčbě HBO. Tyto případy, kdy došlo nejdříve k směřování do zdravotnického zařízení bez možnosti HBO však mohly být zásadně ovlivněny právě tím, že se nestaly v blízkosti žádné hyperbarické komory.

Jak dále uvádí Heřman je v České republice 14 pracovišť s možností HBO. Vzájemně se však liší nejen provozní dobou, ale i kapacitou a technickým vybavením. Základním požadavkem pro využití hyperbarické komory v urgentní medicíně je nepřetržitý provoz a současně s tím možnost poskytnutí péče o kriticky nemocné pacienty, kteří mohou potřebovat nepřetržitou monitoraci vitálních funkcí, případně UPV. Výsledkem těchto omezení je nerovnoměrné pokrytí území České republiky, kdy 7 pracovišť splňuje podmínku pro nepřetržitý provoz a z toho pouze 5 pracovišť je uzpůsobeno pro přijetí ventilovaného pacienta. Jedná se o následující zdravotnická zařízení: Oblastní nemocnice Kladno (Středočeský kraj), Nemocnice na Homolce (Praha), Krajská nemocnice Liberec (Liberecký kraj), Masarykova

nemocnice v Ústí nad Labem (Ústecký kraj) a Fakultní nemocnice Ostrava (Moravsko-slezský kraj). Z výše uvedeného je zcela jasné, že HBO není ve všech krajích dostupná. [33]

Ve zbylých třech případech bylo směřování pacientů z místa zásahu přímo do specializovaného zařízení s možností HBO. V jednom případě byla provedena telefonická konzultace se specializovaným pracovištěm. Přímým směřováním k HBO z místa zásahu byla urychlena eliminace CO z organismu, čímž byla i zkrácena doba vystavení tkání hypoxii a omezeno riziko vzniku pozdních neurologických příznaků. Toto tvrzení nám potvrzuje i Doležal: *„Výsledky srovnávacích analýz a klinických studií mezi normo a hyperbarickou oxygenoterapií otrav CO jednoznačně potvrzují pozitivní účinek HBO ve srovnání s léčbou normobarickou. Léčení intoxikací CO pomocí HBO se zabrání neurologickým reziduím,...“*. [29] Je však také nutné podotknout, že tyto případy vznikly na území hl. m. Prahy, kde je na rozdíl od některých jiných krajů na území ČR dostupnost hyperbarické komory okamžitá.

Po zahájení HBO dochází u pacientů úspěšně nejen k rychlému uvolnění CO z vazby na hemoglobin, ale také ke zlepšení neurologické symptomatologie. Je tedy možné prohlásit, že léčba hyperbarickým kyslíkem je pro organismus plně indikovaná.

2. Optimalizace postupu zdravotnického záchranáře v PNP v péči o pacienta intoxikovaného CO

Dle výše uvedených kazuistik a jejich zhodnocení je zřejmé, že v rámci PNP jednají výjezdové skupiny ZZS dle platných doporučených postupů. Avšak správně diagnostikovat otravu CO v PNP a pacienta směřovat do vhodného zdravotnického zařízení může být v některých případech obtížné.

Jedná se především o nepřítomnost CO-oxymetru ve vybavení některých sanitních vozů, což potvrzuje Heřman: *„Pulzní CO-oxymetrie, jak jsme zjistili, ale není součástí všech zdravotních záchranných služeb (ZZS), ani každé výjezdové jednotky. [33]* Tím je i omezená možnost verifikace diagnózy v PNP a vhodné směrování pacienta.

Jako další nevýhodu pro směrování pacienta do hyperbarické komory je její omezená dostupnost. Jak již bylo zmíněno výše, rozmístění komor není ideální a pro některé kraje/okresy je hyperbarická komora téměř nedostupná. V takovém případě je možné se řídit doporučením Remeše: *„Vždy je možné směrování a léčbu telefonicky konzultovat s příslušným pracovištěm.“ [25]*

Pro zlepšení diagnostiky a směrování pacientů postižených otravou CO, autor této práce navrhuje následnou optimalizaci:

- Zajistit vybavení všech sanitních vozů CO-oxymetry
- Využívat telefonických konzilií se specializovaným pracovištěm s HBO již na místě zásahu v PNP

Ke zvážení je i případná výstavba nových hyperbarických komor pro lepší dostupnost hyperbarické léčby urgentních stavů, avšak: *„Snaha o vyšší počet barokomor na území Moravy je spíše předmětem opakovaných diskuzí pojišťoven a nemocnic než vlastního řešení.“ [33]*

7 ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá možnostmi využití hyperbarické komory v urgentní medicíně, jmenovitě jejího využití u otrav oxidem uhelnatým. Dále hodnotí diagnostický postup, léčbu a směrování pacientů v přednemocniční neodkladné péči.

Teoretická část stručně shrnuje vývoj hyperbarické medicíny a principy vlivu hyperbarické oxygenoterapie. Zvláštní pozornost je věnována kyslíku jako respiračnímu plynu. Zároveň jsou popisovány technické aspekty hyperbarické komory, indikace a kontraindikace hyperbarické léčby, její průběh a možné komplikace. Závěr teoretické části je věnován intoxikaci oxidem uhelnatým.

V praktické části jsou zhodnoceny postupy výjezdových skupin zdravotnické záchranné služby k pacientům postižených intoxikací oxidem uhelnatým, kteří byli na základě doporučených postupů ČSHLM indikováni k hyperbarické léčbě. Dále je navržena optimalizace postupu zdravotnického záchranáře za účelem správné diagnózy otravy oxidem uhelnatým a rychlého směrování pacienta k hyperbarické oxygenoterapii.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ATA	atmosféra technická absolutní
amp	ampule
ARO	Anesteziologicko-resuscitační oddělení
AS	akce srdeční
CNS	centrální nervová soustava
CO	oxid uhelnatý
COHb	karboxylhemoglobin
ČSHLM	Česká společnost hyperbarické a letecké medicíny
DF	dechová frekvence
DM	diabetes mellitus
EKG	elektrokardiograf
F 1/1	fyziologický roztok
FiO ₂	frakce kyslíku
GCS	Glasgow Coma Scale
HBO	hyperbarická oxygenoterapie
HZS	Hasičský záchranný sbor

IKEM	Institut klinické a experimentální medicíny
i.m.	intramuskulární
i.v.	intravenózní
KCl	chlorid draselný
KPR	kardiopulmonální resuscitace
l	litr
mmHg	milimetr sloupce rtuti
NACA	National Advisory Committee for Aeronautics
OTI	orotracheální intubace
P	puls
Pa	Pascal
kPa	kilo Pascal
mg	miligram
ml	mililitr
mmol	milimol
MPa	mega Pascal
např.	například

P	puls
PEEP	Positive End-Expiratory Pressure
PNP	přednemocniční neodkladná pomoc
ppm	parts per million
RZP	rychlá zdravotnická pomoc
Sb.	Sbírky
SpO ₂	saturace hemoglobinu kyslíkem
TK	tlak krve
TT	tělesná teplota
tzv.	takzvaně
UPV	umělá plicní ventilace
ZOS	zdravotnické operační středisko
ZZS	zdravotnická záchranná služba

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. JAIN, K. K. *Textbook of hyperbaric medicine*. 5th rev. and updated ed. Cambridge, MA: Hogrefe, c2009. ISBN 0889373612.
2. HÁJEK, Michal. *Hyperbarická medicína*. Praha: Mladá fronta, 2017. Aeskulap. ISBN 978-80-204-4235-2.
3. MATHIEU, Daniel. *Handbook on hyperbaric medicine*. Dordrecht, The Netherlands: Springer, c2006. ISBN 1-4020-4376-7.
4. BARCAL, R. EMMEROVÁ, M. HADRAVSKÝ, M. *Hyperbarie a hyperbarická oxygenoterapie*. 1.vyd. Plzeň: Vydavatelství V. Kuna, 2000. 122s. ISBN 80-902017-7-6.
5. EMMEROVÁ, Milada a kol. *Vznik oboru hyperbarická medicína a oxygenoterapie v České republice a jeho význam v současné humánní vědě*. Pracovní lékařství. 2007, **59**(1-2), 27-34.
6. HÁJEK, Michal a kol. *Hyperbarická medicína v České republice-aktuální pohled*. Pracovní lékařství. 2015, **67**(2), 61-70.
7. NAŇKA, Ondřej, Miloslava ELIŠKOVÁ a Oldřich ELIŠKA. *Přehled anatomie*. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Galén, c2009. ISBN 978-80-7262-612-0.
8. ČIHÁK, Radomír. *Anatomie*. Třetí, upravené a doplněné vydání. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-802-4738-178.
9. DYLEVSKÝ, Ivan. *Funkční anatomie*. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-3240-4.
10. ROKYTA, Richard. *Fyziologie*. Třetí, přepracované vydání (první vydání v nakladatelství Galén). Praha: Galén, 2016. ISBN 978-80-7492-238-1.
11. MOUREK, Jindřich. *Fyziologie: učebnice pro studenty zdravotnických oborů*. 2., dopl. vyd. Praha: Grada, 2012. Sestra (Grada). ISBN 978-80-247-3918-2.
12. ROKYTA, Richard. *Fyziologie a patologická fyziologie: pro klinickou praxi*. Praha: Grada Publishing, 2015. ISBN 978-80-247-4867-2.

13. SILBERNAGL, Stefan a Agamemnon DESPOPOULOS. *Atlas fyziologie člověka*. 6. vyd., zcela přeprac. a rozš., Vyd. 3. české. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-0630-X.
14. KUCUKODUK, Ismail. *Oxygen Toxicity After Hyperbaric Oxygen Therapy*. Gazi Medical Journal. 2010, **21**(1), 3.
15. KAPOUNOVÁ, Gabriela. *Ošetřovatelství v intenzivní péči*. Praha: Grada, 2007. Sestra (Grada). ISBN 978-80-247-1830-9.
16. Typy, rozdělení a vybavení hyperbarických komor, způsoby aplikace kyslíku. *Mnof.cz* [online]. [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.mnof.cz/klinicka-oddeleni/centrum-hyperbaricke-mediciny/typy-rozdeleni-a-vybaveni-hyperbarickych-komor-zpusoby-aplikace-kysliku/>
17. HADANNY, Amir. *The safety of hyperbaric oxygen treatment: Retrospective analysis*. Undersea and Hyperbaric Medicine. 2016, **43**(2), 113-114.
18. HADANNY, Amir. *Seizures during hyperbaric oxygen therapy: Retrospective analysis*. Undersea and Hyperbaric Medicine. 2016, **43**(1), 22.
19. DOBIÁŠ, Viliam. *Prednemocničná urgentná medicína*. Martin: Osveta, 2007. ISBN 978-80-8063-255-7.
20. VIDUNOVÁ, Jana. Co takhle CO?. *Akutne.cz* [online]. Brno, 2014 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.akutne.cz/res/publikace/co-takhle-co.pdf>
21. Otrava oxidem uhelnatým. *Stefajir.cz* [online]. [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.stefajir.cz/?q=otrava-oxidem-uhelnatym>
22. BYDŽOVSKÝ, Jan. *Akutní stavy v kontextu*. Praha: Triton, 2008. ISBN 978-80-7254-815-6.
23. HÁJEK, Michal. Diagnostický a léčebný standard otravy oxidem uhelnatým. *Společnost urgentní medicíny a medicíny katastrof: Česká lékařská společnost Jana Evangelisty Purkyně* [online]. 2009 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: https://www.urgmed.cz/postupy/cizi/2009_co.pdf

24. HÁJEK, Michal. Otrava CO. *Akutne.cz* [online]. 2011 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.akutne.cz/res/publikace/otrava-co-hajek-michal.pdf>
25. REMEŠ, Roman a Silvia TRNOVSKÁ. *Praktická příručka přednemocniční urgentní medicíny*. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4530-5, str. 192.
26. ŠEBLOVÁ, Jana a Jiří KNOR. *Urgentní medicína v klinické praxi lékaře*. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4434-6.
27. KMECOVÁ, A., M. ŠANTA a L. ARVAY. *Úlohy se stry pri hyperbarickej oxygenoterapii*. Unipo.sk [online]. Prešov, 2007 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: http://www.unipo.sk/public/media/files/docs/fz_veda/svk/dokument_81_29.pdf
28. ŠEVČÍK, Pavel, Vladimír ČERNÝ a Jiří VÍTOVEC. *Intenzivní medicína*. 2., rozš. vyd. Praha: Galén, c2003. ISBN 80-7262-203-X.
29. DOLEŽAL, Vladimír. *Hyperbarická oxygenoterapie*. *Postgraduální medicína*. 2003, 5(4), 398-400.
30. POKORNÝ, Jan. *Respirační fyziologie 1*. [Přednáška]. Kladno: ČVUT v Praze, 2015
31. POKORNÝ, Jan. *Respirační fyziologie 2*. [Přednáška]. Kladno: ČVUT v Praze, 2015
32. Fotoarchív. *Mnof.cz* [online]. [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.mnof.cz/klinicka-oddeleni/centrum-hyperbaricke-mediciny/venovani-podekovani-fotoarchiv/>
33. HEŘMAN, Tomáš. *Současný pohled na otravy oxidem uhelnatým v České republice*. *Praktický lékař*. 2018, 98(1), 26-30.

10 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. 1 Disociační křivka hemoglobinu pro kyslík	25
Obr. 2 Jednomístná komora.....	31
Obr. 3 Vícemístná komora	32

11 SEZNAMU POUŽITÝCH TABULEK

Tab. 1 Ostravská klasifikace	39
------------------------------------	----