

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
BIOMEDICÍNSKÉHO  
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ  
PRÁCE**

**2018**

**JAN  
DALECKÝ**



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

Fakulta biomedicínského inženýrství  
Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva

**Použití ventilačních přístrojů v přednemocniční neodkladné péči**

**Use of Ventilation Devices in Emergency Care**

Bakalářská práce

Studijní program: Specializace ve zdravotnictví  
Studijní obor: Zdravotnický záchranář

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

**Jan Dalecký**

---

**Kladno, květen 2018**

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

Student: **Jan Dalecký**  
Obor: Zdravotnický záchranář  
Téma: **Použití ventilačních přístrojů v přednemocniční neodkladné péči**  
Téma anglicky: Use of Ventilation Devices in Emergency Care

**Z á s a d y   p r o   v y p r a c o v á n í :**

Předmětem této bakalářské práce bude sestavení postupů pro zdravotnického záchranáře při léčbě respirační insuficience včetně obsluhy ventilačních přístrojů, režimů a jejich uplatnění v přednemocniční neodkladné péči.

Teoretická část bude pojednávat o respirační insuficienci, jejím členění, klinických projevech, vzniku a vlivu na organismus. Dalším předmětem bude popis pomůcek k zajištění průchodnosti dýchacích cest a charakterizovány standardní režimy umělé plicní ventilace.

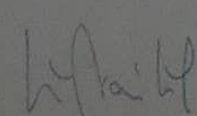
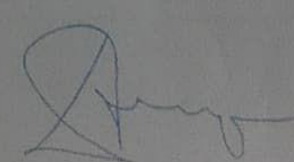
V praktické části bude proveden průzkum použití ventilátorů na krajských záchranných službách se zaměřením na typy ventilátorů, jejich technické parametry a indikace se zaměřením na optimalizaci použití ventilátorů v přednemocniční neodkladné péči.

**Seznam odborné literatury:**

- [1] DOSTÁL, Pavel a kol., Základy umělé plicní ventilace, ed. 3., rozš., Praha: Maxdorf, 2014, 394 s., ISBN 978-80-7345-397-8  
[2] POKORNÝ, Jan a kol., Lékařská první pomoc, ed. 2., dopl. a přeprac., Praha: Galén, 2010, 474 s., ISBN 978-80-7262-322-8  
[3] KLIMEŠOVÁ, Lenka, Jiří KLIMEŠ, Umělá plicní ventilace, ed. 1., Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2011, 110 s., ISBN 978-80-7013-538-9  
[4] ROUBÍK, Karel, Technické zajištění a optimalizace vysokofrekvenční oscilační ventilace, ed. 1., Praha: České vysoké učení technické, 2013, 35 s., ISBN 978-80-01-05354-6

Zadání platné do: 20.09.2019

Vedoucí: doc. MUDr. Jan Pokorný, DrSc.

  
vedoucí katedry / pracoviště  
děkan

V Kladně dne 19.02.2018

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Použití ventilačních přístrojů v přednemocniční neodkladné péči vypracoval 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 14.05.2018

.....  
podpis

## **Poděkování**

Touto cestou bych rád poděkoval panu doc. MUDr. Janu Pokornému za odborné vedení mé bakalářské práce a jeho cenné rady. Dále bych chtěl poděkovat členům vedení všech záchranných služeb, kteří mi byli ochotni poskytnout potřebná data k zpracování této bakalářské práce. Panu magistru Böhmovi za možnost pořízení doplňujících fotografií a všem svým přátelům za pomoc při úpravě obrazového materiálu.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá specifiky použití ventilačních přístrojů v přednemocniční neodkladné péči a optimalizaci ventilačních parametrů a režimů.

V teoretické části byla popsána anatomie a fyziologie respiračního systému. Dále byly uvedeny klinické příznaky, patofyziologické příčiny a dělení respirační insuficience. Pro lepší pochopení obsluhy ventilátorů byl proveden rozbor možných ventilačních režimů. Pomocí grafů se zobrazením křivek tlaku a průtoku byl vysvětlen princip jednotlivých ventilačních režimů.

V praktické části proběhl průzkum zastoupení jednotlivých typů ventilátorů na vybraných krajských zdravotnických záchranných službách, četnosti jejich použití během roku a nejčastěji používaných režimů. Z výzkumu bylo získáno povědomí o tom, jaké přístroje jsou nejvíce rozšířeny a jaké možnosti ventilace nabízí. Z četnosti jejich použití během roku 2017 bylo vypočteno, jak často se může posádka zdravotnické záchranné služby setkat s použitím ventilátoru. Pro optimalizaci postupů pro zahájení umělé plicní ventilace v PNP byl v závěrečné části práce vytvořen algoritmus nastavení ventilačních na základě dostupných možností monitorace.

## **Klíčová slova**

Respirační insuficience, přednemocniční neodkladná péči, umělá plicní ventilace, zdravotnický záchranář, ventilátory.

## **Abstract**

The bachelor paper deals with the specifics of use of ventilation devices in pre-hospital emergency care and optimization of the procedure of setting of ventilation parameters and modes.

The theoretical part describes an anatomy and physiology of respiration system. It furthermore presents clinical symptoms, pathophysiology causes and division of respiration insufficiency. For better understanding of the operation of ventilators, an analysis of possible settings of ventilation parameters was carried out. The principle of individual ventilation modes was explained through graphs showing the pressure and flow curves.

The practical part contains the survey on representation of individual ventilators types in selected regional health care emergency services, frequency of their use within a year, and the most frequently used modes. The survey raises awareness on which devices are most frequently used and what options of ventilation they offer. The frequency of their use within the year 2017 enables us to calculate how often an EMS crew can encounter ventilator use. Within optimization of procedures for initiation of artificial lung ventilation, with the aim to ventilate more considerately and to employ such ventilation modes which do not require the patient to be under sedation, the conclusion part of the work includes an algorithm of setting of ventilation devices according to clinical symptoms of ventilation disorders detectable in pre-hospital emergency care.

## **Keywords**

Respiratory insufficiency, pre-hospital emergency care, artificial pulmonary ventilation, paramedic, ventilators.

## Obsah

1	Úvod .....	12
2	Současný stav .....	13
2.1	Anatomie dýchacího systému.....	13
2.1.1	Rozdělení dýchacího systému .....	13
2.1.2	Dutina nosní.....	14
2.1.3	Nosohltan .....	15
2.1.4	Hrtan .....	15
2.1.5	Průdušnice (trachea).....	17
2.1.6	Průdušky (bronchy) .....	18
2.1.7	Plíce .....	18
2.2	Průběh fyziologického dýchání.....	21
2.2.1	Ventilace.....	21
2.2.2	Plicní objemy .....	25
2.2.3	Difuze .....	26
2.2.4	Perfuze .....	28
2.2.5	Shoda ventilace a perfuze .....	29
2.2.6	Transport dýchacích plynů krví.....	30
2.2.7	Regulace dýchání .....	31
2.3	Respirační insuficience.....	33
2.3.1	Klinické projevy hrozící respirační insuficience .....	33
2.3.2	Členění respirační insuficience.....	36
2.3.3	Patofyziologie příčin vzniku respirační insuficience .....	37
2.3.4	Přehled stavů způsobujících respirační insuficienci .....	47



2.4	Indikace k zahájení umělé plicní ventilace .....	49
2.4.1	Patofyziologické cíle .....	49
2.4.2	Klinické cíle .....	49
2.4.3	Kompetence zdravotnického záchranáře dle vyhlášky 55/2011Sb., o činnostech zdravotnických pracovníků a jiných odborných pracovníků .....	51
	Zdravotnický záchranář .....	51
2.5	Zajištění průchodnosti dýchacích cest v přednemocniční neodkladné péči	53
2.5.1	Ústní vzduchovod (Guedelův).....	54
2.5.2	Nosní vzduchovod (Wendelův) .....	54
2.5.3	Tracheální rourka .....	55
2.5.4	Laryngeální maska .....	56
2.5.5	I-gel.....	57
2.5.6	Kombitubus.....	58
2.5.7	Laryngeální tubus .....	59
2.5.8	Koniopunkční sety .....	60
2.6	Formy umělé plicní ventilace.....	60
2.6.1	Ventilace pozitivním přetlakem (konvenční) .....	60
2.6.2	Ventilace negativním tlakem .....	61
2.6.3	Nekonvenční ventilace .....	61
2.7	Nastavované parametry umělé plicní ventilace.....	61
2.8	Rozdělení ventilačních režimů podle míry dechové práce do skupin a popis jednotlivých režimů .....	68
2.8.1	Mandatorní ventilace (Plná podpora dýchání) .....	68
2.8.2	Částečná ventilační podpora .....	75

2.8.3	Režimy k podpoře spontánního dýchání .....	80
2.9	Vedlejší účinky umělé plicní ventilace .....	85
3	Cíl práce.....	86
3.1	Cíl práce .....	86
3.2	Výzkumné otázky.....	86
4	Metodika .....	87
5	Výsledky.....	88
5.1	Ventilátory užívané ve výjezdových posádkách u zkoumaných krajských zdravotnických záchranných služeb .....	88
5.1.1	Medumat easy CPR- Weinmann .....	90
5.1.2	Medumat standard-Weinmann a .....	92
5.1.3	Medumat standard-Weinmann 2 .....	94
5.1.4	Oxylog 1000.....	98
5.1.5	Oxylog 2000.....	100
5.1.6	Oxylog 2000 plus .....	101
5.1.7	Oxylog 3000.....	103
5.1.8	Oxylog 3000 plus .....	105
5.1.9	Porovnání technických parametrů uvedených ventilátorů .....	107
5.2	Četnost výjezdů indikovaných k použití umělé plicní ventilace .....	108
5.3	Algoritmus použití umělé plicní ventilace v terénu.....	109
6	Diskuze .....	111
7	Závěr .....	114
8	Seznam použitých zkratk.....	115
9	Seznam použité literatury.....	118
10	Seznam použitých obrázků .....	122

11	Seznamu použitých tabulek .....	125
12	Seznam Příloh .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

# 1 ÚVOD

V přednemocniční neodkladné péči se lze setkat s určitou skupinou pacientů, trpících respirační insuficiencí, kteří jsou indikováni k použití umělé plicní ventilace. Úkolem Zdravotnického záchranáře by mělo být včasné rozpoznání varovných příznaků provázejících respirační insuficienci a znalost postupů při jejím řešení. Zdravotnický záchranář má ve svých kompetencích (dle vyhlášky 55/2011 sb.) zajišťovat dýchací cesty dostupnými pomůckami, zavádět a udržovat inhalační kyslíkovou terapii, zajišťovat přístrojovou ventilaci s parametry určenými lékařem, pečovat o dýchací cesty pacientů i při umělé plicní ventilaci.

Při výjezdu posádky RZP je zdravotnický záchranář povinen včas rozpoznat stavy, kdy farmakologická léčba není dostačující a v rámci dojezdové vzdálenosti do zdravotnického zařízení zvážit zahájení umělé plicní ventilace přivoláním lékaře posádky RV nebo po konzultaci s lékařem pomocí monitorovaného hovoru, zajistit dýchací cesty dostupnými pomůckami k zajištění dýchacích cest dle svých kompetencí (obličejová maska, laryngeální tubus, laryngeální maska) a zahájit umělou plicní ventilaci.

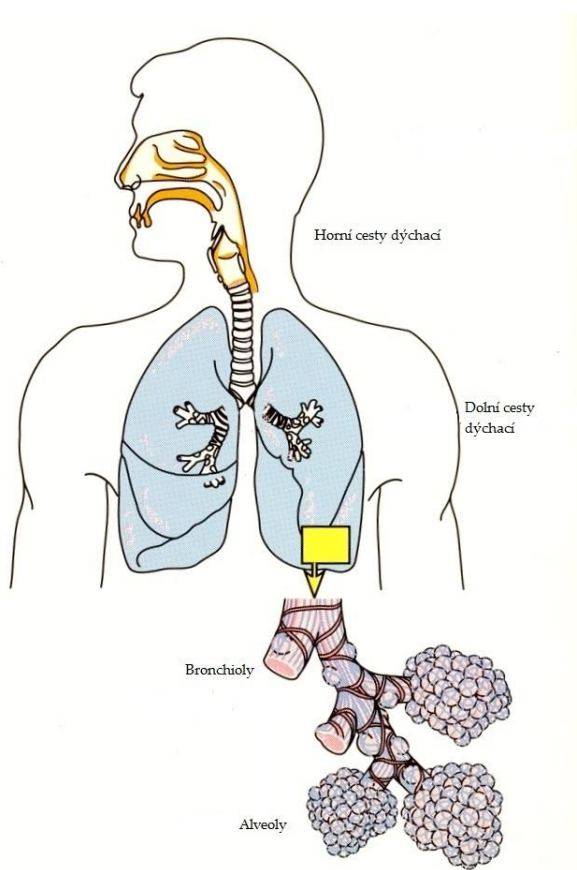
Dopravní prostředky zdravotnické záchranné služby jsou vybaveny různými typy ventilačních přístrojů s různým výběrem ventilačních režimů. Některé typy ventilátorů se svými technickými parametry vyrovnají nemocničním přístrojům. Zdravotnický záchranář by měl znát princip jednotlivých ventilačních režimů a být schopen obsluhovat ventilační přístroje na indikaci lékaře. Cílem této práce je optimalizace použití vhodných ventilačních režimů při respirační insuficienci a seznámení s obsluhou a možnostmi ventilačních přístrojů užívaných na krajských záchranných službách.

## 2 SOUČASNÝ STAV

### 2.1 Anatomie dýchacího systému

#### 2.1.1 Rozdělení dýchacího systému

Dýchací (respirační) systém topograficky dělíme na horní cesty dýchací, jež zahrnují dutinu nosní (cavitas nasi), nosohltan (nasopharynx) a dolní cesty dýchací obsahující hrtan (larynx), průdušnici (tracheu), a bronchiální systém. [1][4] Viz obrázek 1.



Obrázek 1: Topografické rozdělení dýchacích cest [4]

Z funkčního hlediska lze respirační systém rozdělit na část realizující ventilaci, výměnu plynů mezi atmosférou a alveoly (dutina nosní, nasopharynx, larynx, trachea, bronchy, bronchioly, terminální bronchioly), a část umožňující difuzi, výměnu plynů mezi alveoly a vnitřním prostředím (respirační bronchioly,

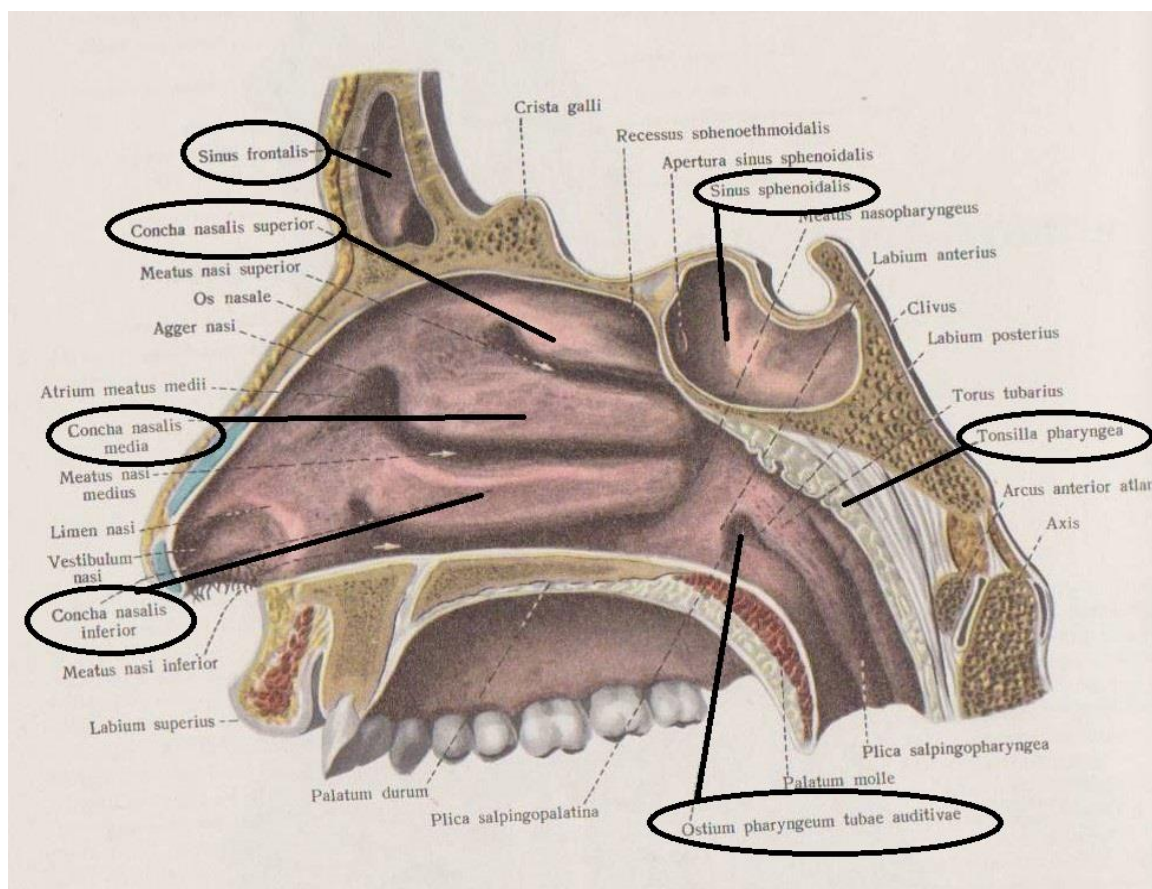
alveoly). Dýchací cesty slouží také, jako prostředek tvorby lidského hlasu (plicae vocales). [4]

### **2.1.2 Dutina nosní**

Funkční význam dutiny nosní spočívá v předehřívání vdechovaného vzduchu na úroveň tělesné teploty, jeho zvlhčování a odstranění mechanických nečistot (prachu).

Významnou část nosní dutiny zaujímají skořepy nosní (conchae nasales). Rozlišujeme horní, střední a dolní skořepy. V oblasti střední a dolní skořepy je sliznice nosní dutiny obzvláště prokrvená. Při nešetrném zavádění nosního vzduchovodu může dojít ke značnému krvácení.

Na stropu dutiny nosní se nachází čichové buňky, které jsou drážděny vdechovaným vzduchem. Nosní dutina komunikuje s prostory v některých lebečních kostech. Prostory označujeme jako vedlejší nosní dutiny. V horní čelisti (sinus maxillares), v čelní kosti (sinus frontales), v čichové kosti (sinus ethmoidalis), v klínové kosti (sinus sphenoidalis). Viz obrázek 2. Dutiny se významně podílí na barvě hlasu, kdy slouží jako rezonanční prostor. Podle studií (Lundberg J. et al., 2008) je ve vedlejších nosních dutinách produkován oxid dusnatý, jenž má významný bakteriostatický účinek. I přes tento poznatek hrozí infekce, sinusitidy. Vstupu infekce do organismu brání i lymfatická tkáň nacházející se v nosní dutině. [2] [3]



Obrázek 2: Zobrazení vedlejších dutin nosních [4]

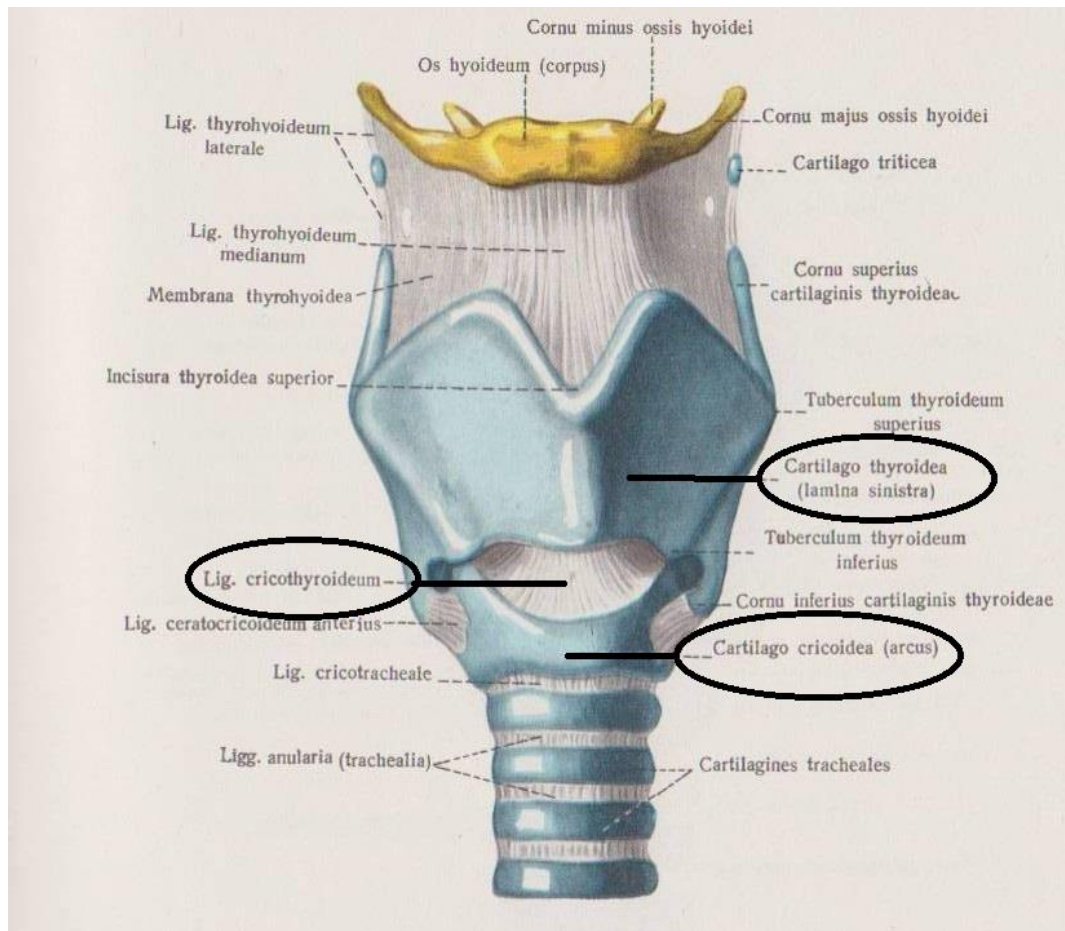
### 2.1.3 Nosohltan

Nosohltan (nasopharynx) na obou stranách komunikuje se středoušním prostorem tzv. Eustachovými trubicemi, které slouží k vyrovnávání tlaku v dutině středoušní. V blízkosti vyústění trubic se vyskytují nosohltanové mandle. Jedná se o nakupení lymfatických uzlíků, které tvoří bariéru proti infekci šířící se vzduchem. Zánět a s ním spojené zvětšení nosohltanových mandlí, může vést k obstrukcím a následnému dýchání přes ústní dutinu (vyřazení funkce nosní dutiny) nebo zánětu středoušní dutiny a poruchám sluchu. [2]

### 2.1.4 Hrtan

Skelet hrtanu je tvořen hrtanovými chrupavkami. Největší z chrupavek je štítná chrupavka (cartilago thyroidea). Na přední ploše krku tvoří nápadnou vyvýšeninu. Kaudálně se nachází chrupavka prstenčitá (cartilago cricoidea). Na přední straně

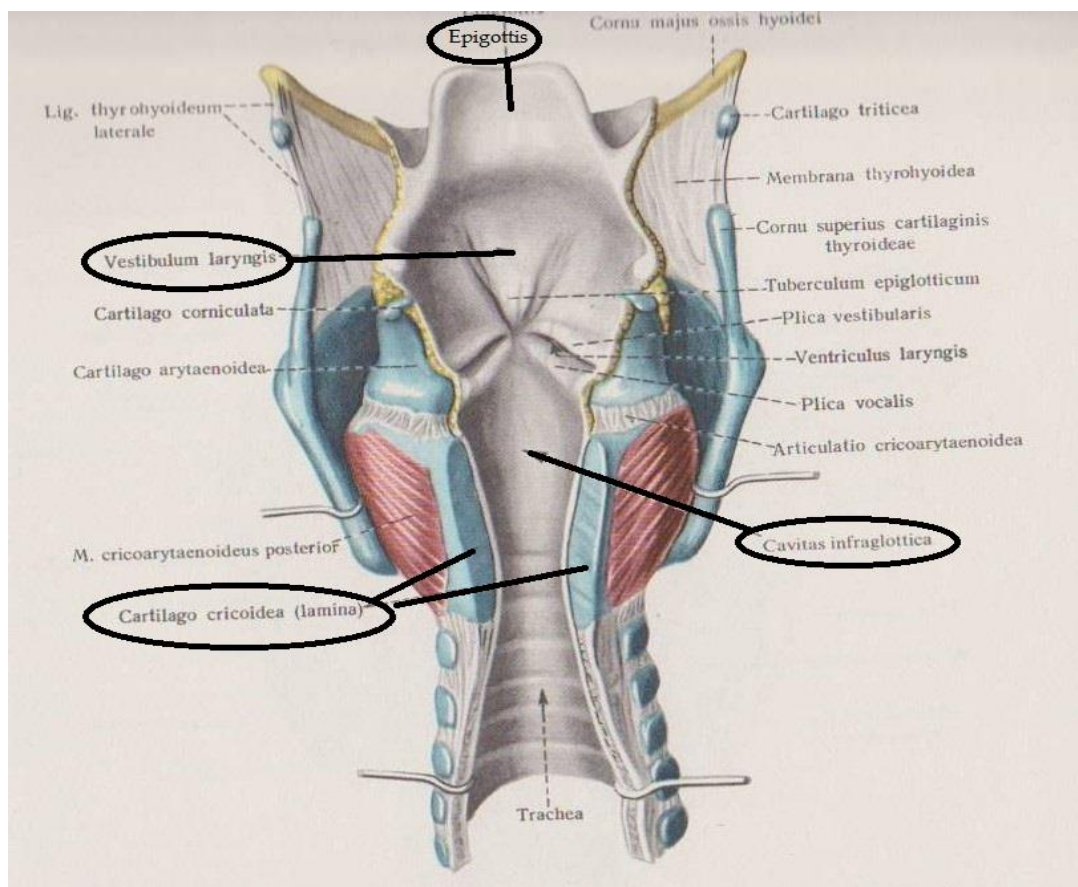
v prohlubni mezi těmito chrupavkami se nachází vazy (lig. cricothyroideum). Viz obrázek 3.



Obrázek 3: Přední pohled na larynx [4]

Uvedená lokalita je využívána jako vstup do dýchacích cest při koniotomii. Vstup do hrtanu (aditus laryngis) je oddělen od hltanu příklopkou (epiglottis). Zánět (epiglottitida), postihující převážně děti, je život ohrožující stav, při němž může dojít k zvětšení epiglottis s následnou obstrukcí aditus laryngis. Další rizikovou oblastí je subglotický prostor, jehož otokem, převážně při akutní subglotické laryngitidě, vzniká významná obstrukce. (Obrázek 4.) Méně častým, přesto nebezpečným stavem je vznik tzv. laryngospazmu, reflexního stažení svaloviny hrtanu včetně svaloviny hlasivek s následným uzavěrem dýchacích cest. Laryngospasmus může být vyvolán např. vdechnutím cizího tělesa, nebo kapaliny. [2]

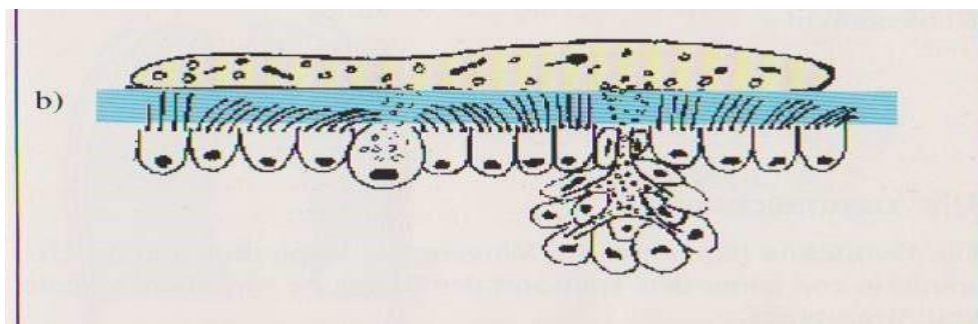




Obrázek 4: Zadní pohled na larynx [4]

#### 2.1.5 Průdušnice (trachea)

Trachea navazuje na prstencovou chrupavku a postupuje ve střední čáře krku až do mediastina, kde se větví na pravou a levou průdušku (bronchus dexter a sinister). Základem stavby trachey je 16 až 20 chrupavek tvaru podkovy, spojených vazivem k sobě. Zadní stěnu tvoří pojivová tkáň (pars membranacea tracheae) a hladké svalstvo (m. trachealis). V těsné blízkosti pars membranacea tracheae probíhá jícn, který na ni z velké části naléhá. Při nešetrném nafouknutí obturační manžety u tracheální rourky zde může dojít k utlačení cévního zásobení a následné ischemii uvedených struktur. Tento stav může zapříčinit nekrózu tkání a vznik esofageální píštěle. Sliznice trachey je tvořena řasinkovým epitelem pokrytým gelem, jenž slouží k zachytávání cizorodých mikroorganismů. Uvedené struktury tvoří transportní mechanismus, který se nazývá mukociliární clearance. [2] [3] [4] (Obrázek 5.)



Obrázek 5: Mukociliární clearance [4]

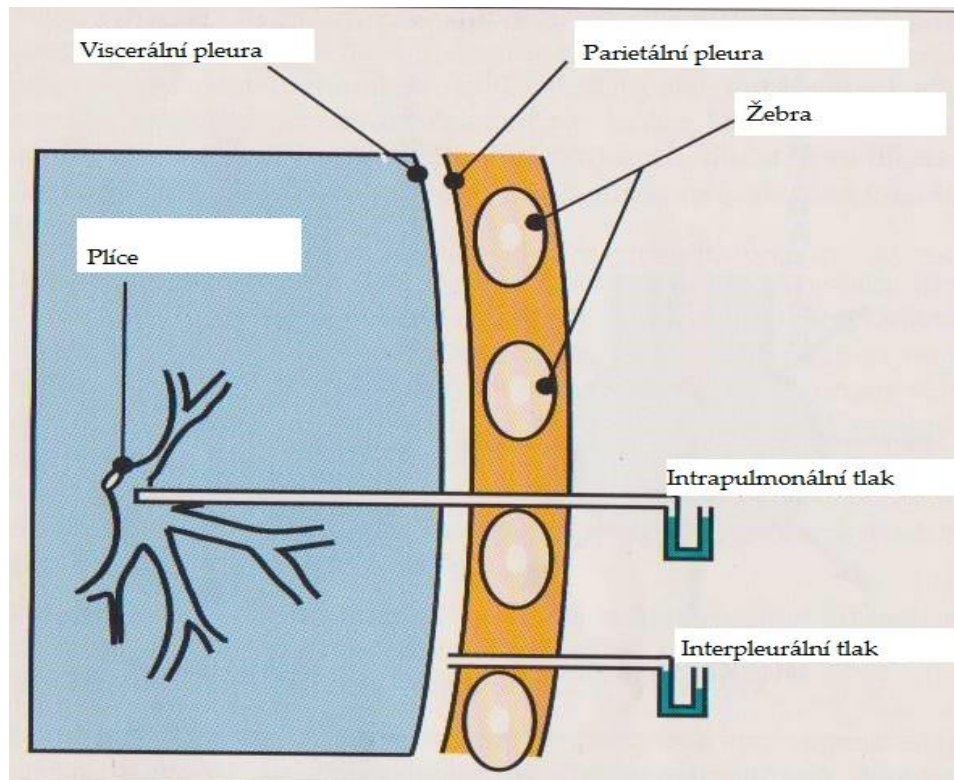
#### 2.1.6 Průdušky (bronchy)

Pravá průduška pokračuje téměř v přímém pokračování průdušnice, tudíž je náchylná k zapadnutí cizího tělesa. Při nesprávné poloze tracheální rourky, zavedením rourky příliš hluboko, může tento tvar průdušky zapříčinit jednostrannou ventilaci, tzn. pouze pravá plic je ventilována. Oba bronchy se po vstupu do plic mnohonásobně větví. Tvoří tzv. bronchiální strom. Bronchy s průměrem průsvitu 1 mm se nazývají bronchioly. [2]

#### 2.1.7 Plíce

Plíce, tak i hrudní dutina jsou na svém povrchu kryty jemnou blankou, viscerální pleurou a parietální pleurou. Prostor mezi nimi se nazývá pleurální štěrbiná. Plíce jsou párový orgán a tudíž i pleurální štěrbiná je párová. Jedná se spíše o virtuální prostor, protože viscerální i parietální pleura k sobě těsně přiléhají. V meziprostoru se vyskytuje pouze 10-15 ml tekutiny rozprostřené po celé styčné ploše. Tekutina funguje jako lubrikační prostředek, jenž umožňuje posun obou struktur po sobě, a zároveň způsobuje vzájemnou přilnavost působením kapilárních sil. V pleurální štěrbině se permanentně vyskytuje mírný podtlak (-4 až -8 cmH<sub>2</sub>O), díky kterému se mohou plíce udržet rozepjaty a měnit svůj objem v závislosti na práci dýchacích svalů. Tento stav může být změněn, např. při pneumotoraxu, kdy do prostoru pleurální štěrbiny proniká vzduch. Mezi oběma plicními dutinami se nachází mediastinum.

Podtlak přítomný v interpleurální šterbině je označen jako interpleurální tlak (Ppl). Viz obrázek 6.



Obrázek 6: Znázornění intrapulmonálních tlaků [4]

Tento tlak lze naměřit pomocí jehly zavedené do interpleurálního prostoru nebo sondy zavedené do dolní 1/3 jícnu. Alveolární tlak, tlak uvnitř alveolů se nazývá intrapulmonální tlak ( $P_A$ ). Je měřitelný při otevřené hlasové šterbině jako tlak u úst. Pomocí intrapulmonálního a interpleurálního tlaku lze zjistit transpulmonální plicní gradient (TPG).  $TPG = P_A - P_{pl}$ . Transpulmonální plicní gradient není všude stejný. V horních partiích plic jsou alveoly více rozepjaté (TPG je zde největší). S každými 3 cm kaudálně, klesá TPG o 1 cmH<sub>2</sub>O.

Plíce mají dvojitý krevní oběh, nutritivní a funkční. Nutritivní oběh obstarávají bronchiální tepny, které odstupují z hrudní aorty, mezižeberních tepen a aortálního oblouku. Bronchiální tepny se větví spolu s bronchy. Kromě bronchů zásobují veškeré struktury v plicích. Odkysličená krev je odváděna bronchiálními žilami (vv.

bronchiales) pomocí v. azygos až do horní duté žíly (v. cava superior) a dále pravé srdeční síně.

Funkční oběh umožňuje výměnu dýchacích plynů mezi krví a alveoly. Začíná větvením plicní tepny (a. pulmonalis) na pravou a levou plicní tepnu. Tepny se dále větví až dospějí kapilárního řečiště obtékajícího alveoly, čímž je umožněna difuze. Kapiláry se poté spojují v plicní žíly (vv. pulmonales). Okysličená krev je odváděna do levé síně srdeční.

Pravá plíce je hlubokými zářezy rozčleněna na tři laloky, levá plíce na dva. Po vstupu do plic se bronchy dělí na lalokové bronchy. Tyto se dále dělí na segmentové bronchy, jež se dále dělí na respirační bronchioly. Respirační bronchioly se na svém konci mírně rozšiřují a nasedají na alveoly.

Alveoly jsou šestihranné až kulovité útvary o průměru 250- 300  $\mu\text{m}$ . Celkový počet alveolů v každé plíci je cca 300 milionů a jejich celková plocha určená k difuzi je 70-140  $\text{m}^2$ . Stěny alveolů tvoří interalveolární septa a sousední alveoly mají vždy společnou stěnu. Významnou roli hrají pneumocyty II typu, které jsou součástí alveolárního epitelu. V těchto buňkách se tvoří tekutina tzv. surfactant, jehož působením jsou alveoly stabilní. Z chemického hlediska se jedná o směs proteinů, fosfolipidů a uhlovodanů. Surfactant brání kolabování malých alveolů a jejich vyprazdňování do větších, protože malé a velké alveoly mají rozdílné povrchové napětí.

Výměnu dýchacích plynů v alveolech ovlivňuje šíře interalveolárního septa, jež představuje rozhraní mezi vzduchem v alveolu a kapilárou. Nejkratší vzdálenost pro průchod plynů je 0,2-0,4 mm. [1] [2] [4]

## 2.2 Průběh fyziologického dýchání

Dýchání (Respirace) je děj, při kterém organismus získává a spotřebovává kyslík a vylučuje oxid uhličitý. Je zajištěno několika funkčními systémy, dýchacím (ventilace, difuze), oběhovým (transport plynů v organismu) a nervovým (regulace dýchání). [2, 5, 7]

### 2.2.1 Ventilace

Ventilace je cyklický děj charakterizovaný střídáním vdechu (inspiria) a výdechu (expiria). Úkolem ventilace je zajištění fyziologických hodnot  $\text{PaO}_2$  a  $\text{PaCO}_2$ .

Inspirium je aktivní děj, který je zajištěn pomocí dýchacího svalstva. Hlavní svaly zapojované během inspiria jsou bránice (diafragma) a vnější interkostální svaly (mm. intercostales externae).

Mezi pomocné respirační svaly, zapojované během nádechu patří mm. scaleni, mm. sternocleidomastoidei, mm. pectorales majores et minores.

Nejvýznamnějším respiračním svalem je bránice. Je inervována pomocí n. phrenicus, vycházejícího z míšního segmentu C3-C5. Během inspiria dochází k jejímu oploštění, čímž dochází ke zvýšení objemu hrudní dutiny. V interpleurální dutině se zvýší podtlak a v alveolech podtlak vzniká. Negativní tlak vzniká expanzí hrudníku a zároveň napínáním elastických vláken v plicích, působících protisilou. Přenos změny objemu je zprostředkován negativním tlakem, jenž překoná pnutí elastických vláken a rozepne plíce. Objemová změna vyvolaná bránicí, tvoří za klidových podmínek cca 2/3 dechového objemu (VT). Zbytek objemové změny obstarávají mm. intercostales externae. Vlivem tlakového gradientu mezi alveoly a atmosférickým tlakem se alveoly plní inspirovaným vzduchem. Snížením intrathorakálního tlaku je usnadněno plnění pravého srdce. [5]

Expirium je pasivní děj. Expirační svalstvo (mm. intercostales interni, mm. recti abdominis, mm. obliqui abdominis) je užíváno pouze při hlubokém urychleném výdechu. Kontrakcí břišních svalů dochází k zvýšení intraabdominálního tlaku a bránice je vytlačena směrem vzhůru. Břišní svaly jsou aktivovány při kašli, zvýšené ventilaci nad 40 l/min, zvracení.

Po klidném výdechu jsou expanzní a retrakční síly plic vyrovnané a ustavují klidové postavení hrudníku. V tomto postavení odpovídá objem plic funkční reziduální kapacitě (*FRC*).

Respirační svalstvo koná v průběhu ventilace tzv. dechovou práci. Z angličtiny: work of breathing (*WOB*). Lze ji vyjádřit jako součin tlaku (*P*) a objemu (*V*) podle vzorce (1) [6].

$$WOB = P \times V \quad (1)$$

Normální hodnota *WOB* vynaložené za 1 minutu je 2,5-3 J [6]. Spotřeba kyslíku za 1 minutu činí 5 ml [6]. Při fyziologickém dýchání je *WOB* vynaložena pouze při inspiriu. Slouží k překonání elastické retrakce, proudového odporu v dýchacích cestách a překonání tkáňového odporu. Zhruba 75% dechové práce slouží k překonání elastických (statických) dechových odporů, zbylých 25% k překonání proudových odporů[6].

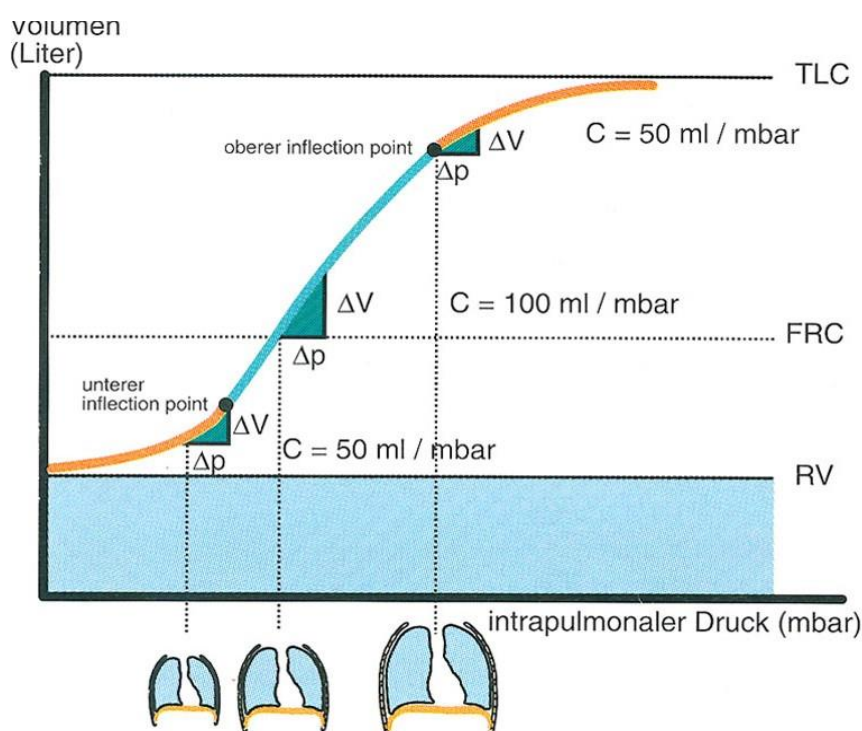
Statické dechové odpory jsou vyvolány elastickými vlastnostmi plic a hrudní stěny, jejich mírou je compliance (poddajnost). Za elastické vlastnosti plic jsou odpovědná elastická vlákna a povrchové napětí ve stěně alveolů. [5] [6] [7]

Compliance je vyjádřena jako jednotková změna objemu za jednotkovou změnu tlaku (ml/cmH<sub>2</sub>O). [6] [7]

Matematické vyjádření compliance je popsáno ve vztahu (2) [7]:

$$C = \frac{\Delta V}{\Delta P} \quad (2)$$

Vztah mezi tlakem v horních dýchacích cestách a objemem plic je vyjádřen křivkou statické compliance. Viz obrázek 7.



Obrázek 7: Křivka statické compliance [6]

Křivka má charakteristický průběh tvaru S. Dolní plochý úsek vyjadřuje nejmenší endexpirační objem. Při této hodnotě objemu dochází k uzavěru malých dýchacích cest a kolapsu příslušných alveolárních oblastí (airway closure). Při inspiriu je nutno vytvořit tlak schopný otevřít kolabované alveoly. Jedná se o tzv. alveolární otevírací tlak. Střední lineární úsek je charakteristický nejmenší dechovou prací (WOB) a nejvyšší statickou compliance. Střední část je vymezena horním a dolním inflekčním bodem. Tyto body jsou stěžejní u nastavení objemů při umělé plicní ventilaci. V oblasti horního plochého úseku došlo k maximálnímu rozepětí

alveolů. Další vzestup tlaku již nevede k zvětšení objemu. Při umělé plicní ventilace je v tomto úseku pacient ohrožen barovolumotraumatem. Fyziologické hodnoty compliance podle věkových kategorií jsou uvedeny v tabulce 1. [6]

*Tabulka 1: Fyziologické hodnoty compliance dle věku [6]:*

Novorozenci	3-5 ml/cmH <sub>2</sub> O
Kojenci	10-20 ml/cmH <sub>2</sub> O
Malé děti	20-40 ml/cmH <sub>2</sub> O
Dospělí	70-100 ml/cmH <sub>2</sub> O

Mírou proudového odporu v dýchacích cestách je tzv. rezistance. Jedná se o odpor kladený dýchacími cestami proudu vzduchu. Závisí na poloměru, délce dýchacích cest, rychlosti a druhu proudění. Rezistance lze matematicky vyjádřit jako poměr transpulmonálního plicního gradientu a ventilací, jak je uvedeno ve vzorci (3) [5]:

$$R = \frac{\Delta P}{V} \quad (3)$$

Rezistance se v průběhu dýchání mění. Chrupavčitá výztuž bronchů 11- 13 generace bronchiálního stromů není přítomna. Tato skutečnost má za následek, že se lumen brochů během inspiria rozšiřuje kvůli pnutí elastických vláken a klesá rezistance. Při expiriu se snižuje tah elastických vláken. Lumen se zužuje a rezistance stoupá, čímž je expirium prodloužené vzhledem k inspiriu. Fyziologické hodnoty rezistance podle věkových kategorií jsou uvedeny v tabulce 2. [5]

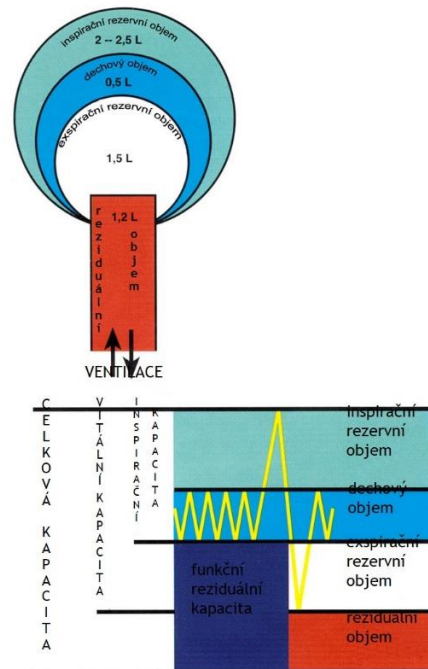
*Tabulka 2: Fyziologické hodnoty rezistance dle věku [5]*

Novorozenec	30-50 cmH <sub>2</sub> O/l/s
Kojenec	20-30 cmH <sub>2</sub> O/l/s
Malé dítě	20 cmH <sub>2</sub> O/l/s
Dospělý	2-4 cmH <sub>2</sub> O/l/s



## 2.2.2 Plicní objemy

Plicní objem je množství vzduchu nacházející se v plicích. Objemy dělíme na statické a dynamické. Viz obrázek 8.



Obrázek 8: Plicní objemy [5]

Statické objemy jsou nezávislé na čase a na proudění (flow). Velikost dynamických objemů se mění v závislosti na čase nebo flow. Jednotlivé plicní objemy:

- Totální kapacita plic (TLC = total lung capacity) je plicní objem po maximálním inspiriu. Skládá se ze dvou objemů, vitální kapacity a reziduálního volumu.
- Vitální kapacita (VC) je objem, který je vydechnut při maximálním expiriu po předchozím maximálním inspiriu. Vitální kapacita je součet inspiračního rezervního volumu (IRV), dechového objemu, (VT) a expiračního rezervního volumu (ERV).
- Dechový objem (VT) neboli tidal volume objem vydechnutý v klidu bez časového omezení.

- Anatomický mrtvý prostor (VD = volume death) zaujímá při fyziologickém stavu 30% [6] dechového objemu. Jedná se o objem plynu přítomný v úseku dýchacích cest, v němž nedochází k výměně (dutina nosní, pharynx, larynx, trachea, bronchy).
- Inspirační rezervní volum (IRV) je maximální objem, který lze vdechnout po klidovém inspiriu.
- Inspirační kapacita (IC) je součet dechového a inspiračního rezervního volumu.
- Expirační rezervní volum (ERV) je objem, který lze vydechnout s maximálním expiračním úsilím po klidovém výdechu.
- Reziduální volum (RV) je objem, který zůstává v plicích po maximálním výdechu. [6] [7]

### 2.2.3 Difuze

Difuze je proces při, kterém probíhá výměna dýchacích plynů mezi krevním řečištěm a alveoly. [7]

K správnému pochopení difuze dýchacích plynů je nutné znát vlastnosti vdechovaného vzduchu. Inspirovaný vzduch přítomný v alveolech, vzduch přijatý z okolní atmosféry, lze chápat jako směs plynů o různých koncentracích. Každý plyn ve směsi vykonává specifický tlak, úměrný bronchiálnímu zastoupení. Jedná se o tzv. parciální tlak. Objemový podíl plynu v dané směsi je označen jako frakce ( $F_i$ ). Parciální tlak plynu odpovídá jeho frakci. Celkový tlak směsi plynů se rovná součtu jednotlivých parciálních tlaků. (Daltonův zákon). Z této skutečnosti lze odvodit, že parciální tlak vdechovaného  $O_2$  v úrovni mořské hladiny je zhruba 101,1 kPa = 760 mmHg [6], stejně jako u ostatních plynů přítomných ve směsi.

Níže jsou jednotlivé frakce plynů ve vdechovaném vzduchu:

- $F_{iO_2} = 0,209$
- $F_{iN_2} = 0,781$
- $F_{iCO_2} = 0,003$
- $F_i$  vzácných plynů = zanedbatelné množství [6]

Parciální tlak jednotlivých plynů lze vypočítat z celkového tlaku směsi (barometrický tlak =  $P_B$ ) a jejich frakce ( $F_{plynu}$ ) podle vzorce (4) [6].

$$P_{plynu} = P_B \times F_{plynu} \quad (4)$$

Vdechovaný vzduch obsahuje také vodní páru. Parciální tlak vodní páry při tělesné teplotě 37 °C [6] dosahuje 47 mmHg [6]. Pro výpočet parciálního tlaku plynu v plicích je nutné zahrnout parciální tlak vodní páry ( $P_{H_2O}$ ). Vzorec (5) pro výpočet parciálního tlaku plynu v plicích [6].

$$P_{plynu} = (P_B - P_{H_2O}) \times F_{plynu} \quad (5)$$

Parciální tlak plynů lze uplatnit také v kapalinách, v nichž jsou plyny rozpuštěny. Do kapaliny, která nepřišla do styku se vzduchem, difundují plyny podle gradientů parciálních tlaků do té doby, dokud se parciální tlaky ve vzduchu a v kapalině nevyrovnejí. Koncentraci plynů rozpuštěných v kapalinách neovlivňuje pouze parciální tlak, ale i specifická rozpustnost daného plynu. Plyny snadno rozpustné se mohou ve větším množství rozpouštět v kapalině při nižším parciálním tlaku. Obtížně rozpustné plyny vyžadují vyšší parciální tlaky k rozpuštění v kapalině. [6]

Průběh difuze je ovlivněn výší parciálních tlaků. Plyny jsou schopny difundovat pouze při existenci tlakových gradientů parciálních tlaků mezi alveoly a kapilárami. Aby se výměna dýchacích plynů mohla uskutečnit, je nutno dosáhnout

určitých hodnot parciálních tlaků. Parciální tlak kyslíku ( $P_{AO_2}$ ) musí být vyšší, než parciální tlak kyslíku v přitékající krvi ( $P_{VO_2}$ ). Parciální tlak oxidu uhličitého v přitékající krvi ( $P_{VCO_2}$ ) musí být vyšší, než parciální tlak oxidu uhličitého v alveolech ( $P_{ACO_2}$ ). Protože difuze navazuje na ventilaci, hlavním úkolem alveolární ventilace je udržení fyziologických parciálních tlaků.

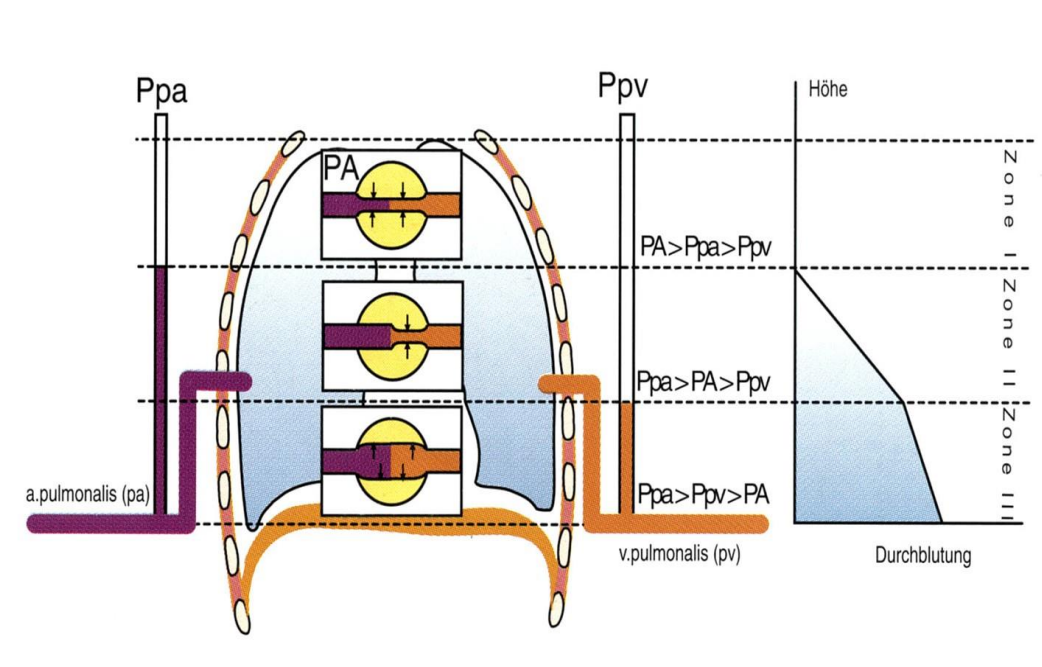
Složení vzduchu v alveolech se v průběhu dechového cyklu mění. Na konci expiria jsou dýchací cesty vyplněny alveolárním vzduchem s hodnotami parciálních tlaků,  $P_{AO_2} = 13,3$  kPa (100 mmHg) [6] a  $P_{ACO_2} = 5,3$  kPa (40 mmHg) [6]. V první fázi inspira se tento vzduch vdechne zpět do alveolů. Parciální tlaky plynů zůstávají nezměněny. V následující fázi proniká do alveolů čerstvý vzduch.  $P_{AO_2}$  se zvyšuje a  $P_{ACO_2}$  klesá. [6] [7]

#### **2.2.4 Perfuze**

K uskutečnění výměny dýchacích plynů a jejich transportu mezi alveoly a tkáněmi je nutná návaznost oběhového systému na systém dýchací tzn. dostatečný průtok krve (perfuze) funkční částí plicního řečiště. Funkční plicní oběh se skládá z pravé srdeční komory (pumpa), arterií a arteriol (distribuční funkce), plicních kapilár (úsek výměny plynů), venul a vén (sběrná funkce). Průtok krve plicním řečištěm za minutu se rovná průtoku krve v tělním oběhu. Plicní oběh je nízkotlaký a cévy se vyznačují nižší rezistencí. Arteria pulmonalis se v 1-6 generaci větví na elastické tepny a v 7-10 generaci na přechodové arterioly. Přechodové arterioly neobsahují svalovinu a přecházejí přímo do kapilár. Kapiláry tvoří podél alveolů síť, jejichž plocha zaujímá přibližně 120 m<sup>2</sup>. Kapiláry se dále sbíhají do postkapilár a později do plicních vén.

V důsledku gravitace (působením hydrostatického tlaku) není perfuze ve všech částech plic rovnoměrná. Perfuze různých částí plic závisí na vzájemném poměru tří tlaků:  $P_a$  – tlak v plicních arteriích,  $P_{alv}$  – tlak vzduchu v alveolech,  $P_v$  – tlak v plicních žilách. Tlakový gradient zapříčiněný rozdílem mezi  $P_a$  a  $P_v$  působí

jako hnací síla potřebná k proudění krve. Tlak vzduchu v alveolech  $P_{alv}$  vytváří odpor v kapilárách. Tlak v plicních arteriích ( $P_a$ ) nezávisí pouze na stahu myokardu, ale i na hydrostatickém tlaku. Při vertikální poloze plic, např. v sedě nebo ve stoje, roste hydrostatický krevní tlak od apexu k basi o 1 cmH<sub>2</sub>O na 1 cm výšky, zatímco tlak vzduchu v alveolech směrem k basi klesá. Krev nejlépe proudí do oblastí, kde je tlakový gradient nejvyšší a cévní rezistance nejnižší. Na základě rozdílů poměrů tří tlaků ovlivňujících průtok krve, lze plice za fyziologických okolností rozdělit na tři tzv. Westovy zóny. [6] [8] Na obrázku 9. jsou vyjádřeny průtoky jednotlivými zónami a poměr mezi jednotlivými tlaky.



Obrázek 9: Westovy zóny [6]

### 2.2.5 Shoda ventilace a perfuze

Pro adekvátní výměnu dýchacích plynů je důležitá shoda ventilace a perfuze ( $V/Q$ ), tzn. dostatečný přísun kyslíku v alveolech a dostatečný průtok krve kapilárami. V ideálním stavu, kdy jsou všechny části plic rovnoměrně ventilovány

(4 l/min) a perfundovány (5 l/min), činí poměr  $V/Q = 0,8$ . Ve skutečnosti však dochází k mírným odchýlkám, např. kvůli pravolevým zkratům, které se v určitém zastoupení vyskytují i fyziologicky (anatomické zkraty). K zabránění vzniku dalších zkratů v případě nedostatečně ventilovaných alveolů, slouží hypoxická vazokonstrikce pulmonálních arteriol (tzv. Euler – Lilijestrandův mechanismus). [6, 8]

#### **2.2.6 Transport dýchacích plynů krví**

Kyslík je v krvi transportován pomocí hemoglobinu, kde je chemicky vázán. Na 1 g hemoglobinu se naváže 1,39 ml  $O_2$  při parciálním tlaku kyslíku 20 kPa. V menším množství se kyslík vyskytuje rozpuštěný volně v plazmě (0,3 ml  $O_2$ /100 ml). Aktuální podíl hemoglobinu nasyceného kyslíkem v procentech vyjadřuje saturace ( $SaO_2$ ).

Pro pochopení transportu dýchacích plynů je nutné znát vazebnou křivku kyslíku pro hemoglobin. Křivka má esovitý průběh a jejím vychýlením se mění vazba kyslíku. Průběh křivky je ovlivňován teplotou, obsahem  $CO_2$ ,  $pH$  a koncentrací Hb. Změnami těchto parametrů dochází k fyziologickým posunům. Hypotermie, hypokapnie a alkalické  $pH$  má za následek posun křivky doleva. Hypertermie, hyperkapnie, kyselé  $pH$  posunou křivku vpravo.

Transport kyslíku z plic do tkání začíná plicních kapilárách kde stoupá  $pH$  a obsah  $O_2$ . Vazebná křivka se posune doleva a hemoglobin získá zvýšenou afinitu ke kyslíku. Saturace hemoglobinu kyslíkem stoupá. Při průtoku tkáňovými kapilárami, kde je zvýšený obsah  $CO_2$  z tkání a klesá  $pH$  se posouvá vazebná křivka doprava a kyslík se snadno uvolňuje z hemoglobinu do tkání (Bohrův efekt). Redukce hemoglobinu ve tkáních podporuje vazbu  $CO_2$  (Haldaneův efekt). Redukovaná venózní krev s vyšším obsahem  $CO_2$  odtéká z tkání do plic, kde dochází k oxidaci hemoglobinu. Oxidace hemoglobinu podporuje uvolňování  $CO_2$ . [6]

### 2.2.7 Regulace dýchání

Dýchání patří mezi fyziologické funkce, a proto musí probíhat kontinuálně v různém stavu vědomí. Za fyziologického stavu je dýchání řízeno tak, aby jeho cílové veličiny  $P_aO_2$ ,  $P_aCO_2$  a  $pH$  zůstali v normě. Dýchání řídí neurogenní regulace a chemická regulace.

Automaticitu dýchání zajišťuje dechové centrum. Jeho aktivita je částečně ovlivnitelná vůlí jedince a reflexy, které umožňují příjem potravy a chrání dýchací cesty před aspirací. Dechové centrum je lokalizováno v prodloužené míše a je tvořeno dvěma seskupeními neuronů (dorzální respirační skupina, ventrální respirační skupina). Obě části obsahují neurony, které se rozlišují na inspirační, postinspirační, expirační. Dorzální skupina aktivuje bránici, zpracovává příchozí signály z mechanoreceptorů plic, hrudní stěny a také z chemoreceptorů. Ventrální skupina zajišťuje rytmus dýchání a udržuje průchozí horní cesty dýchací pomocí aktivace dilatátorů laryngu. Volní změna rytmicity dýchání je možná jen na omezeně dlouhou dobu. Volní řízení dechového rytmu vzniká ve vyšších mozkových centrech. Zprostředkovává např. fonaci nebo možnost jedince rozeznít dechové hudební nástroje. U jedinců s vrozeným centrálním hypoventilačním syndromem (porušení funkce dechového centra) slouží za bdělého stavu k udržení spontánní dechové aktivity. V důsledku volní regulace je dechový rytmus ovlivněn i psychickým stavem pacienta.

Dechové centrum mění svoji aktivitu také v závislosti na zpětných vazbách. Získává informace z dýchacích cest, plic, hrudní stěny a vnitřního prostředí pomocí různých druhů receptorů. Na změnu rovnováhy vnitřního prostředí, zejména  $P_aO_2$ ,  $P_aCO_2$  a  $pH$  je dechové centrum upozorněno pomocí centrálních a periferních chemoreceptorů. Jedná se o shluky specializovaných neuronů. Periferní chemoreceptory jsou umístěny v oblasti ve stěně bifurkace a. carotis communis a aortálním oblouku. Centrální chemoreceptory jsou lokalizovány v oblasti předního okraje míchy v blízkosti cerebrospinalního moku. Mezi vnímavostní centrálních a

periferních receptorů existují rozdíly a hodnocení odpovědi receptorů na změny vnitřního prostředí (hypoxické, hyperkapnické stimuly, případně změny pH) není jednoduché. Funkce chemoreceptorů stále není zcela objasněna. Obecně lze však shrnout, že chemoreceptory reagují na změny všech tří parametrů. Hlavním stimulem pro respiraci je změna  $P_aCO_2$ . Díky své dobré rozpustnosti má  $CO_2$  schopnost difundovat do mozku a ovlivnit koncentraci  $H^+$ , čímž ovlivní ventilaci. Regulační systém reaguje již na změnu o 0,133 kPa (1 mmHg).  $CO_2$  stimuluje jak centrální tak i periferní receptory. Pokles  $P_aO_2$  stimuluje periferní chemoreceptory. Dechový objem a frekvence stoupá. Dýchání je zvýšeno při poklesu  $P_aO_2$  na 6,6 – 7,9 kPa (50 – 60 mmHg). Centrální i periferní chemoreceptory mohou být stimulovány i poklesem pH. Jak metabolická, tak i respirační acidemie zvyšuje ventilaci. Dýchání může být ovlivněno i změnou pH likvoru, např. při cévní mozkové příhodě nebo nitrolebním krvácení způsobí hyperventilaci.

Impulsy k dechu jsou vysílány z motoneuronů v prodloužené míše inervujících inspirační a expirační svaly. Axony motoneuronů probíhají míchou a odstupují v různých úrovních páteře. V úrovni obratle C3 – C5 odstupují axony, jenž inervují bránici. Nervová zakončení odstupující v oblasti hrudních obratlů inervují příslušné mezižeberní svaly. Na tento poznatek je podstatné myslet u pacientů s poraněním páteře.

Na rozdíl od alveolární ventilace, jenž probíhá ve dvou fázích (inspirium, expirium), neurogení regulace funguje ve třech fázích (inspirium, postinspirační fáze, expirium). Při vdechu stoupá aktivita v inspiračních svalech a hrudník se rozšiřuje. V postinspirační fázi svaly uplatněné při vdechu ochabují a začíná pasivní expirium. Třetí navazující fází je aktivní výdech, při němž je aktivováno expirační svalstvo. Při klidovém dýchání se dechový rytmus skládá pouze z inspira a postinspirační fáze. Dechový cyklus v klidovém stavu je charakterizován dechovou frekvencí 10 – 20 dechů/min, celkovou délkou dechového cyklu 3 – 6 s, délkou inspirační fáze 1 – 2,5s, délkou expirační fáze 2 – 3,5s. [6,8]



## 2.3 Respirační insuficience

Respirační insuficience (dechová nedostatečnost) je patologický stav respiračního systému, charakterizovaný poruchou transportu kyslíku plicemi z atmosféry do krve, nedostatečným zásobováním tkání kyslíkem, případně nedostatečnou eliminací CO<sub>2</sub> plicemi. Systém není schopen udržet parciální tlak kyslíku v arteriální krvi (P<sub>a</sub>O<sub>2</sub>) nad 8 kPa a parciální tlak oxidu uhličitého v arteriální krvi (P<sub>a</sub>CO<sub>2</sub>) pod hodnotu 6 kPa. [8,9,10]

### 2.3.1 Klinické projevy hrozící respirační insuficience

- **Dušnost**

V časných fázích poruchy lze pozorovat dušnost (dyspnoe). Dušnost lze vnímat jako subjektivní pocit nedostatku vzduchu spojený s potřebou zvýšit ventilační úsilí. Pro zhodnocení naléhavosti stavu je nutné správné určení stupně dušnosti. Jednotlivé stupně dušnosti jsou uvedeny v tabulce 3. [10]

Tabulka 3: Stupeň dušnosti [10]

0	Fyziologická dušnost
I	Námahová dušnost
II	Klidová dušnost
IIa	Ortopnoe
III	Asfixie

Fyziologická dušnost je charakteristická pro pobyt v jedince v prostředí chudém na kyslík, např. ve velkých nadmořských výškách nebo v uzavřeném prostoru.

S námahovou dušností se lze setkat, pokud je překročena klidová hodnota dechové práce zhruba 5krát. Nástup námahové dušnosti je individuální a závisí na trénovanosti.

Klidová dušnost vzniká bez souvislosti s tělesnou námahou. Tento typ dušnosti vždy vyžaduje objasnění a pečlivé vyšetření.

Ortopnoe je naléhavá forma klidové dušnosti. Pacient vyhledává úlevovou polohu ve stoje nebo v sedě (ortopnoická poloha). V průběhu lze pozorovat zapojení auxiliárního svalstva.

Asfyxie je život ohrožující stav bez možnosti kompenzace. Dochází k hypoxii a hyperkapnii vzniklé na podkladě zástavy ventilace. [10]

- **Bradypnoe**

Bradypnoe se vyznačuje poklesem dechové frekvence pod 8 dechů/min.

- **Tachypnoe**

Tachypnoe je charakterizováno jako zvýšení dechové frekvence nad 35 dechů/min.

- **Zapínání auxiliárního svalstva, paradoxní dýchání**

- **Psychomotorický neklid**

- **Cyanóza**

Cyanóza se vyznačuje modrým zabarvením kůže nebo sliznic. Toto zabarvení je pozorovatelné, vystoupá-li množství redukovaného hemoglobinu nad 50 g/l krve.

Při sníženém množství hemoglobinu (anemie) bývá vznik cyanózy obtížný (nedostatek hemoglobinu). U jedinců, kde je počet erytrocytů vysoký, např. novorozenci vzniká cyanóza velice snadno. Cyanóza se dělí na dva typy, centrální a periferní.

Centrální cyanóza indikuje, že množství redukovaného hemoglobinu je zvýšeno v celém oběhu. Její výskyt je znatelný i na teplých sliznicích (jazyk, ústa). Stoupá viskozita krve a tím i její odpor při pohybu krevním řečištěm.

Periferní cyanóza vzniká lokální stagnací krve, způsobenou trombotickou venostázou nebo chladovou konstrikcí arteriol a venul. [14]

- **Změny acidobazické rovnováhy**

Fyziologické hodnoty krevních plynů:

$P_{aCO_2} = 4,7 - 6,0$  kPa

pH = 7,35 - 7,45

$P_{aO_2} = 9,3 - 13,3$  kPa

BE = -2 až +2 mmol/l

$HCO_3^- = 22 - 26$  mmol/l

$S_{aO_2} = 95\% - 98\%$

Tabulka 4. Změny acidobazické rovnováhy (↑ = zvýšen, ↓ = snížen, N = norma)

Změny ABR		$P_{aCO_2}$	pH	$HCO_3^-$	BE
Respirační acidóza	Akutní	↑	↓	N	N
	Kompenzovaná	↑	N	↑	↑
Respirační alkalóza	Akutní	↓	↑	N	N
	Kompenzovaná	↓	N	↓	↓
Metabolická acidóza	Akutní	N	↓	↓	↓

	Kompenzovaná	↑	N	↓	↓
Metabolická alkalóza	Akutní	N	↑	↑	↑
	Kompenzovaná	↑	N	↑	↑

### 2.3.2 Členění respirační insuficience

- **Akutní a chronická respirační insuficience**

Akutní respirační insuficience se vyvíjí rychle, v řádech minut. Svým průběhem ohrožuje organismus hypoxií. Během tohoto stavu také dochází k poklesu pH a vzniká akutní respirační acidóza.

Chronická respirační insuficience vzniká postupně. Ve většině případů bývá spojena s dlouhodobým plicním onemocněním, kde bývá přítomen emfyzém. Tento stav se obvykle manifestuje zbytněním pravé komory srdeční, kdy lze pozorovat změny i na záznamu EKG. Hodnota  $P_{aO_2}$  klesá a  $P_{aCO_2}$  stoupá. Vzniklá respirační acidóza je kompenzována činností ledvin. [9, 11]

- **Parciální a globální respirační insuficience**

Následkem poklesu  $P_{aO_2}$  pod 6,5 kPa, při frakci kyslíku ( $FiO_2 = 0,21$ ) a zachování fyziologického  $P_{aCO_2}$  vzniká parciální respirační insuficience.

Pokles  $P_{aO_2}$  pod 6,5 kPa, a zároveň vzestup  $P_{aCO_2}$  nad 6,0 kPa je charakteristický pro globální respirační insuficienci. [11]

- **Latentní a manifestní respirační insuficience**

Latentní neboli skrytou respirační insuficienci lze objevit pouze při zvýšené námaze, kdy jsou patrné změny parciálních tlaků krevních plynů.

Manifestní respirační insuficience je prokazatelná při vyšetření krevních plynů i v klidovém stavu. [8]

- **Kompenzovaná a dekompenzovaná respirační insuficience**

Rozdíl mezi kompenzovanou a dekompenzovanou respirační insuficiencí závisí na hodnotě pH. Při kompenzované formě je hodnota pH udržována v normě. Dekompenzovaná respirační insuficience je význačná poklesem pH pod 7,35 a následným rozvojem acidózy. [7,8]

### **2.3.3 Patofyziologie příčin vzniku respirační insuficience**

Respirační insuficience vzniká na základě poruch dýchání v plicích (poruchy ventilace, distribuce ventilace, difuze, perfuze, poruchy vztahu ventilace/perfuze) nebo poruch transportu dýchacích plynů mezi plícemi a tkáněmi (nedostatečnost kardiovaskulární, snížená kapacita krve pro dýchací plyny, porucha výměny plynů mezi krví a tkáněmi, Rossierova pseudoinsuficience).

- **Poruchy ventilace**

Nedostatečná ventilace může být zapříčiněna poruchou nervové regulace, poruchou obstruktivní, kardiální nebo restriktivní.

Poškození nervové regulace centrálního původu je způsobeno útlumem dechového centra. Funkce dechového centra může být negativně ovlivněna kraniocerebrálním poraněním, náhlou cévní mozkovou příhodou, intracerebrálním krvácením, tumorem, transverzální míšní lézí v oblasti krční či hrudní páteře nebo intoxikací (předávkování opioidy, barbituráty). [6]

K periferním příčinám poruch nervové regulace lze zařadit určité neuromuskulární poruchy. Toxickým či zánětlivým působením vznikají polyneuritidy. Do této skupiny lze zařadit i Guillain – Barré syndrom. Jedná se o zánětlivé onemocnění postihující převážně periferní nervy, vycházející z míchy. Postižení nervů a jejich obalů má za následek výpadek jejich funkce. Další problém může nastat na úrovni nervosvalového přenosu. Vzniklý stav může být vyvolán podáním periferních svalových relaxancií (iatrogení poškození), hadím uštknutím (neurotoxiny), botulotoxinem nebo onemocněním zvaným Myasthenia gravis. Jedná se o autoimunitní onemocnění, kdy vlastní protilátky napadnou a zablokují struktury nervosvalové ploténky, na které se váže acetylcholin, a tudíž vyřadí sval z provozu. Ventilace může být znemožněna i ochabnutím respiračního svalstva, např. následkem zvýšené dechové práce (WOB) u obstruktivních onemocnění (CHOPN, Asthma bronchiale), kdy je ventilační práce uplatňována i při expiriu.[6, 9, 10, 12, 13]

Obstruktivní poruchy ventilace jsou vyvolány zúžením bronchiálního stromu. Průchodnost dýchacích cest může omezit edém, zvýšená sekrece, spasmus bronchiální svaloviny. Spasmus obvykle vzniká následkem chronické obstruktivní bronchitity, asthma bronchiale, obstruktivním emfyzémem.

Restriktivní poruchy ventilace se vyznačují zmenšením celkové dýchací plochy plic. Dochází k patologickým změnám expanzibility plic při pneumotoraxu, hemotoraxu, pleurálním výpotku a intersticiálních fibróze. V závislosti na poruchách ventilace vznikají její patologické typy, jenž se vyznačují rozdílnými vlastnostmi dechu. [6] V tabulce 5. je uveden přehled patologických typů ventilace a poruch které jsou s nimi spojeny.

*Tabulka 5. Přehled patologických typů ventilace [17,18]*

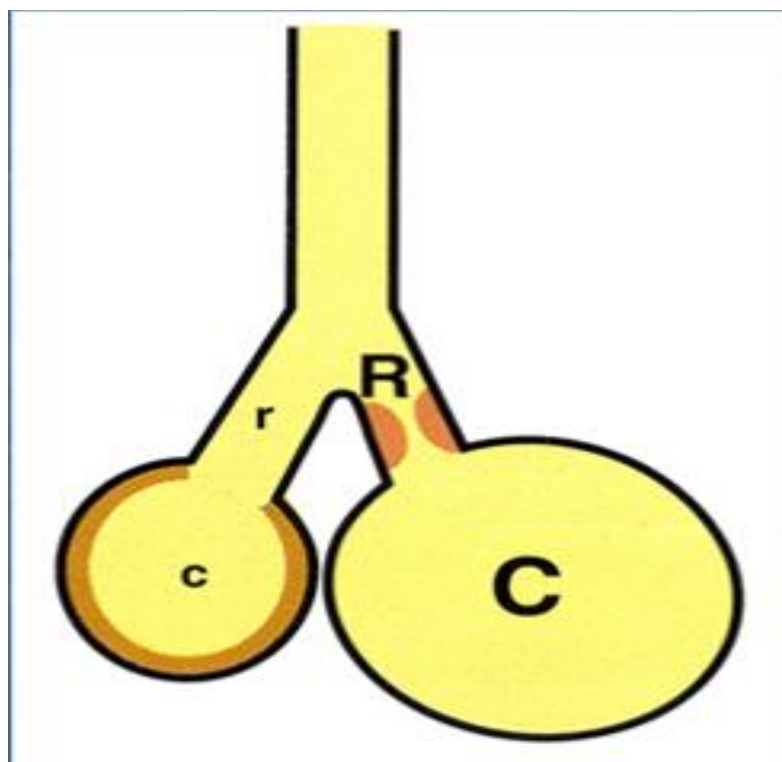
Patologický typ ventilace	Klinický obraz
---------------------------	----------------

Kussmaulovo dýchání	Pravidelná hyperventilace vyskytující se při metabolické acidóze, léze v oblasti pontu, intersticiálních plicních procesech.
Periodické dýchání (Cheyne-Stokes)	Vyskytuje se fyziologicky u dětí a starších lidí ve spánku. Patologicky se projeví při sníženém prokrvení mozku (kardiální insuficience, šok, ateroskleróza).
Ataktické dýchání (Biotovo)	Léze medulla oblongata, meningitidy, terminální stav.
Lapavé vdechy (Gaspung)	Prodłużující se pauzy mezi dechy při náhlé zástavě oběhu. Prohlubující se hypoxie mozkového kmene.
Tachypnoe, Bradypnoe	Vzniká při narušení acidobazické rovnováhy, neurologických příčinách, působením léčiv (opioidy)

- **Poruchy distribuce ventilace**

Poruchy distribuce ventilace lze chápat jako stavy, kdy alveoly prochází dostatečné množství dýchacích plynů za jednotku času, ale důsledkem regionálních změn compliance nebo rezistance nejsou alveoly dýchacími plyny rovnoměrně plněny. Při těchto poruchách dochází ke snížení oxygenace. Hyperkapnie však vzniknout nemusí. Oblasti plic se shodnými mechanickými vlastnostmi je možno rozdělit do čtyř skupin, kde existují čtyři kombinační možnosti. Velká compliance s velkou rezistance, malá compliance s malou rezistance, malá compliance s velkou rezistance, velká compliance s malou rezistance. Pro lepší pochopení rozdílů distribuce ventilace v plicích lze stejnorodé podjednotky plic (skupiny) označit jako kompartmenty. Plicní kompartment je vyjádřen časovou konstantou  $\tau$ , danou součinem rezistance a compliance. Časová konstanta  $\tau$  je míra rychlosti jakou se plní či vyprázdňuje uvažovaný kompartment.  $1\tau$  udává čas nezbytný k vyprázdnění 63% dechového objemu (VT). Ke kompletnímu vyprázdnění plic je zapotřebí nejméně  $3\tau$ . Skupiny různě plněných částí plic lze redukovat na model o dvou kompartmentech (rychlý a pomalý kompartment). Rychlý kompartment se vyznačuje malou časovou konstantou  $\tau$ , tzn. kompartment s malou compliance i rezistance se při konstantním

tlaku plní velmi rychle. Pomalý kompartment je charakteristický velkou časovou konstantou  $\tau$ . Větší compliance i rezistance zapříčiní pomalé plnění kompartmentu. Na obrázku 10. je znázorněn kompartmentový model plic (rychlý a pomalý kompartment). Pozn: R – velká rezistance, r – malá rezistance, C – velká compliance, c – malá compliance.



Obrázek 10. Kompartmentový model plic [6]

Pendeluft, neboli kyvadlová ventilace probíhá mezi dvěma kompartmenty s rozdílnými časovými konstantami. Větší část inspirovaného vzduchu je distribuována do kompartmentů s malou časovou konstantou. Po ukončení inspiria nastává konec proudění, tzv. no flow fáze. Na základě vzniklých tlakových gradientů mezi kompartmenty probíhá redistribuce. Plyn proudí z rychlých kompartmentů do pomalých.

Oblasti pomalých kompartmentů vznikají jako důsledek obstruktivní choroby bronchopulmonální. Rychlé kompartmenty souvisí s restriktivním plicním



onemocněním. V tabulce 6. jsou hodnoty časových konstant. Kde  $R \times C$  vyjadřuje součin rezistance a compliance a  $\tau$  časovou konstantu. [6,7,8]

*Tabulka 6. Hodnoty časových konstant u jednotlivých stavů [6]*

	$R \times C$	$\tau$
Dospělý (normální hodnota)	$2 \times 0,1$	0,2 s
Intubovaný dospělý	$3 \times 0,06$	0,3 s
Dospělý s CHOPN	$15 \times 0,06$	0,9 s
Dospělý s ARDS	$8 \times 0,03$	0,24 s
Dítě s ARDS	$5 \times 0,01$	0,05 s

- **Poruchy difuze**

Poruchy difuze jsou důsledkem ztlustění alveolokapilární membrány, redukcí difuzní plochy, zkrácení kontaktního času mezi protékající krví a prostupujícími dýchacími plyny, poruch poměru ventilace a perfuze.

Při ztlustění alveolární a kapilární stěny, např. při chronickém srdečním městnání, intersticiální plicní fibróze, sklerodermii, kolagenóze, intersticiálním plicním edému či alveolárním karcinomu, se prodlouží dráha difuze mezi alveoly a erytrocyty. Difusní dráha může být rovněž prodloužena intravaskulárním prostorem při anemii.

K nedostatečné difuzi může vést redukce plochy, na které je uskutečněna. Difusní plocha bývá zmenšena pneumektomií, senilním emfyzémem či pneumotoraxem. Ve zbývajících částech probíhá difuze fyziologicky.

K dalším faktorům, jež mohou narušit průběh difuze, patří zkrácení kontaktního času. Střední tranzitní čas krve v kapilárách činí 0,8 s. Potřebný čas umožňující vyrovnání parciálních tlaků  $O_2$  a  $CO_2$  je 0,25 s. Snížením počtu kapilár při nezměněném srdečním výdeji dochází ke zkrácení kontaktního času. Při intersticiálních plicních onemocněních (plicní fibrózy, plicní emfyzém) stoupá srdeční výdej a kontaktní čas rovněž klesá.

Poruchami difuze je ovlivněna především oxygenace. Průběh výměny  $CO_2$  nebývá ovlivněn. [6,14]

- **Poruchy perfuze**

Nedostatečným průtokem krve kapilárním řečištěm plic obtékajícím alveoly vzniká alveolární mrtvý prostor ( $VD_{alv}$ ). Plicní cirkulace může být omezena, např. při nitrosrdečním pravo-levém zkratu. Uzávěrem plicního řečiště, např. vznikem plicní embolie může perfuze zcela chybět. Výměna dýchacích plynů je omezena nebo zcela znemožněna. Fyziologický mrtvý prostor, jak již bylo uvedeno výše, tvoří 30% dechového objemu ( $VT$ ), což znamená, že kvocient mrtvého prostoru  $VD/VT = 0,3$ . Spontánní dýchání se stává nemožné při hodnotě  $VD/VT = 0,7$ . Pacient produkuje více  $CO_2$  než je schopen spontánním dýcháním vyloučit. [6]

- **Poruchy vztahu ventilace/perfuze ( $V/Q$ )**

V patologických situacích vznikají v plicích nejružnější odchylky od fyziologického poměru ventilace a perfuze (0,8). Rozlišujeme dva základní typy poruch poměru V/Q. Neventilovaný plicní venózní zkrat a neperfundovaný alveolární mrtvý prostor. Oba typy poruch poměru V/Q jsou schopny zapříčinit poruchy difuze.

Nízký poměr V/Q (plicní venózní zkrat) vzniká sníženou ventilací nebo relativně zvýšenou perfuzí vůči ventilaci. Alveolus se zachovalou perfuzí není ventilován. Hodnoty dýchacích plynů v krvi odtékající z tohoto typu alveolu se rovnají venózní krvi. Venózní příměs spojená se snížením  $P_{aO_2}$  je příčinou hypoxemie. Při vysokém rozsahu nízkého poměru V/Q vzniká hypoxie tkání, až hypoxická nedostatečnost plic. Snížený obsah kyslíku v krvi nelze kompenzovat zvýšenou ventilací fyziologicky fungujících alveolů, neboť hemoglobin je nasycen téměř 100% i při normální ventilaci.

Vysoký poměr V/Q (alveolární mrtvý prostor) se vyskytuje v neperfundovaných, ale normálně nebo zvýšeně ventilovaných alveolech. Příkladem tohoto stavu mohou být alveoly postižené plicní embolií. Vzduch ve ventilovaných alveolech má vysoké  $P_{AO_2}$  a nízké  $P_{ACO_2}$ . Zvýšením ventilace neporušených alveolů se obsah kyslíku v krvi rovněž nezvýší, naopak dochází ke snížení  $P_{aCO_2}$ , jenž vyvolá respirační alkalózu.

Poruchy V/Q se u daného jedince mohou navzájem kombinovat. Jako příklad lze uvést plíce poškozené embolií. V částech, kde došlo k uzávěru plicního řečiště, se nachází alveolární mrtvý prostor. Krev, jenž nemohla protéct uzavřenými částmi plic se nahromadí v alveolech nezasažených uzávěrem. Dojde ke snížení poměru V/Q. [14]

Možné kombinace poruch poměru ventilace a perfuze nalezneme v tabulce 7.

Tabulka 7. Možné kombinace poruch V/Q [6]

Kombinace poruch	Příčiny	Důsledky
Rovnoměrná ventilace – nerovnoměrná perfuze	Obstrukce a. pulmonalis, plicní mikroembolisace, pravo – levé nitrosrdeční zkratky	Zvýšení poměru V/Q a zvýšení funkčního VD, PaO <sub>2</sub> , SaO <sub>2</sub> jsou snižené nebo v normě
Nerovnoměrná ventilace – rovnoměrná perfuze	Asthma bronchiale	V hypoventilovaných alveolech je zachována perfuze (neuvažujeme alveolovaskulární reflex), nepostížené alveoly jsou hyperventilovány a více perfundovány
Nerovnoměrná ventilace – nerovnoměrná perfuze (kompenzovaná)	Normální stav	Horní partie plic více ventilovány a méně perfundovány. Ve spodních partiích plic je situace opačná. Výsledný poměr V/Q fyziologický.
	Plicní mikroembolizace	V místě snížené perfuze se sníží i alveolární ventilace.
	Bronchopneumonie, bronchospazmy	V místě snížené alveolární ventilace se sníží perfuze.
Nerovnoměrná ventilace – nerovnoměrná perfuze (nekompenzovaná)	Intersticiální plicní fibróza	Těžká hypoxie, hyperkapnie, respirační acidóza
	Alveoly nejsou perfundovány ( $V/Q = 4/0 =$ nekonečno)	
	Alveoly nejsou ventilovány ( $V/Q = 0/5 = 0$ )	

- **Nedostatečnost kardiovaskulární**

Pokud je množství přitékající krve do tkání menší než 25% fyziologické perfúze, rozvíjí se ischemie a s ní spojená hypoxie. Ischemie se může týkat konkrétní tkáně zásobené postiženou cévou, ale za určitých okolností může postihnout i celý organismus. Hypoxie může vzniknout snížením minutového srdečního objemu (při hypovolemickém, obstrukčním či kardiálním šoku) nebo zvýšením minutového srdečního výdeje, např. otevřením Truethových zkratů (při septickém šoku). [6,14]

V prvotní fázi šoku dochází k vazokonstrikci v orgánech s převahou  $\alpha$ -receptorů (plíce, kůže, ledviny, střevo, játra) a centralizaci krevního oběhu, k udržení dostatečné perfúze srdeční a mozkovou tkání. Snížená perfúze plicemi má za následek nárůst funkčního mrtvého prostoru, kde nedochází k výměně dýchacích plynů. Rozvíjí se nepoměr mezi tkáňovou potřebou kyslíku a neschopností organismu kyslík dodat. Tkáně jsou poškozeny poruchou mikrocirkulace a hypoxií. Činností anaerobního metabolismu se rozvíjí laktátová (metabolická) acidóza. [10]

Pravostranné srdeční selhání zpomaluje průtok krve, jež se žilami vrací z tělního oběhu do srdce. Pomalým prouděním krve jsou tkáně vystaveny tzv. stagnační hypoxii. Tento stav může vznikat např. zvýšením nitrohruďního tlaku při umělé plicní ventilaci nebo lokálně trombózou. Dalším důsledkem je městnání v žilním řečišti a poruchy s ním spojené. [14]

Pro počáteční fázi septického šoku je typický zvýšený srdeční výdej a konstrikce arteriol i venul. Otevírají se arteriovenózní zkratky, čímž je znemožněna výměna dýchacích plynů mezi krví a tkáněmi. Klesá periferní odpor a zvyšuje se centrální žilní tlak. V plicích se krev městná a rozvíjí se edém. I přes normální či zvýšenou transportní kapacitu pro kyslík, v důsledku zvýšené tkáňové spotřeby kyslíku vzniká hypoxie a acidóza. Tento děj postihuje i myokard z čehož vyplývá, že dalším

vývojem septického šoku dochází v důsledku kardiomyopatie rovněž k poklesu minutového srdečního výdeje. [10]

- **Snížená kapacita krve pro dýchací plyny**

Kapacita krve pro dýchací plyny závisí na množství nebo kvalitě hemoglobinu.

Snížením množství hemoglobinu v krvi klesá objem kyslíku v pod fyziologickou hodnotu 200 ml/l a rozvíjí se tkáňová hypoxie. Funkce plic i hodnota  $P_{aO_2}$  je však v normě. Pacienti s polovičním množstvím hemoglobinu trpí výraznou námahovou dušností. Při klidových aktivitách fungují bez problémů, protože krevní oběh a metabolismus tkání zůstává nezměněn, tkáňová spotřeba  $O_2$  a rozdíl  $P_{aO_2} - P_{vO_2}$  jsou v normě. Velkým snížením hemoglobinu je rozdíl  $P_{aO_2} - P_{vO_2}$  větší. Klidová spotřeba  $O_2$  ve tkáních zvýšena není. [14]

Hemoglobin může být znehodnocen např. při otravě oxidem uhelnatým (CO). Molekuly plynu se vážou na hemové proteiny za vzniku karboxyhemoglobinu (COHb). Oxid uhelnatý se váže na hemoglobin a blokuje místo pro kyslík. [15]

- **Porucha výměny plynů mezi krví a tkáněmi**

Narušením metabolismu mitochondrií je přerušeno využití kyslíku na buněčné úrovni. Vzniká v důsledku otrav kyanidy. Parciální tlak kyslíku ve venózní krvi je vyšší, protože nebyl spotřebován ve tkáních. Rozdíl  $P_{aO_2} - P_{vO_2}$  je nízký.

Z praktického hlediska je u těchto pacientů měřen pouze  $P_{vO_2}$ . Parciální tlak kyslíku je lékařem udržován na horní hranici. Rozdíl  $P_{aO_2} - P_{vO_2}$  se počítat nemusí. [6,14]

- **Rossierova pseudoinsuficience**

Rossierova pseudoinsuficience je projevem snížení saturace hemoglobinu způsobeným posunutím vazebné křivky pro hemoglobin doprava. Děj vzniká při vysokých horečkách. I při adekvátním  $P_{aO_2}$  je hemoglobin hyposaturován. [6]

#### 2.3.4 Přehled stavů způsobujících respirační insuficienci

Tabulka 8. Stavů způsobující respirační insuficienci [16,17,18]

<u>Poruchy</u>	<u>Specifické stavy</u>
Onemocnění dýchacích cest	Asthma bronchiale
	CHOPN
	Obstrukce horních cest dýchacích
Poškození plicního parenchymu	Pneumonie
	Difuzní intersticiální plicní onemocnění
	Kontuze plic
	Aspirace
	Difuzní alveolární krvácivé syndromy
Onemocnění plicních cév	Trombembolie
	Vzduchová embolie
	Embolie plodovou vodou
Poškození hrudní stěny, bránice a pleury	Zlomeniny žeber
	Vlající hrudník
	Abdominální distenze a abdominální kompartment syndrom
	Pleuritida
Poškození plic	Pneumotorax
	Hemotorax
	Hydrotorax
	Plicní edém

	<b>Atelektázy</b>
<b>Neuromuskulární poruchy</b>	<b>Primární neuromuskulární poškození</b>
	<b>Poliomyelitidy</b>
	<b>Myasthenia gravis</b>
	<b>Poranění páteře</b>
	<b>Poranění nebo dysfunkce n. phrenicus</b>
	<b>Hypokalémie, hypofosfátemie</b>
	<b>Toxiny, léčiva</b>
	<b>Otrava organofosfáty</b>
<b>Poškození centrálního nervového systému</b>	<b>Sedativa, hypnotika, opioidy, anestetika</b>
	<b>Poškození dechového centra</b>
	<b>Intrakraniální hypertenze</b>
	<b>Infekce centrálního nervového systému</b>
<b>Zvýšená produkce CO<sub>2</sub></b>	<b>Horečka</b>
	<b>Infekce</b>
	<b>Nadměrná funkce štítné žlázy</b>
	<b>Nadbytečný příjem sacharidů a kalorií</b>
	<b>Křečové stavy</b>
<b>Ostatní</b>	<b>Psychogenní</b>
	<b>Strangulace</b>



## **2.4 Indikace k zahájení umělé plicní ventilace**

Umělá plicní ventilace je děj, při kterém je plně nebo částečně zajištěn průtok plynů respiračním systémem pomocí přístroje. Jedná se o krátkodobě nebo dlouhodobě využívanou podporu ventilační nebo oxygenační funkce respiračního systému, který je vážně poškozen nebo jeho poškození hrozí.

Před zahájením umělé plicní ventilace je nutné stanovit její cíl a klinické odůvodnění. American College of Chest Physicians' Consensus Conference v roce 1993 formulovala cíle umělé plicní ventilace a rozdělila je na patofyziologické a klinické.

### **2.4.1 Patofyziologické cíle**

- Podpora nebo jiná manipulace s výměnou plynů v plicích (Podpora alveolární ventilace, Podpora arteriální oxygenace)
- Ovlivnění velikosti plicního objemu (Endinspirační plicní objem, Funkční reziduální kapacita)
- Snížení dechové práce (Snížení práce dýchacích svalů)

### **2.4.2 Klinické cíle**

- Zvrat hypoxie
- Zvrat dechové tísně
- Zvrat akutní respirační acidózy
- Prevence a zvrat atelektáz
- Zvrat únavy dýchacího svalstva
- Umožnění sedace nebo neuromuskulární blokády
- Snížení systémové nebo myokardiální kyslíkové spotřeby
- Snížení nitrolebního tlaku
- Stabilizace hrudní stěny [19]

K rozhodnutí převedení pacienta na umělou plicní ventilaci v terénu přistoupíme pouze tehdy, pokud jsou ostatní možnosti léčby skutečně vyčerpány (např. oxygenoterapie, farmakologická léčba). Umělá plicní ventilace usnadní bezprostřední přežití na místě události. Následný návrat pacienta do normálního života je ovšem dlouhodobý a komplikovaný. (odvykání pacienta od ventilátoru).

V nemocniční péči pacient prochází důkladným vyšetřením, kdy jsou hodnoceny parametry oxygenace, ventilace, plicní mechaniky. Pacientovi je provedeno funkční vyšetření plic. Dále je posuzován celkový stav nemocného, jeho prognóza, odpověď na předchozí konzervativní léčbu.

Zahájení umělé plicní ventilace v přednemocniční péči je limitováno časem a je omezeno pouze na ohrožující neodkladné stavy. Před napojením pacienta na ventilátor vždy zkusíme všechny ostatní alternativy. K rozhodnutí napomohou určité parametry. Apnoe, přetrvávající frekvence nad 35/min, těžká dušnost se zapojením auxiliárního svalstva, paradoxní dýchání, příznaky vyčerpání, somnolence až kóma, vzrůstající hypoxemie ( $P_{aO_2}$  pod 8 kPa při oxygenoterapii), nárůst hyperkapnie ( $P_{aCO_2}$  nad 7 kPa), bradykardie, hypotenze. Umělá plicní ventilace by neměla sloužit jako definitivní řešení problému, ale pouze k překonání kritického období. [20]

Zahájení umělé plicní ventilace a nastavení režimů by mělo probíhat nejméně invazivní cestou. Zde jsou postupně seřazeny kroky při zahájení umělé plicní ventilace.

- I. Umělá plicní ventilace bez mechanické podpory.
- II. Umělá plicní ventilace s mechanickou podporou.
- III. Řízená plicní ventilace s použitím PEEP.
- IV. Řízená plicní ventilace s použitím PEEP a inverzního poměru. [9]

**2.4.3 Kompetence zdravotnického záchranáře dle vyhlášky 55/2011Sb., o činnostech zdravotnických pracovníků a jiných odborných pracovníků**

**§ 17**

**Zdravotnický záchranář**

(1) Zdravotnický záchranář vykonává činnosti podle § 3 odst. 1 a dále bez odborného dohledu a bez indikace vykonává činnosti v rámci specifické ošetrovatelské péče při poskytování přednemocniční neodkladné péče, a dále při poskytování akutní lůžkové péče intenzivní, včetně péče na urgentním příjmu. Přitom zejména může

- a) monitorovat a hodnotit vitální funkce včetně snímání elektrokardiografického záznamu, průběžného sledování a hodnocení poruch rytmu, vyšetření a monitorování pulzním oxymetrem,
- b) zahajovat a provádět kardiopulmonální resuscitaci s použitím ručních křísicích vaků, včetně defibrilace srdce elektrickým výbojem po provedení záznamu elektrokardiogramu,
- c) zajišťovat periferní žilní nebo intraoseální vstup, aplikovat krystaloidní roztoky a provádět nitrožilní aplikaci roztoků glukózy u pacienta s ověřenou hypoglykemií,
- d) provádět laboratorní vyšetření určená pro neodkladnou péči a hodnotit je,
- e) obsluhovat a udržovat vybavení všech kategorií dopravních prostředků, řídit pozemní dopravní prostředky, a to i v obtížných podmínkách jízdy s využitím výstražných zvukových a světelných zařízení,
- f) provádět první ošetření ran, včetně zástavy krvácení,
- g) zajišťovat nebo provádět bezpečné vyproštění, polohování, imobilizaci, transport pacientů a zajišťovat bezpečnost pacientů během transportu,
- h) vykonávat v rozsahu své odborné způsobilosti činnosti při řešení následků mimořádných událostí při provádění záchranných a likvidačních prací v rámci integrovaného záchranného systému,
- i) zajišťovat v případě potřeby péči o tělo zemřelého,

- j)** přejímat, kontrolovat a ukládat léčivé přípravky<sup>10)</sup>, manipulovat s nimi a zajišťovat jejich dostatečnou zásobu,
- k)** přejímat, kontrolovat a ukládat zdravotnické prostředky<sup>11)</sup> a prádlo, manipulovat s nimi a zajišťovat jejich dezinfekci a sterilizaci a jejich dostatečnou zásobu,
- m)** provádět neodkladné výkony v rámci probíhajícího porodu a první ošetření novorozence,
- n)** přijímat, evidovat a vyhodnocovat tísňové výzvy z hlediska závažnosti zdravotního stavu pacienta a podle stupně naléhavosti, zabezpečovat odpovídající způsob jejich řešení za použití telekomunikační a sdělovací techniky,
- o)** provádět telefonní instruktáž k poskytování první pomoci a poskytovat další potřebné rady za použití vhodného psychologického přístupu,
- p)** zavádět a udržovat inhalační a kyslíkovou terapii.

**(2)** Zdravotnický záchranář při poskytování přednemocniční neodkladné péče, a dále při poskytování akutní lůžkové péče intenzivní, včetně péče na urgentním příjmu může bez odborného dohledu na základě indikace lékaře vykonávat činnosti při poskytování diagnostické a léčebné péče. Přitom zejména může

- a)** zajišťovat dýchací cesty dostupnými pomůckami, zavádět a udržovat inhalační kyslíkovou terapii, zajišťovat přístrojovou ventilaci s parametry určenými lékařem, pečovat o dýchací cesty pacientů i při umělé plicní ventilaci,
- b)** podávat léčivé přípravky<sup>10)</sup>, včetně krevních derivátů<sup>12)</sup>,
- c)** asistovat při zahájení aplikace transfuzních přípravků<sup>13)</sup> a ošetřovat pacienta v průběhu aplikace a ukončovat ji,
- d)** provádět katetrizaci močového měchýře žen a dívek nad 10 let,
- e)** odebírat biologický materiál na vyšetření.

**(3)** Zdravotnický záchranář dále při poskytování přednemocniční neodkladné péče, a dále při poskytování akutní lůžkové péče intenzivní, včetně péče na urgentním příjmu, vykonává činnosti podle § 4 odst. 1 písm. d), f), n), r).

## **2.5 Zajištění průchodnosti dýchacích cest v přednemocniční neodkladné péči**

Úspěšné provedení umělé plicní ventilace závisí na zajištění průchodnosti dýchacích cest. Té lze dosáhnout bez pomůcek, zvednutím brady a záklonem hlavy nebo předsunutím dolní čelisti. V případě podezření na poranění krční páteře, lze užít tzv. Esmarchův hmat. Úhel dolní čelisti obejmeme prsty a bradu palci. Tlakem prstů předsuneme dolní čelist a palci otevíráme ústa.

Pokud je pacient stále při vědomí a je pravděpodobné, že je vdechnuto cizí těleso, které pacient není schopen kašlem odstranit, je možno provést Gordonův manévr. Ten spočívá v několika úderech mezi lopatky. U kojenců je prováděn odlišně než u větších dětí a dospělých. Kojence položíme na předloktí horní končetiny. Jeho obličejová část směřuje k zemi. Poté provedeme několik úderů mezi lopatky. Další možností, pokud úderů mezi lopatky selhaly, je Heimlichův manévr. Pacienta obejmeme zezadu a obě své ruce spojíme v oblasti epigastria, kterou několikrát stiskneme směrem k bránici. Tento postup není vhodný u dětí mladších 1. roku.

U pacientů v bezvědomí je vhodné kromě záklonu hlavy či Esmarchova hmatu použít pomůcky k zajištění dýchacích cest. Pomůcky dělíme na neinvazivní (obličejová maska, přiléhající celoobličejová maska) a invazivní. Ty lze rozčlenit na supraglotické (ústní vzduchovod, nosní vzduchovod, laryngeální tubus, laryngeální maska, I – gel, kombitubus) a infraglotické (tracheální rourka). Pokud selžou výše uvedené postupy a pomůcky, je nutno přistoupit ke koniotomii. [2] Na obrázku 11 lze spatřit obličejovou masku připojenou k ručnímu dýchacímu přístroji.



*Obrázek 11 Obličejová maska s bakteriálním filtrem a ručním dýchacím přístrojem (Ambu) [vlastní zpracování]*

#### **2.5.1 Ústní vzduchovod (Guedelův)**

Jedná se o plochou trubici, jenž svým tvarem kopíruje zakřivení hřbetu a kořene jazyka. V části uložené mezi řezáky se nachází protiskusová vložka. Je určen pro krátkodobé zajištění dýchacích cest. Vhodná velikost při použití vzduchovodu se určí jeho přiložením ve funkční poloze, od koutku k úhlu dolní čelisti. Při zavádění do úst nejprve směřujeme konkavitou směrem vzhůru. Dosažením měkkého patra vzduchovod otočíme o 180° a zasuneme do správné polohy. Tento typ vzduchovodu není vhodné zavádět při výbavných reflexech, kdy hrozí riziko zvracení nebo laryngospazmu. [2,10]

#### **2.5.2 Nosní vzduchovod (Wendelův)**

Nosní vzduchovod (viz obrázek 12) je tvořen jednoduchou zahnutou trubicí se šikmým seříznutím na distálním konci a terčovitým štítkem na proximálním konci. Vhodnou délku lze určit přiložením vzduchovodu směrem od hrotu nosu k ušnímu lalůčku. Tento typ vzduchovodu lze s výhodou užít i u pacientů s maxilofaciálním

poraněním. K rizikům spojeným s užitím nosního vzduchovodu patří poranění nosní sliznice s následným krvácením. Jeho užití není vhodné při poranění baze lebny, kdy hrozí zavedení do intrakrania. [10]



Obrázek 12 Nosní vzduchovod (Rusch30) [vlastní zpracování]

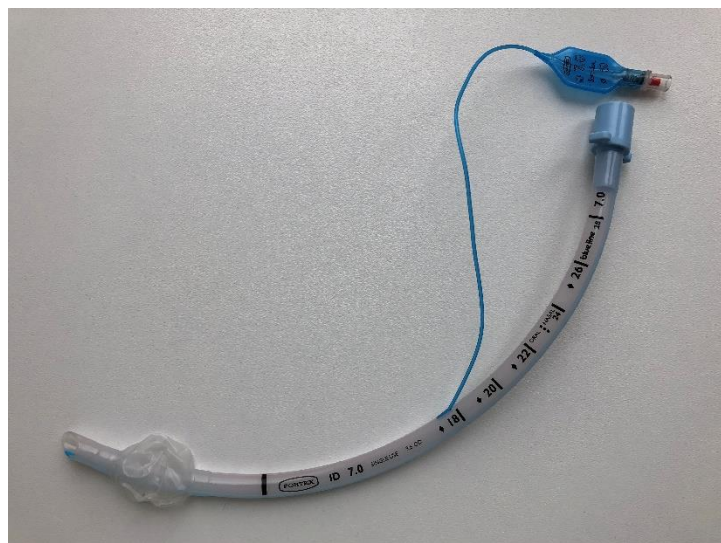
### 2.5.3 Tracheální rourka

Tracheální rourka (viz obrázek 13) je infraglotická pomůcka sloužící k zajištění dýchacích cest pomocí tracheální intubace. Jedná se o anatomicky tvarovanou trubici, jejíž distální konec (směrem k pacientovi) je zakončen nízkotlakovou vysokoobjemovou obturační manžetou. Tracheální rourky jsou dostupné ve velikostech od 2,5 do 9. Jsou dostupné pro všechny věkové kategorie. Existuje mnoho typů a modifikací tracheálních rourek. Nejširší využití poskytuje tzv. Magillova tracheální rourka. Na svém distálním konci je vybavena tzv. Murphyho postranním okénkem, zajišťujícím průchodnost systému, při obturaci distálního otvoru.

Tracheální rourka se zavádí pomocí přímé laryngoskopie mezi hlasivkové vazy do trachey. Po zavedení je nutné auskultačně překontrolovat její správnou polohu. Podle indikace je možno zavést tracheální rourku buď orotracheálně nebo nasotracheálně.

Výhodou tracheální rourky je ochrana dýchacích cest proti aspiraci. Nevýhodou je vyšší riziko neúspěšného zavedení, či poranění dýchacích cest. Tracheální intubaci

by měl provádět pouze zkušený lékař nebo zdravotnický záchranář pro urgentní medicínu (záchranář se specializací, jež má kompetence provádět tracheální intubaci).



Obrázek 13 Endotracheální rourka velikost 7 (Portex) [vlastní zpracování]

#### 2.5.4 Laryngeální maska

Laryngeální masku tvoří nafukovací silikonový korpus a flexibilní tubus. Distální konec tubusu (konec směrem k pacientovi) je doplněn dvěma můstky, které brání uzávěru otvoru epiglottis. Masku se zavádí naslepo v neutrální poloze hlavy. Ústí masky směřuje směrem k dolní čelisti. Před zavedením odsajeme vzduch z nafukovací manžety a zadní plochu masky (směrem k měkkému patru) potřeme gelem. Nejprve tlačíme masku k tvrdému patru, poté posouváme ke kořeni jazyka a k zadní stěně faryngu. Následně uchopíme konec tubusu a plynule zavádíme do faryngu až ucítíme odpor. Tímto okamžikem se maska nachází v hypofaryngu. Nafoukneme těsnící manžetu, připojíme ruční dýchací přístroj nebo ventilátor, zkontrolujeme správnou pozici pomocí auskultace a užitím kapnometru.

Správná velikost laryngeální masky se volí podle pohlaví, věkové kategorie a tělesné konstituce pacienta. K dispozici je 7 možných velikostí (1, 1,5, 2, 2,5, 3, 4, 5). Laryngeální maska může mít další modifikace, jež se uplatňují jako alternativa při



obtížné tracheální intubaci, např. Intubační laryngeální maska Fastrach umožňuje intubaci naslepo. Laryngeální maska Supreme je díky svému lepšímu těsnění umožní použití vyšších inspiračních tlaků při ventilaci. Dále obsahuje otvor k zavedení gastrické sondy a evakuaci tekutého žaludečního obsahu.

Laryngeální maska (viz obrázek 14) se zavádí u pacientů bez výbavných reflexů. Její zavedení je kontraindikováno u pacientů s poraněním úst a hltanu, vysokým odporem v dýchacích cestách, při zachovaném dávivém reflexu a plném žaludku. Protože se jedná o supraglotickou pomůcku, dýchací cesty nejsou chráněny před případnou aspirací. [2, 10]



Obrázek 14 Laryngeální masky (dospělý, dítě od firmy Ambu) [vlastní zpracování]

#### 2.5.5 I-gel

Jedná se o supraglotickou pomůcku, jež tvarem připomíná laryngeální masku. Postup zavedení, umístění, výběr správné velikosti odpovídá laryngeální masce. I-gel zhotoven ze speciálního termoplastického polymeru, který reaguje na změnu teploty. Na distálním konci nalezneme nenafukovatelnou manžetu, jejíž tvar

odpovídá tvaru epiglottis a okolních anatomických struktur. Vlivem teploty se zvětší objem manžety. Výhodou I – gel (viz obrázek 15) oproti laryngeální masce, je šetrný tlak na tkáně hypofaryngu (menší riziko ichemie). [15]

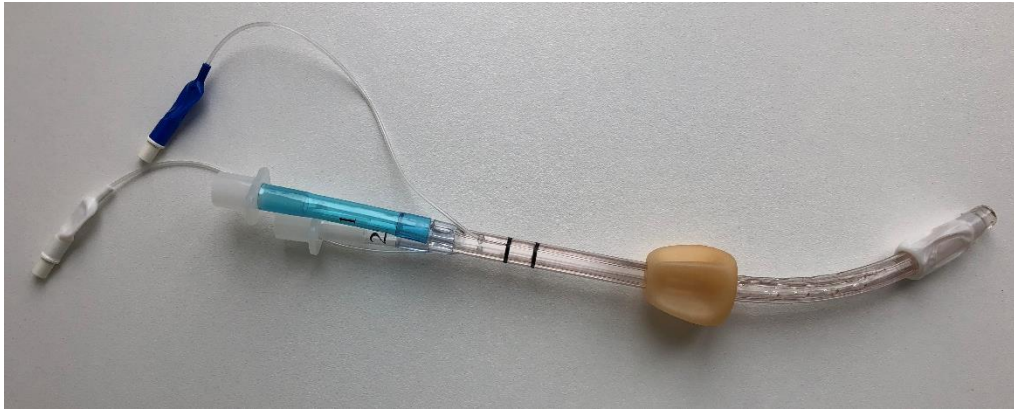


Obrázek 15 I-gel velikost 4 [vlastní zpracování]

#### 2.5.6 Kombitubus

Jedná se o modifikaci tracheální rourky. Kombitubus (viz obrázek 16) je tvořen dvěma trubicemi. Jedna z nich má zaslepený distální část (směrem k pacientovi) a je opatřena bočními otvory. Proximální část je označena modře. V případě druhé trubice je distální konec otevřený a proximální část je označena bílou koncovkou. Místo jedné těsnící manžety je kombitubus opatřen dvěma obturačními balonky (distální – menší, proximální – větší). Proximální konec kombitubusu je opatřen dvěma ryskami. Kombitubus zavádíme naslepo až po dosažení zmíněných rysek. Při správném zavedení se v úseku mezi ryskami nachází řezáky.

Po zavedení ihned naplníme obě obturační manžety vzduchem. Při kontrole umístění připojíme ruční dýchací přístroj nejprve k modré koncovce. Pokud je kombitubus zaveden do jícnu, vzduch proudí bočními otvory do trachey. Je-li distální konec zaveden do trachey, menší obturační manžeta na distálním konci zamezí proudění vdechovaného vzduchu. V této chvíli je nutné přehodit ruční dýchací přístroj na bílou koncovku. Správné umístění, ventilaci plic, případně komplikace spojené se zavedením auskultačně kontrolujeme. Použití kombitubusu je omezeno věkem a tělesnou konstitucí. Lze použít u pacientů starších 16 let a vyšších 150 cm. [2, 10]



Obrázek 16 Kombitubus (Mallinckrodt) [vlastní zpracování]

### 2.5.7 Laryngeální tubus

Laryngeální tubus (viz obrázek 17) svým principem připomíná kombitubus. Je opatřen dvěma obturačními balonky, mezi nimiž se nacházejí postranní otvory. Na rozdíl od kombitubusu obsahuje pouze jednu trubici a zavádí se pouze do jícnu. Podobně jako kombitubus je opatřen rýskou v úrovni řezáků.

Laryngeální tubus se zavádí naslepo v neutrální poloze hlavy, přímo do jícnu. Po zavedení je nutné rozepnout obturační balonky a auskultačně provést kontrolu správné ventilace. [10]



Obrázek 17 Laryngeální tubus (VBM Medizintechnik) [vlastní zpracování]

### 2.5.8 Koniopunkční sety

Koniotomie a koniopunkce jsou život zachraňující úkony. Jsou indikovány, když ostatní techniky a pomůcky k zajištění dýchacích cest selžou nebo jsou neproveditelné. Koniotomie spočívá v chirurgickém řezu v oblasti cricothyroidní membrány a zavedení endotracheální kanyly menšího průsvitu (Mini-Trach). Koniopunkce se provádí pomocí setu Quicktrach (viz obrázek 18), který se skládá ze speciálně zahnuté endotracheální kanyly, punkcí membrány cricothyreoidea. Kanyla je na svém konci vybavena obturační manžetou. Na oba sety je možno připojit ruční dýchací přístroj nebo ventilátor. [2, 10]



Obrázek 18 Koniopunkční set Quicktrach [vlastní zpracování]

## 2.6 Formy umělé plicní ventilace

### 2.6.1 Ventilace pozitivním přetlakem (konvenční)

Tento způsob ventilace pracuje na principu inspiračního průtoku plynů a cyklickým zvyšováním tlaku při vstupu do dýchacích cest. Jedná se o univerzální a nejčastěji rozšířený způsob ventilace. Vzhledem k zaměření na využití umělé plicní ventilace v přednemocniční neodkladné péči, bude tato práce pojednávat o využití konvenční umělé plicní ventilaci. [8]

### **2.6.2 Ventilace negativním tlakem**

Ventilace negativním tlakem patří historicky mezi nejstarší formy umělé plicní ventilace. Prvním a dodnes osvědčeným přístrojem pracujícím na principu negativního tlaku je tankový ventilátor, tzv. železná plíce. Byl vyvinut už ve 20. letech 20. století kvůli výskytu poliomyelitidy. Pacient je celým tělem kromě své hlavy umístěn do velkého válce, v němž se periodicky vytvářen negativní subatmosférický tlak. Obecně se jedná o fyziologický způsob umělé plicní ventilace, který neprohlubuje nepoměr V/Q. Metoda je vhodná především při selhání dechového svalstva. Nemožností nastavení PEEP (zvýšení FRC) je její využití u jiných příčin respirační insuficience limitováno. Dalším problémem je omezený přístup k pacientovi. Modernějším řešením jsou bifázické krunýřové ventilátory. Kvůli svým rozměrům, hmotnosti a specifickému využití je tento způsob ventilace nevhodný pro přednemocniční péči. [8]

### **2.6.3 Nekonvenční ventilace**

Nekonvenční ventilace je založena na principu kontinuálního pozitivního přetlaku do dýchacích cest doplněného velmi malými dechovými objemy, jejichž hodnoty jsou blízké anatomickému mrtvému prostoru. Mezi nekonvenční metody patří vysokofrekvenční ventilace a oscilační ventilace. Nekonvenční metoda je používána jen ve výjimečných případech a její výzkum stále probíhá. Hlavním problémem nekonvenční ventilace je eliminace CO<sub>2</sub> při malých dechových objemech. [8]

## **2.7 Nastavované parametry umělé plicní ventilace**

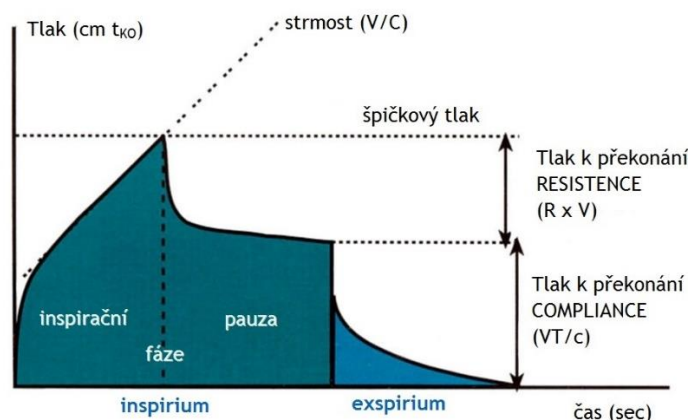
- **Koncentrace O<sub>2</sub>**

Na všech typech moderních ventilátorů lze nastavit koncentrace vdechovaného kyslíku v rozmezí 21 – 100% ( $FiO_2 = 0,21 - 1$ ). Je nutné dodržet minimální rozdíl mezi koncentrací kyslíku dodávanou přístrojem a koncentrací kyslíku, kterou pacient

reálně vdechuje, dokonalou těsností okruhu. Vzhledem k toxicitě kyslíku je nutné při dlouhodobé aplikaci  $O_2$  podávat kyslík při  $FiO_2$  menší než 0,6. Akutní život ohrožující stavy spojené s kardiovaskulárním či respiračním selháním vyžadují v počáteční fázi  $FiO_2 = 1$ , až do chvíle stabilizace. Zvýšení frakce kyslíku je pro pacienta pravděpodobně méně ohrožující než užití vysokého tlaku v dýchacích cestách, spojeného s rizikem baro-volumotraumatu. [20]

- **Dechový cyklus a nastavení TI a TE (čas inspiria a expiria)**

Na některých typech ventilátorů lze nastavit čas inspiria (TI) a čas expiria (TE). Dechový cyklus je doba od počátku inspiria do konce expiria. Na obrázku 19. nalezneme průběh dechového cyklu, jeho fáze včetně znázornění tlakových změn v dýchacích cestách. [19]



Obrázek 19. Průběh dechového cyklu [9]

- **Dechový objem (VT)**

Dechový objem u dospělých se spontánní dechovou aktivitou činí 400 ml. Nastavení dechového objemu při umělé plicní ventilaci vychází z této hodnoty. Nastavení dechového objemu úzce souvisí s nastavením dechové frekvence. Správným nastavením dechového objemu a frekvence zajistíme adekvátní minutovou ventilaci ( $V$ ), kdy je dosaženo fyziologického  $P_aCO_2 = 5,3$  kPa (40mmHg).

Za účelem zvýšení FRC plic a prevence atelektáz, se užívají vysoké dechové objemy ( $VT = 10 - 15 \text{ ml/kg}$ ) a nízká frekvence. Zvýšené dechové objemy, zvláště nad  $35 \text{ cm H}_2\text{O}$  jsou spojeny s rizikem baro-volumotraumat. K omezení tohoto rizika lze zvýšit FRC pomocí pozitivního endexpiračního tlaku ( $PEEP = 5 - 10 \text{ cm H}_2\text{O}$ ) a dechového objemu ( $VT = 8 - 10 \text{ ml/kg}$ ). Způsobu zvýšení FRC aplikací PEEP lze užít u nemocných se zvýšenou rezistancí a sníženou compliance. [8, 20]

- **Dechová frekvence**

Dechová frekvence se nastavuje v závislosti na  $P_a\text{CO}_2$ , věku pacienta, velikosti dechového mrtvého objemu ( $VD$ ), stavu metabolismu. Průměrná dechová frekvence se pohybuje v rozmezí mezi  $8 - 12/\text{min}$ . Rozmezí dechové frekvence nastavované na ventilátoru činí  $4 - 25/\text{min}$ . Frekvence lze nastavit dvěma způsoby:  $f_{\text{CMV}}$  nebo  $f_{\text{IPPV}}$  při řízeném dýchání a  $f_{\text{IMV}}$  nebo  $f_{\text{SIMV}}$  u mandatorních nebo asistovaných ventilačních technik.

Nízkou dechovou frekvencí lze uplatnit u pacientů v hypotermii nebo pacientů v sedaci.

Vyšší dechová frekvence je užívána u pacientů s nízkou compliance, kteří trpí zvýšenou produkcí  $\text{CO}_2$ . Při terapii volíme dechovou frekvenci maximálně do  $25/\text{min}$ . Dechová frekvence větší než  $25/\text{min}$  povede ke zkrácení expira a nedostatečným vydechováním vzduchu vznikne tzv. „air trapping“. [8, 20]

- **Minutová ventilace (V)**

Velikost minutové ventilace je nutno nastavit tak, aby hodnota  $P_a\text{CO}_2$  zůstala ve fyziologických hodnotách. Minutová ventilace dospělého činí  $80 \text{ ml/kg}$ . ( $6\text{l}/\text{min}$ ). Při použití ventilačního režimu VCV (objemově řízená ventilace) může být dechová frekvence nastavena přímo nebo součinem dechového objemu a dechové frekvence

(VT×f). Během použití ostatních režimů minutová ventilace (V) závisí na spontánní dechové aktivitě pacienta nebo velikosti compliance a rezistance. [19, 20]

- **Pozitivní endexpirační tlak (PEEP)**

Pozitivní endexpirační tlak (PEEP) je děj, kdy na konci expira zůstává v dýchacích cestách vyšší tlak, než v atmosféře. Je udržován pomocí tzv. PEEP ventilu. U většiny dostupných ventilátorů lze PEEP nastavit v rozmezí 5 – 35 cm H<sub>2</sub>O. PEEP je indikován u intubovaných pacientů (z důvodu zvýšení FRC tzv. fyziologický PEEP = 5 cm H<sub>2</sub>O), u restriktivních plicních poruch (plicní edém, pneumonie, kontuze plic, ARDS), jako extrinsický PEEP u obstruktivních plicních poruch. Optimalizaci použití PEEP a jeho terapeutické či negativní působení na organismus uvedu v následujících kapitolách. [8, 19, 20]

- **Maximální inspirační tlak (P<sub>max</sub>)**

Nastavení výše P<sub>max</sub> se řídí podle požadovaného VT. V rámci prevence baro-volumotraumatu je nutné volit hranici maximálního inspiračního tlaku, tak vysokou jak je nutné, a tak nízkou jak je jen možné. P<sub>max</sub> by neměl překročit hodnotu 35 cm H<sub>2</sub>O, pokud je to proveditelné. Hodnota P<sub>max</sub> musí být pod horním inflekčním bodem (viz.Obrázek 7). Výjimkou jsou extrémní poruchy compliance a rezistance, kdy není možno udržet minimální potřebnou ventilaci bez dalšího zvýšení tlaku.

V případě akutních restriktivních se uplatňuje užití špičkových inspiračních tlaků (40 – 60 cm H<sub>2</sub>O) k rozepjetí atelektáz (recruitment manévr). [20]

- **Poměr inspiria a expirie (I:E)**

Poměr inspiria a expiria lze nastavit různým způsobem, v závislosti na daném typu ventilátoru. Nastavení přímou volbou poměru I:E a dechové frekvence, nastavení v procentech dechového cyklu, nastavení doby trvání inspiria a expiria.



Poměr I:E lze nastavit pouze u časově řízených nebo triggerovaných režimů. Za fyziologických okolností je expirium delší než inspirium (I:E = 1:1,5 až 1:2). [19]

- **Inspirační pauza**

Během inspirační pauzy ustává flow a vzniká endinspirační plateau (no-flow-phase) a probíhá distribuce ventilace. Při použití objemově řízené ventilace (VCV) lze u některých ventilátorů nastavit trvání inspirační pauzy v % z trvání respiračního cyklu. Jinak trvání inspirační pauzy vyplývá z flow, VT, trvání I:E, frekvence. Platí vztah, že čím vyšší flow, tím je delší inspirační pauza. Za určitých okolností je rovnoměrná distribuce ventilace možná i bez endinspiračního plateau. Tento jev může nastat při konstantním inspiračním flow nebo nízkým flow, kdy nedochází k turbulenci. Během tlakově řízené ventilace je dosaženo tlakového plateau decelerací flow (nejedná se o no-flow-phase). [20]

- **Inspirační flow**

Za normálních okolností je při ventilaci užíván flow 30 – 60 l/min. Vysoké flow způsobí rychlou ventilaci plic s vysokým špičkovým tlakem v dýchacích cestách a dlouhou plateau fázi. Při nízkém inspiračním flow dochází ke snížení středního tlaku v dýchacích cestách, nízké turbulenci, snížení špičkových tlaků. Nižší flow je spojen s pocitem dechové nedostatečnosti, a tudíž je pacienty špatně tolerován. Při nutnosti omezit vysoké špičkové tlaky je možné snížit flow až na hodnotu 10 l/min. Nižší nastavení flow by neumožnilo realizovat nastavené dechové objemy ve stanoveném čase. Minimální flow musí být tím větší, čím je větší dechový objem (VT) a tím menší, čím je menší poměr I:E. [20]

- **Citlivost triggeru**

Pacienti, kteří dýchají spontánně nebo za použití režimu, kdy si sami spouštějí (triggerují) inspirium, je nutné dodat dostatek dýchacích plynů. Tento úkol obstarávají dva systémy. Continuous-flow-systeme a Demand-flow-systeme.

Continuous-flow-systeme dodává během inspira i expira adekvátní flow. Triggerování není nutné.

Demand-flow-systeme dodává přerušovaný příkon plynů. Inspirium je iniciováno triggerem. Zpravidla rozlišujeme trigger tlakový a průtokový (flow).

Tlakový trigger reaguje na změny tlaku při inspiračním úsilí. Průtokový trigger (flow) reaguje na změny basálního flow (5 -20 l/min) během expira. Pokles flow vyvolaný inspiračním úsilím pacienta aktivuje trigger. Flow trigger je iniciátorem dechového úsilí podobně jako Continuous-flow-systeme. Dechová práce je zde nulová.

Existují typy ventilátorů, které mají trigger pevně přednastavený. U jiných ventilátorů je trigger nastaven uživatelem.

Při nastavení platí několik zásad. Trigger musí být citlivý jak je jen možno, ale nesmí dovolit autotriggerování. Nastavením vysoké citlivosti mohou být nepatrné tlakové změny zaměněny za dechové úsilí. Nízká citlivost může zvýšit dechovou práci a vyčerpat pacienta. Citlivost tlakového triggeru se nastavuje v rozmezí 0,5 – 2 cm H<sub>2</sub>O. Citlivost průtokového triggeru v rozmezí 1 – 4 l/min. Doba latence do aktivace triggeru činí 100 ms. [19, 20]

- **Sighing (Seufzer)**

Jedná se o speciální ventilační techniku napodobující hluboké spontánní vdechy za cílem provzdušnit neventilované alveoly (prevence vzniku atelektáz).

Rozlišujeme inspirační sighing a expirační sighing. Inspirační sighing v pravidelných intervalech zvýší hodnotu VT při inspiriu na dvojnásobek. Expirační sighing v pravidelných odstupech zvýší PEEP na nastavenou úroveň. [ 9, 20]

- **Alarmy**

Umělá plicní ventilace vyžaduje kontinuální sledování nejdůležitějších ventilačních parametrů. Alarmy rozlišujeme na tlakové, objemové, Apnoe-alarm, O<sub>2</sub> – alarm.

U tlakových alarmů by měla být horní tlaková mez nastavena 10 cm H<sub>2</sub>O nad špičkové tlaky (obvykle 40 – 50 cm H<sub>2</sub>O). Dosažení tlakové meze může být způsobeno vzestupem resistance v dýchacích cestách, dislokací tracheální rourky nebo její zalomení, kašel pacienta, pokles compliance plic. Dolní tlaková mez reaguje na nepoznané rozpojení nebo netěsnost systému. Nastavení tlakových alarmů je významné u objemově řízené ventilace.

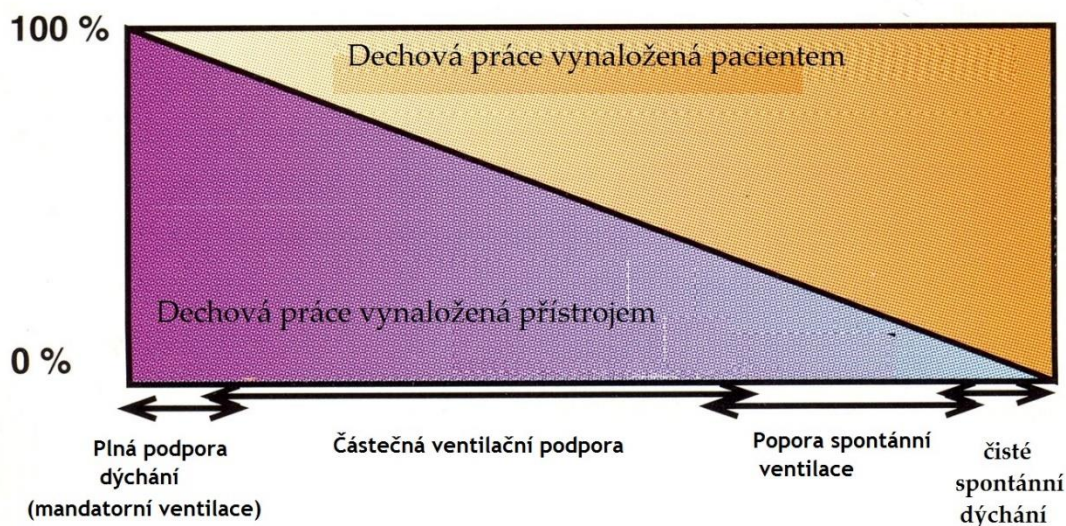
Objemové alarmy hrají důležitou roli při použití tlakově řízené ventilace a režimů s výrazným podílem spontánní ventilace. Dolní mez by měla být nastavena 10 – 20% nad minimální minutovou ventilaci. Překročení dolní meze alarmu může být zapříčiněno rozpojením systému, hypoventilací nebo apnoe při spontánním dýchání, vzestup resistance při tlakové ventilaci, poklesem compliance, zalomením tracheální rourky. Horní mez alarmu nevyžaduje přesné nastavení nad požadované hodnoty minutové ventilace. Její překročení není vitálně ohrožující.

Apnoe-alarm je aktivován zpravidla ve stanoveném čase po výpadku ventilace (obvykle do 15 s). Některé typy ventilátorů jsou schopny automaticky zahájit řízenou ventilaci.

Po překročení minimální nebo maximální hranice koncentrace O<sub>2</sub> je spuštěn O<sub>2</sub> alarm. [2, 20]

## 2.8 Rozdělení ventilačních režimů podle míry dechové práce do skupin a popis jednotlivých režimů

Režimy umělé plicní ventilace lze dělit z hlediska míry spontánní dechové aktivity pacienta a dechové práce vynaložené ventilátorem do čtyř skupin. Plná ventilační podpora (mandatorní ventilace), částečná ventilační podpora, podpora spontánní ventilace, čisté spontánní dýchání. Na obrázku 20. je znázorněna míra dechového úsilí pacienta vůči podpoře ventilace přístrojem. [9, 19]



Obrázek 20. Rozdělení ventilačních režimů z hlediska dechového úsilí[9]

### 2.8.1 Mandatorní ventilace (Plná podpora dýchání)

Režimy mandatorní (zástupové) ventilace se uplatňují při chybějící spontánní dechové aktivitě a plně nahrazují dechovou práci pacienta. Do této skupiny můžeme

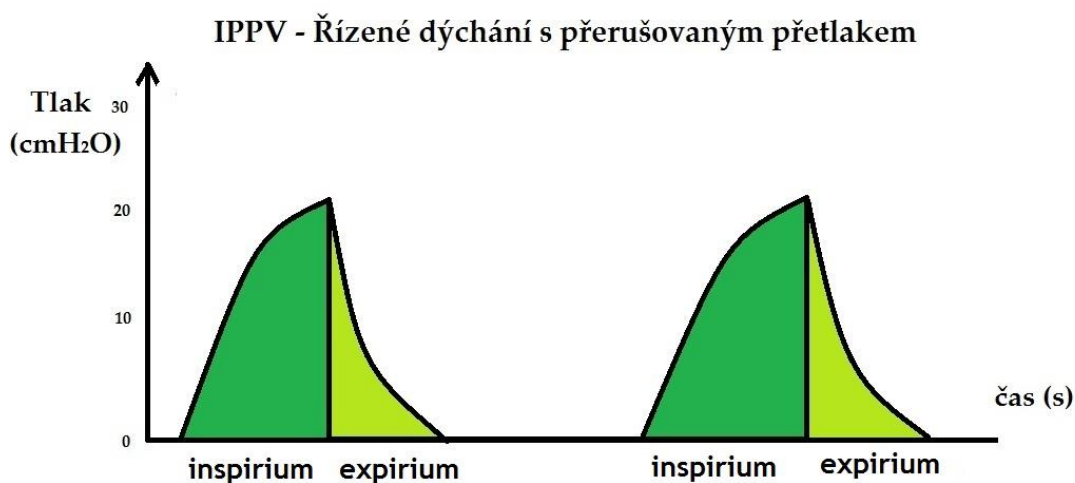
zahrnout režimy cyklované časem (plně kontrolující inspirační fázi dechového cyklu) nebo režimy primárně určené k podpoře spontánního dechového úsilí. V tabulce 9. nalezneme přehled těchto režimů a jejich zkratk. [19]

*Tabulka 9. Přehled režimů řízené ventilace [9]*

CMV	Controlled Mechanical Ventilation	Řízené dýchání
IPPV	Intermittent Positive Pressure Ventilation	Řízené dýchání s přerušovaným přetlakem
CPPV	Continuous Positive Pressure Ventilation	Řízené dýchání s přetlakem na konci výdechu
VCV (VC A/CMV)	Volume Controlled Minimal Flow Ventilation	Objemově řízená ventilace s minimálním flow
PLV	Pressure Limited Ventilaton	Tlakově limitovaná ventilace
PCV	Pressure Controlled Ventilation	Tlakově řízená ventilace
IRV	Inversed Ratio Ventilation	Ventilace s inverzním poměrem I:E

- **Řízené dýchání s přerušovaným přetlakem (IPPV)**

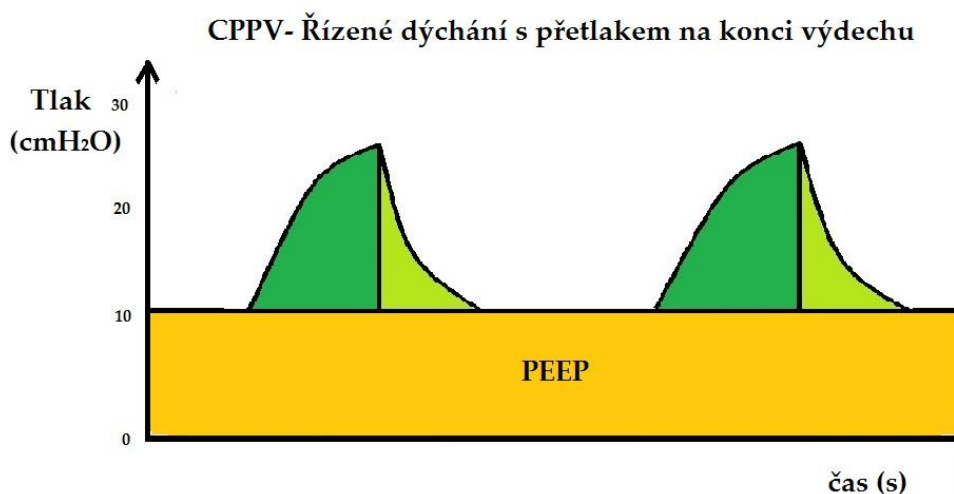
Tento režim se vyznačuje řízenou ventilací s přerušovaným přetlakem a je cyklován časem. Je užíván u pacientů bez spontánní dechové aktivity (KPR, kraniocerebrální poranění, pacient pod sedací). Na obrázku 21. je vyjádřen průběh tlakových změn v dýchacích cestách během IPPV. [15]



*Obrázek 21. Tlakové změny během IPPV v čase [9]*

- **Řízené dýchání s přetlakem na konci výdechu (CPPV)**

Režim CPPV je modifikací IPPV za použití kontinuálního přetlaku v dýchacích cestách na konci výdechu. Na obrázku 22. jsou vyjádřeny změny tlaků v dýchacích cestách za použití CPPV. [9]



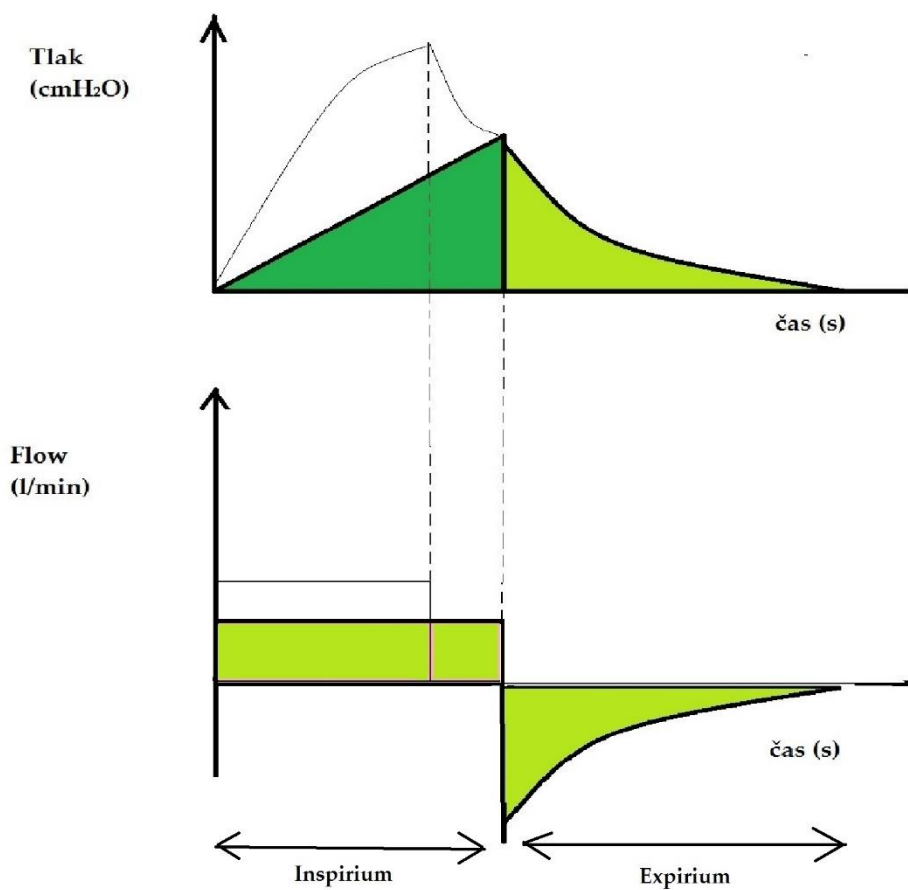
*Obrázek 22. Tlakové změny během CPPV v čase [9]*

- **Objemově řízená ventilace (VCV)**

Objemově řízená ventilace (VCV) je typ ventilačního režimu s nastavenou velikostí dechového objemu. Režim je limitován objemem (průtokem) a je cyklován časem nebo objemem. Tento druh ventilace neumožní pacientovi žádnou spontánní dechovou aktivitu během celého dechového cyklu. V důsledku změn rezistance nebo compliance respiračního systému a konstantního dechového objemu (VT), může dojít ke změnám inspiračních tlaků.

Výhodou objemově řízené ventilace je dobrá kontrola eliminace CO<sub>2</sub>. Tento režim je často užíván u nemocných s nutností důkladné kontroly P<sub>a</sub>CO<sub>2</sub> při současném nasazení kapnometrie. Mezi stavy, kde je vhodné použít režim VCV patří kraniocerebrální poranění, apnoe, křečové stavy, kardiopulmonální resuscitace, status asthmaticus. Objemově řízená ventilace je často užívána jako výchozí režim do té doby, než je pacient stabilizován. Na obrázku 23. je znázorněn průběh objemově řízené ventilace se změnami tlaků a flow v dýchacích cestách.[9, 19, 21]

Objemově řízená ventilace s minimálním flow

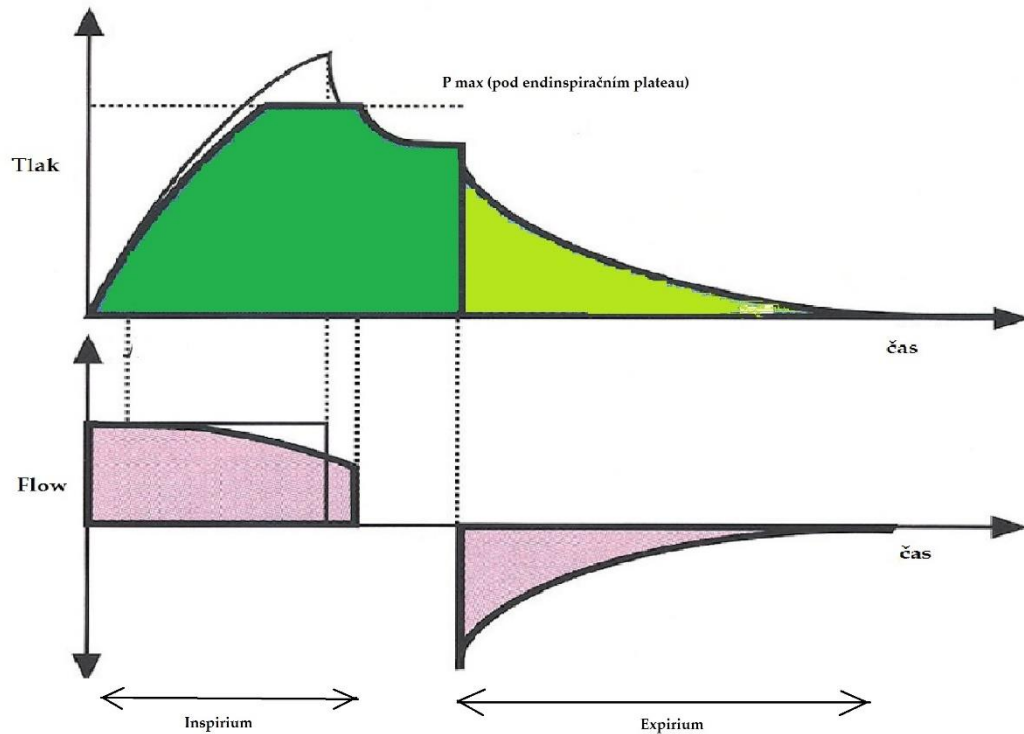


Obrázek 23. Změny tlaku a průtoku v během VCV. [9]

- Tlakově limitovaná ventilace (PLV)



## PLV - Tlakově limitovaná ventilace

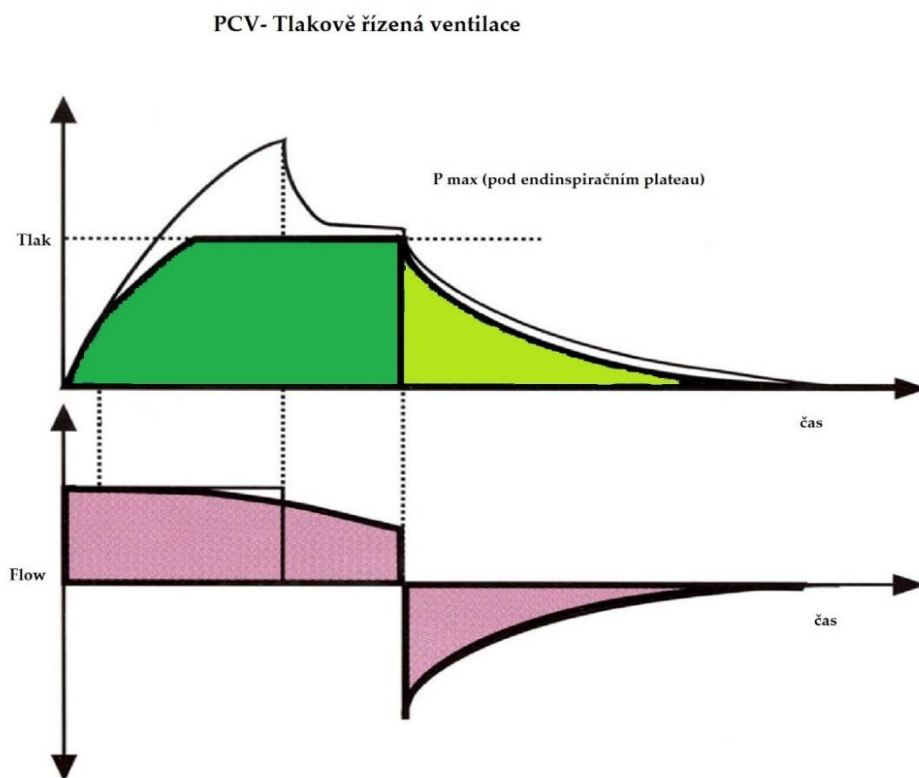


Obrázek 24. Změny tlaku a průtoku během dechového cyklu v rámci PLV [9]

- **Tlakově řízená ventilace (PCV)**

Tlakově řízená ventilace (PCV) je ventilační režim, při kterém je dechový cyklus iniciován časem a limitován tlakem. Režim může být cyklován nastavením doby inspiria a expiria nebo pouze nastavením doby inspiria. Nastavené endinspirační plateau plní funkci inspirační pauzy. Ventilátor udržuje nastavený tlak a v případě otevření doposud neventilovaných alveolů, je schopen tlak opět dorovnat. Aby bylo možno dosáhnout nastaveného inspiračního tlaku, je nutné zajistit dostatečný průtok plynů, nejméně 60 l/min. Dosažením nastaveného inspiračního tlaku dochází k deceleračnímu charakteru průtoku. U většiny ventilátorů je maximální inspirační průtok automaticky regulován. Ovšem existují ventilátory, kde je možno nastavit jejich průtok přímo v litrech za minutu, či nepřímo, pomocí času, potřebného k dosažení nastaveného inspiračního tlaku.

Režim tlakově řízené ventilace je indikován u pacientů vyžadujících plnou ventilační podporu. Bývá používán jako alternativa objemově řízené ventilace u nemocných s plicní dysfunkcí. Jeho užití je kontraindikováno u křečových stavů, status asthmaticus a KPR. Na obrázku 25. je vyobrazen průběh objemově řízené ventilace. [19]

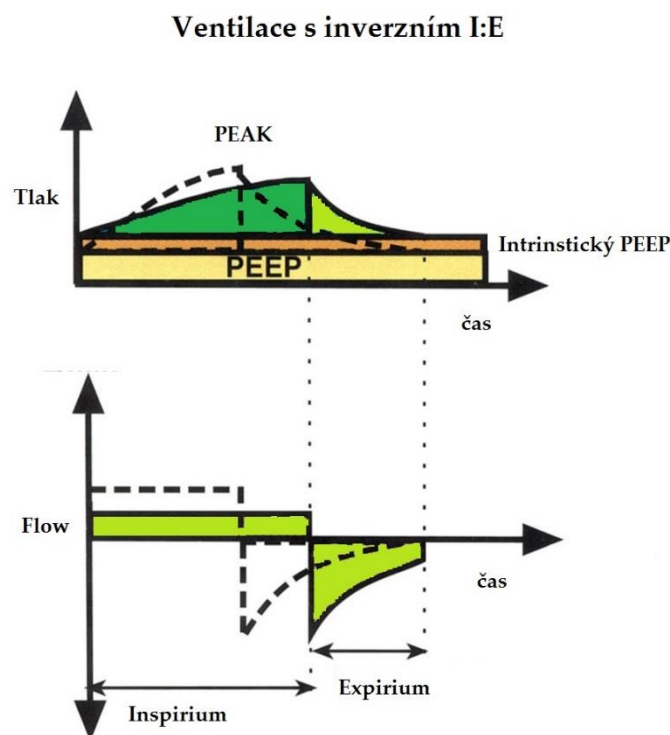


Obrázek 25. Na obrázku je znázorněn průběh tlaku během dechového cyklu a průtoku v dýchacích cestách [9]

- **Ventilace s inverzním poměrem I:E**

Ventilační režim je založen na prodloužení inspira a zkrácení expira. Prodloužením inspira dochází k redukci inspiračního flow při stálém objemu. Špičkový tlak při vzestupu středního tlaku v dýchacích cestách je rovněž redukován. Příčinou nízkého inspiračního flow dochází v pomalých plicních kompartmentech ke zlepšení distribuce ventilace.

Zkrácením expiria vzniká intrinstický PEEP v pomalých kompartmentech, jež na konci výdechu brání kolapsu alveolů. Vzrůstá FRC, klesají pravolevé plicní zkraty, a stoupá  $P_{aO_2}$ . Poměr  $V/Q$  se zlepšuje. Režim je využíván při těžkých formách ARDS, kdy je umožněna lepší difuze kyslíku do krevního oběhu. Průběh ventilace s obráceným poměrem I:E je znázorněn na obrázku 26. [9,19]



Obrázek 26. Na obrázku je znázorněn průběh tlakové a průtokové křivky při obráceném poměru I:E [9]

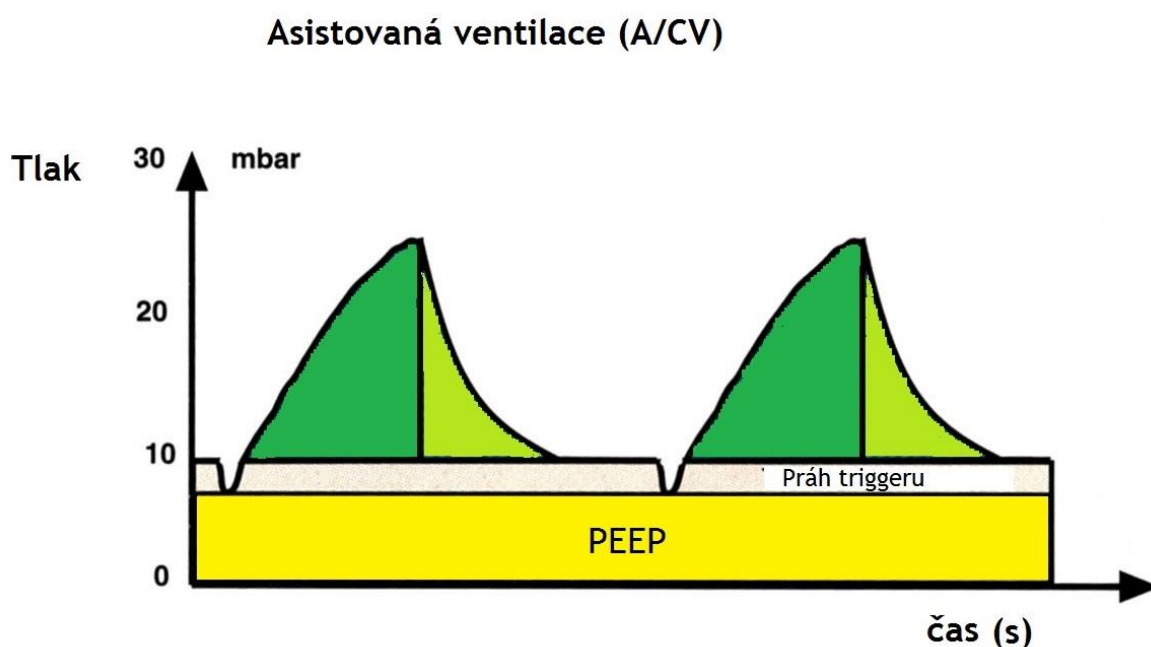
### 2.8.2 Částečná ventilační podpora

Do skupiny režimů částečné ventilační podpory řadíme režimy, které umožní pacientovi uplatnit svojí vlastní dechovou práci, která je doplněna mechanickou

podporou přístroje. Režimy v této skupiny jsou založeny na tzv. triggerování (viz. kapitola 2.7, citlivost triggeru). Tento způsob ventilace je pro pacienty lépe snesitelný. [2, 9]

- **Asistovaná ventilace (A/CV)**

Asistovaná ventilace je synchronní režim s plnou ventilační podporou. Na ventilátoru je nastavena minutová ventilace, která je rozpočítána do určitého počtu dechů. Pokud je pacient schopen vyvinout dechové úsilí, které je detegováno přístrojem, ventilátor zahájí řízený vdech. Na obrázku 27. je zobrazen průběh asistovaných vdechů spouštěných triggerem. [2]



Obrázek 27 Průběh vdechů spouštěných v závislosti na nastavení triggeru [9]

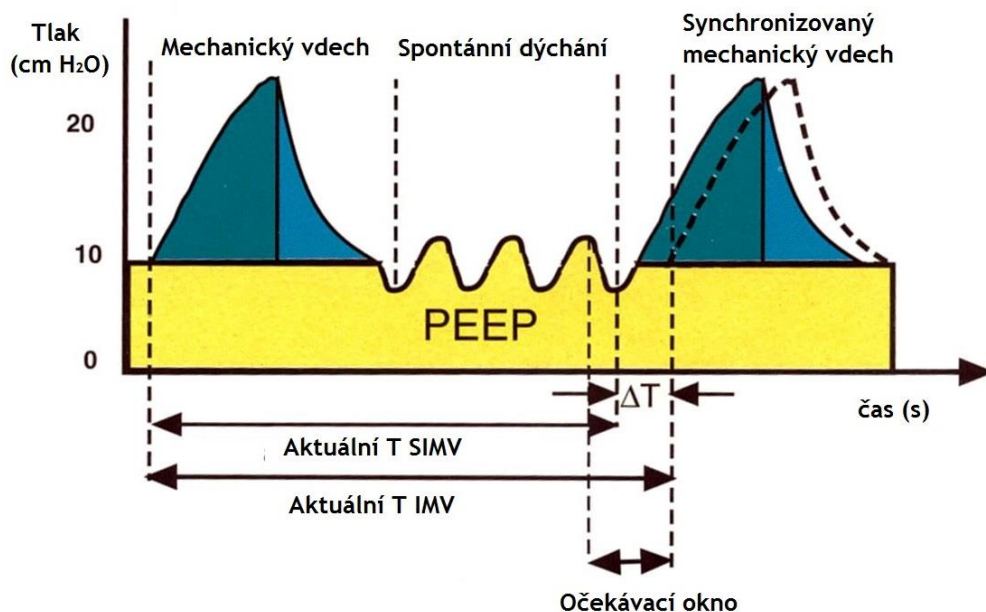
- **Synchronizovaná intermitentní mandatorní ventilace (SIMV)**

Jedná se o podpůrný ventilační režim, při kterém je spontánní dýchání pacienta doplněno občasnými řízenými vdechy. Při tomto režimu se uplatňují dva typy dýchání, spontánní a asistované/ řízené.

Při spontánním dýchání je nutné překonat rezistance okruhu ventilátoru a otevřít inspirační ventil. Vykonáním dostatečné dechové práce je umožněn spontánní dech.

Druhým typem dýchání jsou asistované dechy. Po dobu jedné minuty je nastaven určitý počet asistovaných vdechů, které jsou synchronizovány s dechovým úsilím pacienta nebo jsou plně řízeny přístrojem. V časovém úseku, kdy má být zahájen řízený vdech je nastaveno tzv. čekací okénko. V tomto časovém rozmezí ventilátor čeká na spontánní dechovou aktivitu pacienta. V případě detekce dechového úsilí dochází k triggerování a zahájení řízeného vdechu. Dojde-li ve stejném cyklu k dalšímu pokusu o inspirium, není podporován. Pokud během časového okénka neproběhne žádný náznak dechového úsilí, ventilátor zahájí řízený vdech po uplynutí čekacího okénka. Na obrázku 28. lze pozorovat průběh spontánní dechové aktivity doplněné synchronizovanými řízenými vdechy. [15, 19]

## Synchronizovaná intermitentní mandatorní ventilace (SIMV)



Obrázek 28 Znáznornění SIMV pomocí tlakových změn v závislosti na čase [9]

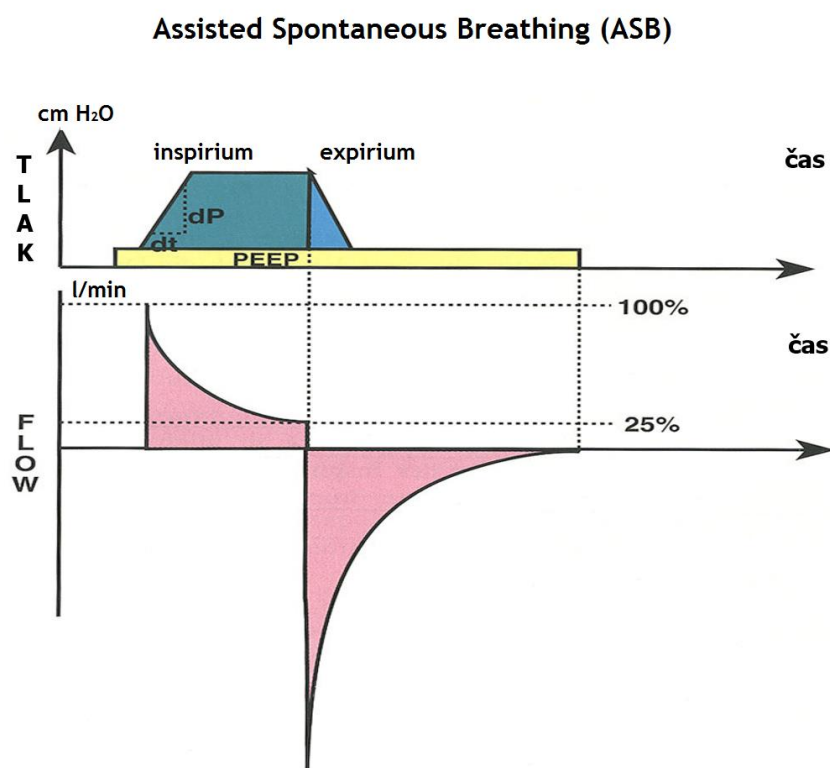
- **Asistované spontánní dýchání (ASB)**

Režim asistovaného spontánního dýchání funguje na principu tlakové podpory spontánní dechové aktivity pacienta. U některých výrobců ventilátorů bývá označován jako (PSV). Režim je tlakově limitován. Hodnota dechového objemu je variabilní. Pokud pacient vyvine vlastním dechovým úsilím průtok potřebný ke spuštění triggeru (pressure nebo flow), ventilátor zahájí inspirium. Ventilační okruh je rychle natlakován na úroveň nastaveného tlaku, který je poté udržován až do konce inspiria (viz obrázek 29). Pokles průtoku (flow) je signál k ukončení inspiria. Na obrázku 29 je znázorněn minimální průtok potřebný k zahájení inspiria a maximální průtok ispirační průtok.

Podmínkou pro použití režimu ASB je plně funkční dechové centrum a stabilizovaná oxygenační funkce plic. ASB je schopen zajistit podporu každého spontánního vdechu. Mezi nevýhody tohoto režimu patří nutnost nastavení záložního ventilačního režimu, v případě ztráty dechové aktivity pacienta. Stupeň

dechové podpory se nemění podle dechového úsilí. U některých nemocných může být sklon k respirační alkalóze, riziko tachypnoe s nárůstem intrinsického PEEP. Výhodou je dobrá tolerance pacientem a možnost užití při neinvazivní formě ventilace.

Režim lze využít dvěma způsoby. Použitím nízké hladiny tlakové podpory (2 -10 cm H<sub>2</sub>O), např. u pacientů s nutností zajištění dýchacích cest, kdy dochází ke zvýšení dechové práce a hrozícímu ventilačnímu selhání. Vysoká hladina ventilační podpory je užívána u pacientů s výrazným ventilačním selháním se zachovalou oxygenační funkcí plic. [9, 15, 19]

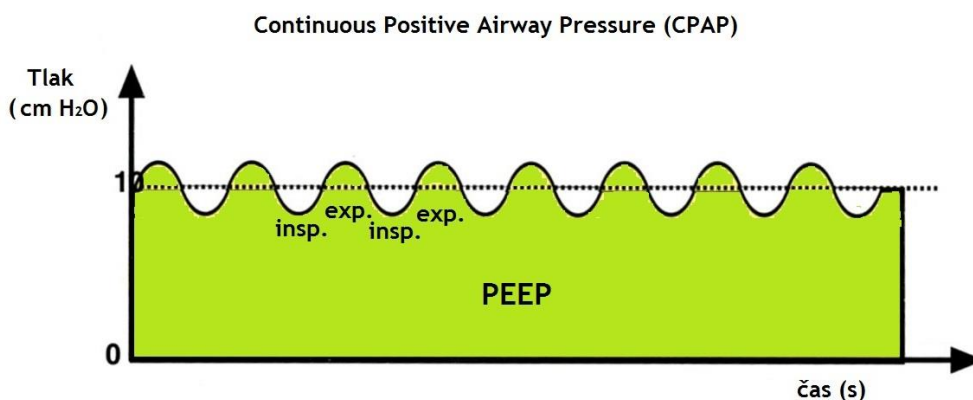


Obrázek 29 Znázornění průběhu tlakové a průtokové křivky u režimu ASB [9]

### 2.8.3 Režimy k podpoře spontánního dýchání

- **Continuous Positive Airway Pressure (CPAP)**

Režim se vyznačuje spontánním dýcháním za kontinuálního pozitivního tlaku v dýchacích cestách. Ventilaci lze uskutečnit v závislosti na stavu pacienta přes tracheální rourku, tracheální kanylu nebo těsnící obličejovou masku. CPAP je indikován při kardiogenním plicním edému, pneumonii, u posttraumatických a pooperačních poruch výměny plynů, atelektáz, IRDS. Podmínkou pro bezpečné použití je adekvátní spontánní ventilace. Režim zvyšuje FRC a tím napomáhá vzestupu  $P_aCO_2$ . Stálý přívod dýchacích plynů snižuje dechovou práci, redukuje sklon ke kolapsu malých bronchů, napomáhá otevírání atelektáz, redukuje pravolevé plicní zkraty, zlepšuje poměr V/Q. K rizikům ventilace režimem CPAP patří hromadění inspirovaných plynů v GIT, rozvoj pneumocefalu u zlomenin base lební, konjunktivitis při netěsnící masce, otlaky v obličeji. Na obrázku 30 nalezneme průběh spontánního dýchání za kontinuálního přetlaku. [9, 15]



Obrázek 30. Křivka spontánního dýchání a nastavenou hladinu PEEP [9]



- **Biphasic Positive Airway Pressure (BIPAP)**

BIPAP je režim, který kombinuje spontánní dýchání řízeného časově a tlakově. Mechanická část ventilace je uskutečněna mezi tlakovými hladinami. Na obou tlakových úrovních je možná spontánní ventilace. Rytmické střídání tlakových hladin zlepšují FRC a alveolární ventilaci.

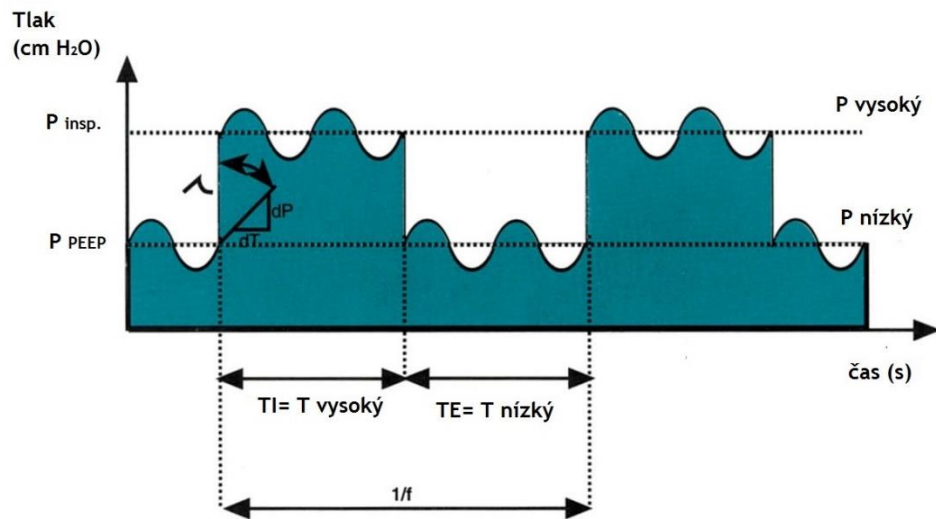
Při nastavení ventilátoru odpovídá první tlaková úroveň nastavené hodnotě PEEP, druhá úroveň odpovídá nastavenému inspiračnímu tlaku (viz obrázek 31). Ventilace lze zvýšit zvýšením horní tlakové hladiny ( $P_{insp.}$ ), snížit lze jejím snížením. Horní tlaková hladina (niveau) musí ležet pod horním inflekčním bodem (viz. obrázek 7), aby nedošlo k nárůstu funkčního mrtvého prostoru.

Dalším důležitým parametrem je nastavení trvání vysoké tlakové úrovně (trvání inspiria = TI) a doba trvání nízké tlakové úrovně (trvání expiria = TE). Nastavení řízené dechové frekvence závisí na TI a TE. Závislost vyjadřuje vzorec (6) uvedený níže. [9]

$$f = \frac{60}{(TI + TE)} \quad (6)$$

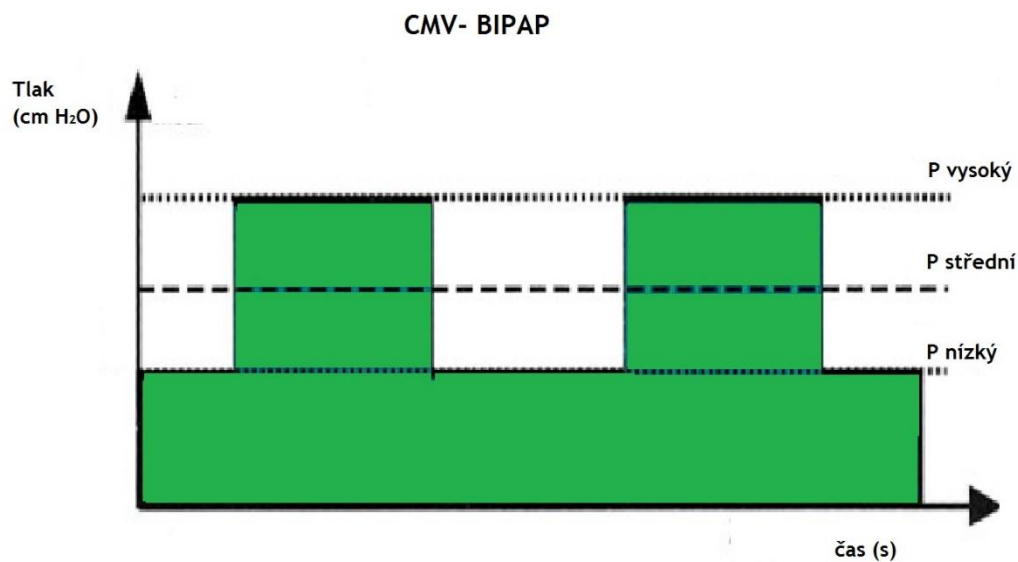
Dechový objem je nastaven v závislosti na mechanických vlastnostech plic a na rozdílu mezi horním ( $P_{inspiračním}$ ) a dolním tlakem ( $P_{PEEP}$ ). Zvýšení rozdílu mezi oběma tlaky zvyšuje VT. Závislost dechového objemu na rozdílu (diferenci) mezi uvedenými tlaky a mechanických vlastnostech plic vyjadřuje vzorec (7).

$$VT = (P_{insp} - P_{PEEP}) \times C \quad (7)$$

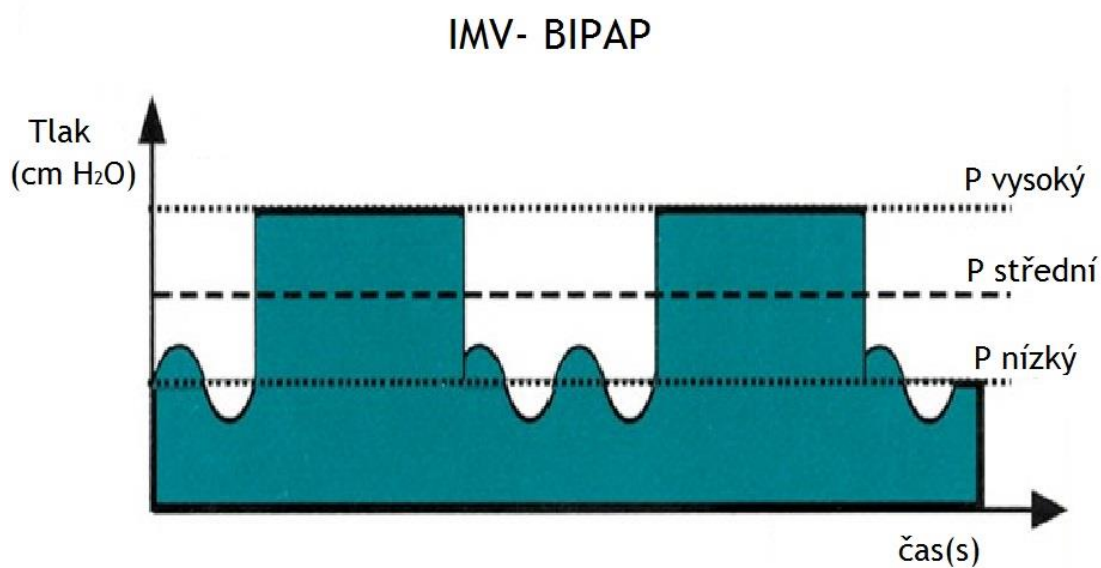


Obrázek 31. Průběh dvou tlakových úrovní, kde probíhá spontánní dýchání a znázornění nastavovaných parametrů [9]

Pro pacienty, kteří nejsou schopni spontánní ventilace, nebo je jejich spontánní dýchání omezeno lze zvolit plně řízený CMV – BIPAP či částečně řízený IMV- BIPAP. Na obrázcích 32 a 33 je zobrazen průběh tlakové křivky těchto režimů.



Obrázek 32. Průběh tlakové křivky u CMV- BIPAP [9]

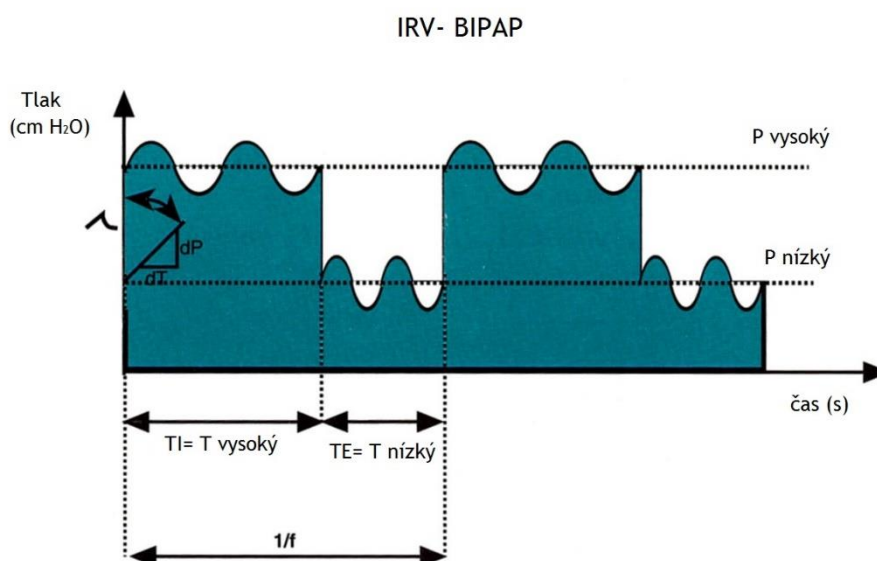


Obrázek 33. Průběh tlakové křivky u IMV- BIPAP [9]

- **IRV- BIPAP**

Jedná se o modifikaci režimu BIPAP s využitím inverzního poměru I:E. Spojuje výhody režimu IRV a spontánní ventilace. Spontánní dýchání může být zachováno i při obráceném poměru inspiria a expiria. Často slouží k přechodu

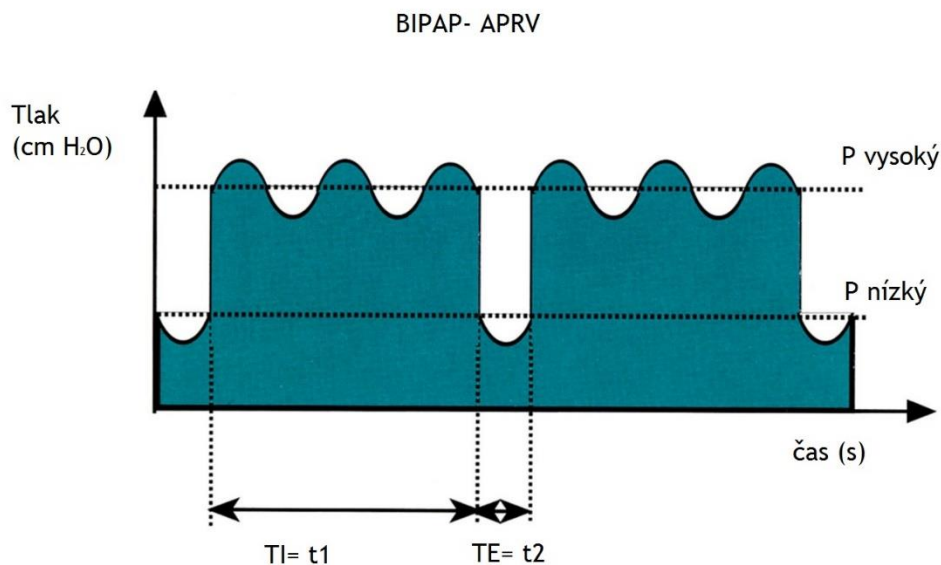
z režimu IRV na spontánní dýchání. Spontánní ventilace obvykle začíná na nízké tlakové hladině. Na obrázku 34 je znázorněn průběh ventilace v režimu IRV- BIPAP. [9, 19]



Obrázek 34. Znázornění průběhu ventilace v režimu IRV- BIPAP [9]

- **BIPAP- APRV**

Další modifikací je režim BIPAP- APRV (Airway Pressure Release Ventilation). Svým způsobem se jedná o způsob ventilace CPAP, kde na krátký čas (méně než 1,5 s) poklesne hodnota CPAP na nižší tlakovou hladinu. Krátkodobý pokles tlaku umožní eliminaci CO<sub>2</sub>. Návrat na původní tlakovou hladinu probíhá přístrojovým vdechem. Před zahájením ventilace je nutné nastavit P insp., PEEP, TI (64ms), TE. Obrázek 35 znázorňuje průběh tlakové křivky během BIPAP- APRV.



Obrázek 35. Průběh tlakové křivky během ventilace BIPAP- APRV [9]

## 2.9 Vedlejší účinky umělé plicní ventilace

I přes velkou snahu o výběr a nastavení vhodného ventilačního režimu s cílem co nejšetněji a zároveň nejúčinněji nahradit či podpořit fyziologické dýchání, je umělá plicní ventilace spojena s nežádoucími účinky. Nastavením vysokých inspiračních tlaků (nad 40 cm H<sub>2</sub>O) může dojít k baro – volumotraumatu. Umělá plicní ventilace neovlivňuje pouze respirační systém. Její pozitivní, ale i negativní účinky mohou ovlivnit funkci celého organismu a příslušných orgánových soustav. Působení na ostatní tělesné soustavy je zapříčiněno několika základními mechanismy, především vzestupem nitrohruďního tlaku, jež má za následek snížení odtoku venózní krve z intrakrania a vzestup ICP (intrakraniálního tlaku), poklesu CPP (perfúze mozku), snížení venózního návratu k pravému srdci, vzestup resistance v plicním řečišti, pokles systolického objemu a snížení srdečního výdeje. Následkem poklesu srdečního výdeje klesá perfúze ledvinami a játry.

## 3 CÍL PRÁCE

### 3.1 Cíl práce

- Stanovení postupu zdravotnického záchranáře při stavech indikovaných k použití umělé plicní ventilace a rozpoznání těchto stavů v přednemocniční neodkladné péči.
- Optimalizace použití ventilačních režimů z cílem „ventilovat šetrněji“ v přednemocniční neodkladné péči, seznámení s jednotlivými typy ventilátorů používaných v posádkách ZZS, jejich možnostmi a obsluhou.

### 3.2 Výzkumné otázky

- Jaké typy ventilátorů jsou používány na krajských zdravotnických záchranných službách a jaké jejich zastoupení?
- Kolik výjezdů indikovaných k použití umělé plicní ventilace proběhne během jednoho roku?
- Jak často se může během roku posádka zdravotnické záchranné služby setkat s použitím umělé plicní ventilace?
- Jaké ventilační režimy jsou nejčastěji využívány v přednemocniční neodkladné péči?

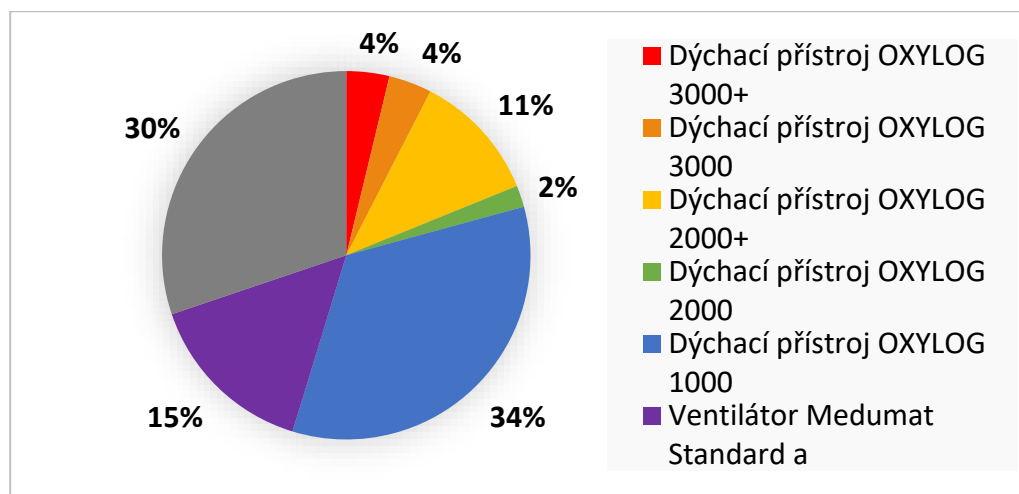
## 4 METODIKA

Potřebné informace byli získány metodou kvantitativního výzkumu. Sběr dat byl proveden pomocí telefonických rozhovorů po předchozím zaslání kopie podkladu zadání bakalářské práce a potvrzení o studiu, přímo s řediteli, případně s pověřenými zaměstnanci z vedení jednotlivých krajských zdravotnických záchranných služeb. Kontakty pro uskutečnění hovoru byly dostupné na webových stránkách krajských zdravotnických záchranných služeb. Další formou bylo osobní setkání s řediteli po předchozí telefonické dohodě nebo elektronické komunikaci a následný rozhovor. Během rozhovorů byly kladeny výzkumné otázky uvedené výše. Dále byly kladeny dotazy na technické parametry jednotlivých ventilátorů a specifika týkajících se jejich obsluhy v přednemocniční neodkladné péči. Potřebné informace týkající se obsluhy ventilátorů byly získány od zaměstnanců zdravotnických záchranných služeb, na které jsem byl odkázán z vedení, dále z prospektů a návodů k použití k jednotlivým typům ventilátorů. Dotazováno bylo 8 krajských zdravotnických záchranných služeb, zdravotnická záchranná služba hlavního města Prahy, Středočeského kraje, Jihočeského kraje, Plzeňského kraje, Karlovarského kraje, Ústeckého kraje, Královehradeckého kraje, Pardubického kraje. Ze získaných dat od zdravotnických záchranných služeb, rozhovorů s odborníky na umělou plicní ventilaci, přednášek a literatury zaměřené na respirační insuficienci byl vypracován postup pro použití umělé plicní ventilace dle příznaků ventilačních poruch, které lze zjistit vyšetřením v přednemocniční neodkladné péči.

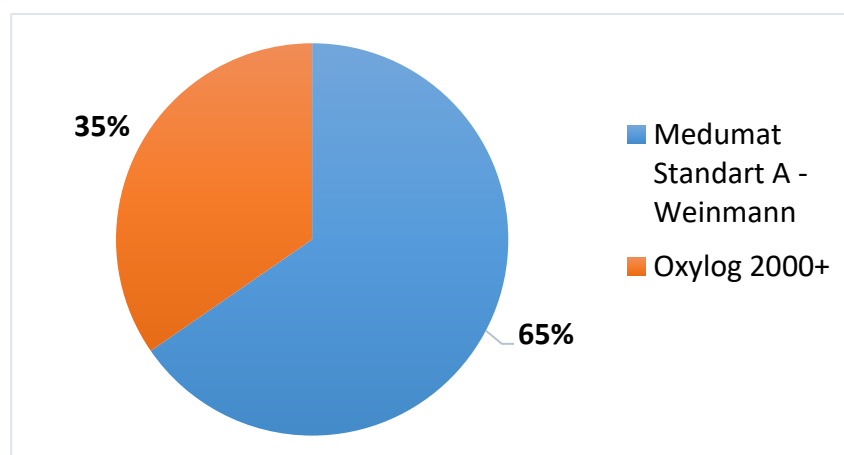
## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 Ventilátory užívané ve výjezdových posádkách u zkoumaných krajských zdravotnických záchranných služeb

Z osmi dotazovaných zdravotnických záchranných služeb, poskytly potřebná data 4 (50 % dotázaných). Údaje byly získány ze zdravotnické záchranné služby Středočeského kraje, Ústeckého kraje, Karlovarského kraje, Královehradeckého kraje. Na obrázcích 36 až 39 je pomocí diagramu znázorněno zastoupení jednotlivých typů ventilátorů. Na obrázku 40 je znázorněn diagram zastoupení ventilátorů ve všech zkoumaných krajích.

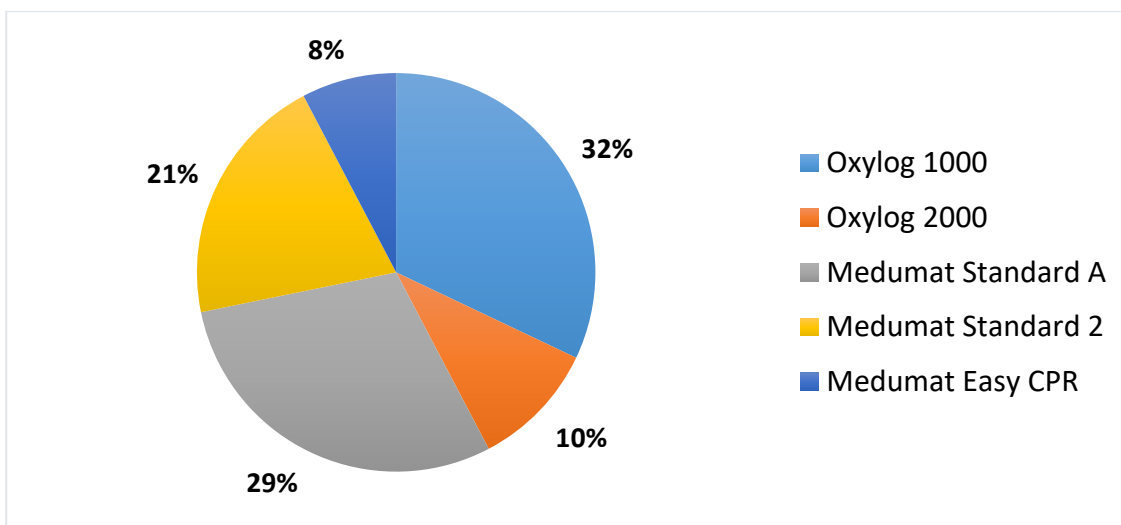


Obrázek 36. Zastoupení jednotlivých typů ventilačních přístrojů u ZZS Královehradeckého kraje [vlastní zpracování]

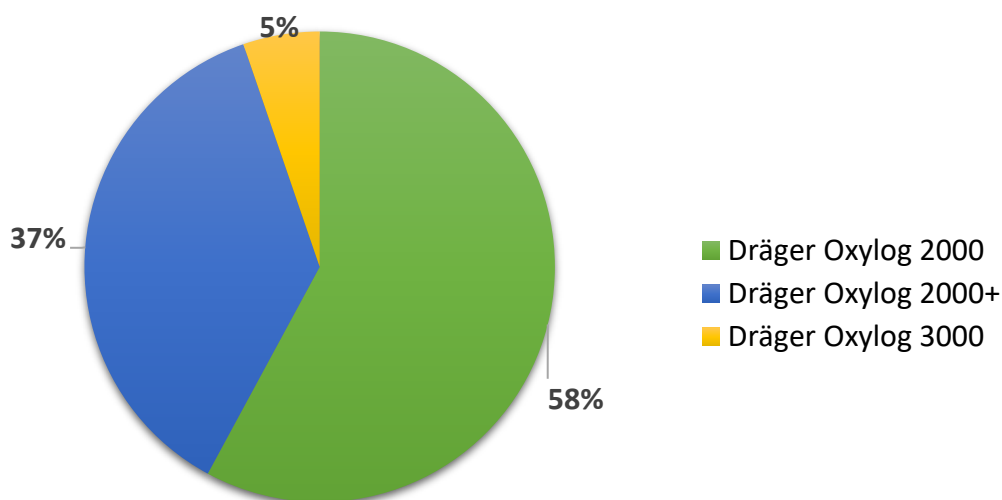


Obrázek 37 Zastoupení jednotlivých typů ventilačních přístrojů u ZZS Karlovarského kraje [vlastní zpracování]

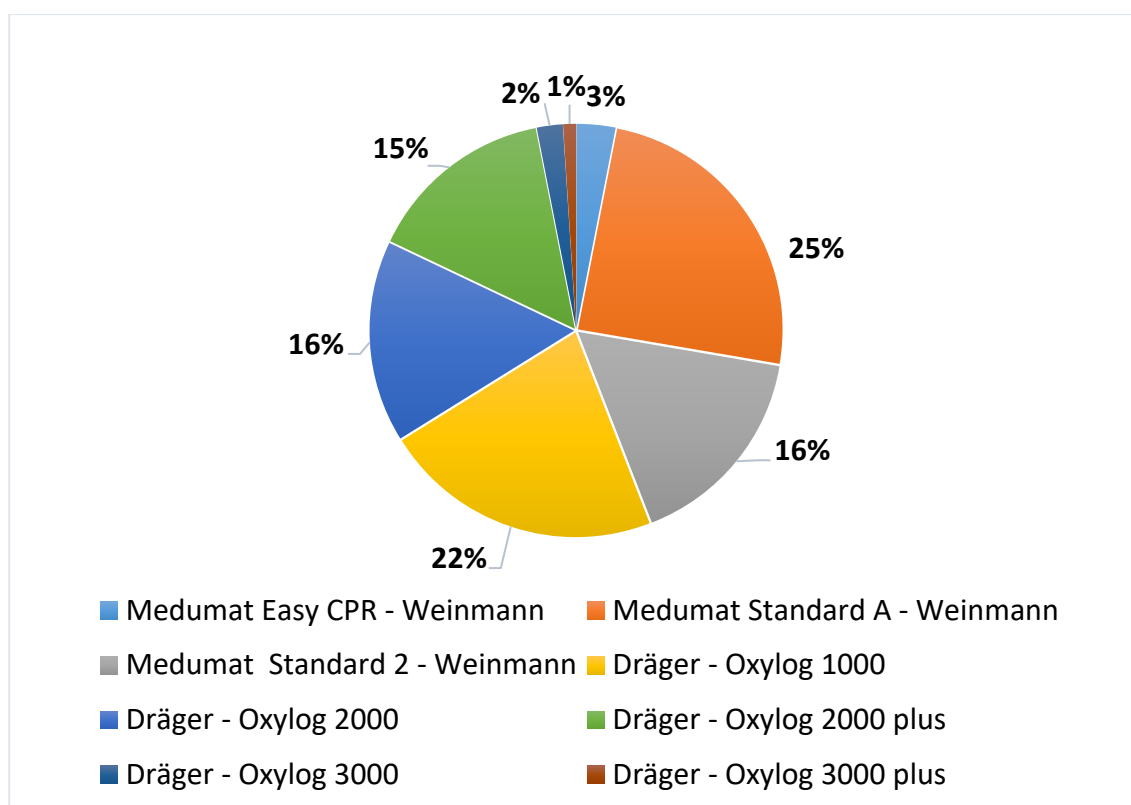




Obrázek 38 Zastoupení jednotlivých typů ventilátorů u ZZS Středočeského kraje [vlastní zpracování]



Obrázek 39 Zastoupení jednotlivých typů ventilátorů u ZZS Ústeckého kraje [vlastní zpracování]



Obrázek 40 Zastoupení jednotlivých typů ventilátorů ve všech zkoumaných krajích [vlastní zpracování]

#### 5.1.1 Medumat easy CPR-Weinmann

Medumat easy CPR je automatický dýchací kyslíkový přístroj určený k neodkladné resuscitaci přímo na místě zásahu, k dlouhodobému použití při trvalé nouzové situaci, ke krátkodobé inhalaci O<sub>2</sub> s dýchací maskou. Ventilátor lze použít při krátkodobém transportu v areálu nemocnice. V nouzových situacích lze užít i při transportech na delší vzdálenost. Přístroj je určen pro pacienty nad 10 kg. K provozu je nutný tlak kyslíku 2,7 – 6 bar s minimálním průtokem 70 l/min a interní elektrické napájení.

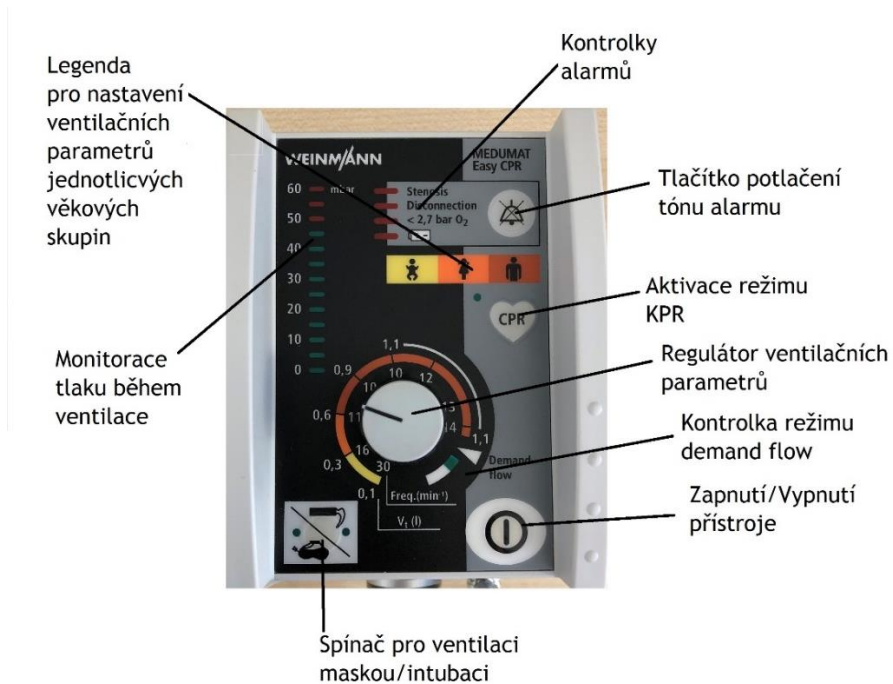
Medumat Easy CPR poskytuje plně řízenou ventilaci. Nastavované hodnoty dechové frekvence a dechového objemu jsou na sebe vázány a elektronicky regulovány. Vdechovaný vzduch je k pacientovy přiváděn pomocí dýchací hadice přes patientský ventil, bakteriální filtr a tracheální rourku (alternativní pomůcku).

Pomocí štěrbinové membrány v patientském ventilu může být vzduch během expiria vydechován ven mimo ventilační okruh. Na expirační výstup patientského ventilu je možno připojit PEEP ventil a rozšířit možnosti přístroje. K patientskému ventilu je připojena měřící hadice (měření tlaku v průběhu ventilace) a MEDUtrigger na který navazuje bakteriální filtr a příslušná pomůcka k zajištění dýchacích cest. Přístroj je vybaven hlasovým pokynem, který slouží jako návod pro uživatele, při jeho použití. Hlasový pokyn lze vypnout, pokud není požadován. Další funkcí je ventilační režim Demandflow, jež umožňuje inhalaci O<sub>2</sub> řízenou dechem, přes masku. Při malém inspiračním impulsu vyvolaném pacientem začne proudit kyslík, jehož proudění se následně přeruší lehkým přetlakem. Expirium proběhne opět přes patientský ventil. Při zpuštění režimu CPR se řízené dýchání přeruší a jednotlivé vdechy jsou prováděny pomocí tlačítka MEDUtrigger. K bezpečnému provádění umělé plicní ventilace slouží několik druhů alarmů. Alarm stenózy (dosažení P<sub>max</sub> ve dvou po sobě jdoucích fázích), alarm rozpojení, alarm pokles tlaku zásobování kyslíkem, alarm nedostatečného napětí v baterii.

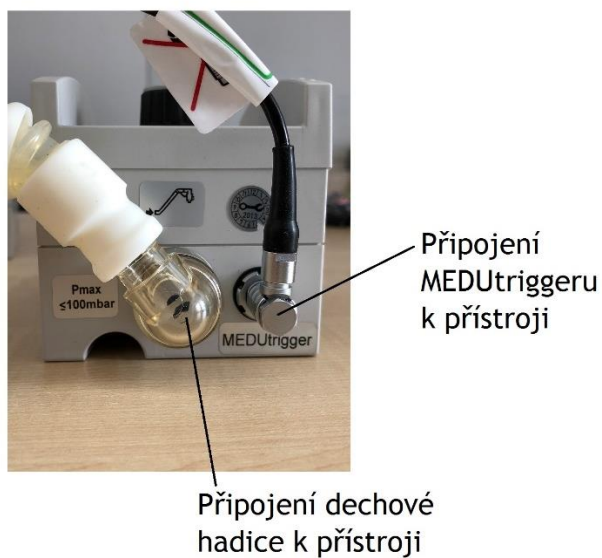
Před zahájením ventilace je nutné připojit přístroj ke zdroji kyslíku a otevřít jeho přívod. Následně se musí nastavit potřebné ventilační parametry dle věkové skupiny pacientů, jejich hmotnosti a charakteru dechové poruchy (compliance, rezistance). Nastavení ventilačních parametrů v souvislosti s pomocnou barevnou legendou na ovládacím panelu přístroje je uvedeno v tabulce na obrázku 41. Na obrázcích 42 a 43 jsou popsány ovládací prvky ventilátoru. [28]

Barevný kód:	žlutá	oranžová	hnědá				
Věk (roky)	1 - 5	5 - 16	16+				
Tělesná hmotnost (kg)	10-25	20-45	45	75	90	120	140
Dechová frekvence (min <sup>-1</sup> )	25-15	15-12	12	10	10	10	10
Objem tidal (ml)	65-150	150-300	300	500	600	800	950

Obrázek 41 Nastavení ventilačních parametrů u jednotlivých věkových skupin [28]



Obrázek 42. Medumat Easy CPR a jeho popis [vlastní zpracování]

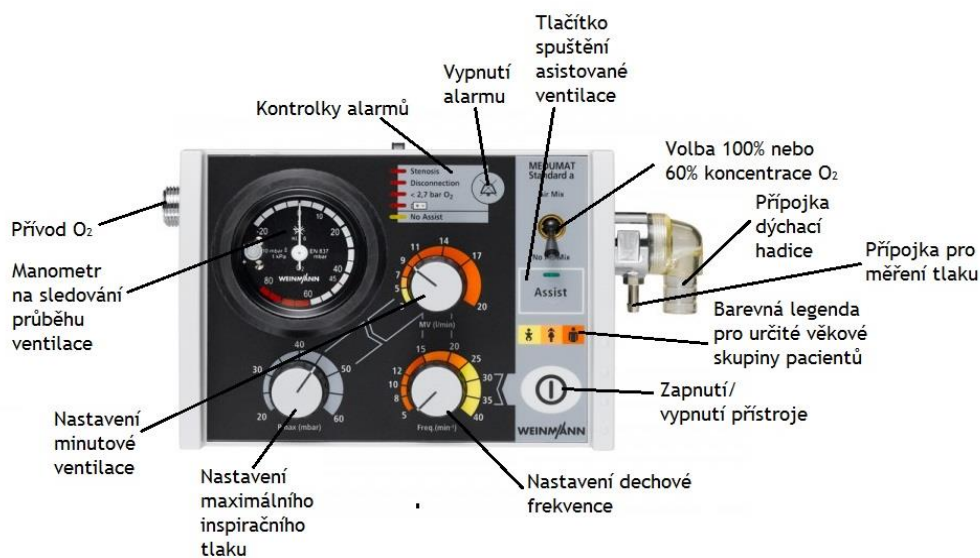


Obrázek 43 Medumat Easy CPR pohled ze spodní strany [vlastní zpracování]

### 5.1.2 Medumat standard-Weinmann A

Medumat Standart A je automatický transportní ventilátor určený pro krátkodobé použití v terénu, či při převozech ventilovaných pacientů mezi

odděleními. Přístroj slouží k řízené ventilaci (IPPV) osob s hmotností vyšší než 10 kg a asistované ventilaci vyšší než 15 kg. Dále se používá k terapii při zástavě dechu. Jako dýchací plyn je používán stlačený medicínální kyslík. Inspirovaný plyn je veden hadicí přes patientský ventil a ventilační masku (tracheální rourku) až k pacientovi. Štěrbínová membrána u patientského ventilu umožňuje výdech. Na expirační výstup patientského ventilu lze připojit PEEP ventil, jenž umožní ventilaci pozitivním přetlakem na konci výdechu. Pomocí tlačítka assist je spuštěn režim asistované ventilace. Pacient spouští dechový cyklus svým vlastním dechovým úsilím. Bez ohledu na nastavený režim má pacient možnost spontánního dýchání přes patientský ventil. Inspiruje vzduch z okolního prostředí. Zvolením Air Mix se koncentrace vdechovaného kyslíku pohybuje mezi 55% až 85%. Za určitých indikací, nebo pokud je okolní vzduch kontaminovaný je možno použít No Air Mix, kdy je vdechován čistý kyslík. Pomocí přídatných modulů umožňuje odsávání a inhalaci kyslíku. Medumat Standard A a přídatné moduly nesmějí být používány současně. Existuje několik druhů přídatných modulů. Modul oxygen, slouží k inhalaci kyslíku, modul suction k odsávání, modul Combi umožňuje odsávání i inhalaci kyslíku. Při použití modulu Interface lze připojit externí zdroj kyslíku. Ventilátor může být montován ke stěně dopravního prostředku pomocí zádržného systému Station Medumat nebo může být umístěn spolu s kyslíkovou lahví a přídatným modulem na přenosné jednotce Life-Base, připravený k okamžitému použití. Ventilátor je vybaven alarmy, které upozorní na rozpojení okruhu, stenózu, špatnou funkci triggeru, pokles tlaku v dýchacích cestách, nízký stav baterií. Na obrázku 44 vidíme ventilátor Medumat Standard A a stručný popis jeho ovládacích prvků. [30]



Obrázek 44. Popis ventilátoru Medumat Standard A [32]

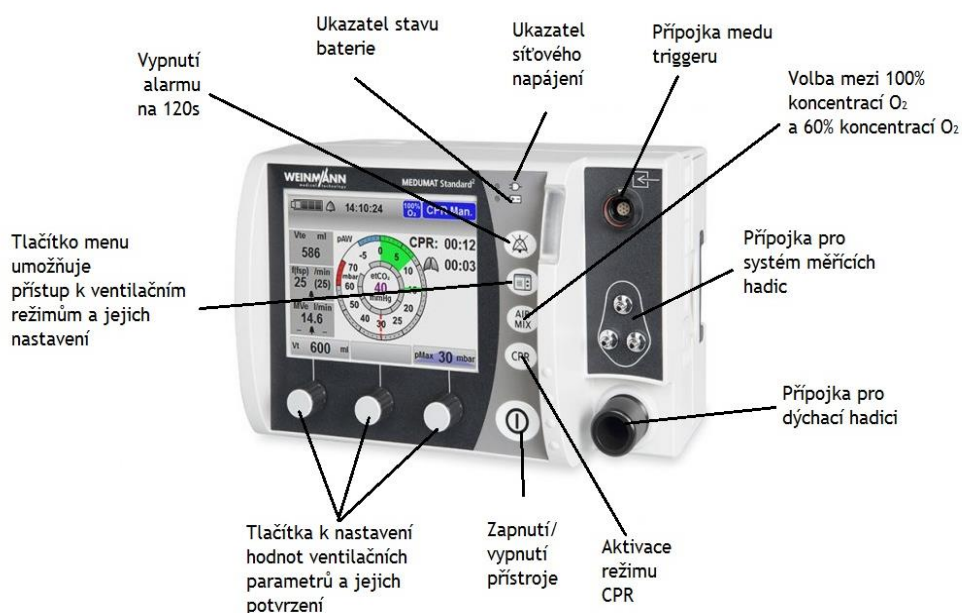
### 5.1.3 Medumat standard-Weinmann 2

Medumat standard 2 je automatický přenosný ventilační přístroj určený k ošetření dospělých, dětí a malých dětí s nepřítomností spontánního dýchání nebo jeho nedostatečnosti. Použití u novorozenců není vhodné. Přístroj lze užit k invazivní i neinvazivní ventilaci, dále umožňuje inhalaci kyslíku a preoxygenaci. Medumat standard 2 lze využít v naléhavých situacích přímo v terénu, během přepravy pacienta u pozemní, letecké i vodní záchranné služby či při transportu mezi jednotlivými odděleními v areálu nemocnice. V tabulce 10 jsou uvedeny a rozděleny dostupné ventilační režimy. Na obrázku 45 je znázorněn stručný popis ventilátoru Medumat Standard 2.

Tabulka 10 Režimy dostupné u Medumat standard 2-Weinmann[29]

Regulační parametry	Řízená ventilace	Asistovaná ventilace	Spontánní dýchání
Tlak			CPAP

Objem	CPR RSI- IPPV IPPV	S-IPPV SIMV RSI manuální	RSI požadavek požadavek
-------	--------------------------	--------------------------------	----------------------------



Obrázek 45 Pohled na ventilátor Medumat Standard 2 ze předu a jeho popis [33]

Po zapnutí přístroje a následném autotestu se na obrazovce objeví startovací menu, které obsahuje tyto položky: naléhavý případ – malé dítě, naléhavý případ – dítě, naléhavý případ dospělý, poslední pacient za 10s, nový pacient, kontrola funkce. Zvolením možnosti „naléhavý případ“ (malé dítě, dítě, dospělý) ventilátor okamžitě přejde do režimu IPPV s nastavenými parametry pro danou věkovou skupinu. Na obrázku 46 je znázorněna obrazovka ventilátoru po zapnutí přístroje a jeho automatické nastavení po výběru položky „Naléhavý případ-dospělý“ na obrázku 47.



Obrázek 46 Startovací menu po zapnutí ventilátoru [29]



Obrázek 47 Automatické nastavení parametrů ventilace po výběru možnosti „Naléhavý případ – dospělý“ [29]

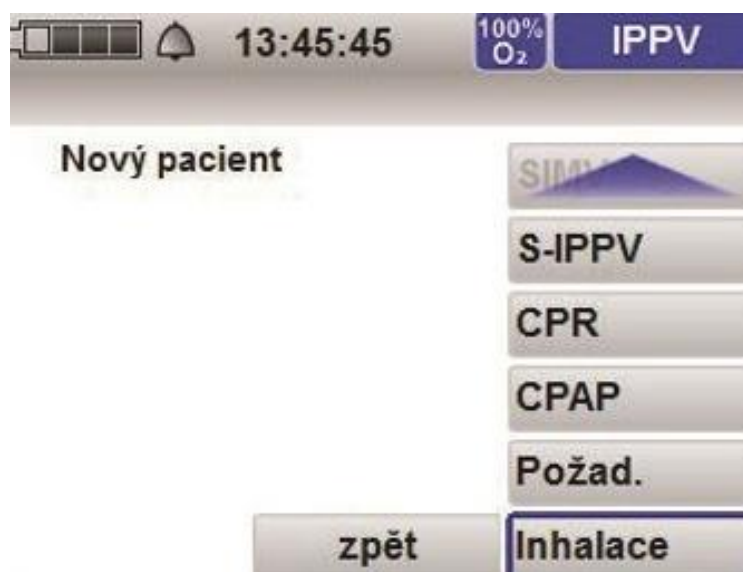
Výběrem možnosti „poslední pacient za 10s“ bude přístroj pracovat ve stejném nastavení jako při použití u posledního pacienta. Pomocí položky „nový pacient“ se zobrazí okno, kde je možno zadat výšku, pohlaví či věkovou skupinu pacienta. (viz obrázek 48)





Obrázek 48 Nastavení ventilátoru pro nového pacienta [29]

Potvrzením těchto údajů se na obrazovce zobrazí výběr ventilačních režimů. Zvolením vhodného režimu je ventilátor automaticky nastaven pro nového pacienta. (viz obrázek 49)



Obrázek 49 Možnost volby režimů pro nového pacienta [29]

Při použití urgentních režimů je pacient standardně ventilován  $FiO_2 = 1,0$ . Pomocí tlačítka „air mix“ při  $FiO_2$  zhruba 0,6. Pomocí tlačítka „CPR“ spouštíme jednotlivé dechy s nastaveným objemem sami pomocí MEDU triggeru. Během režimu CPR je

ventilátor vybaven metronomem v rytmu 30:2 nebo 15:2. Režim RSI slouží k dechové podpoře pacientů při použití celkové intravenózní anestezie. Režim inhalace slouží k aplikaci kyslíku 1-10 l/min přes odpovídající přípojku a adaptér, jež umožní připojení dýchací hadice.

Komunikace mezi přístrojem a pacientem je uskutečněna přes systém dýchací hadice, měřících hadic a patientského ventilu.

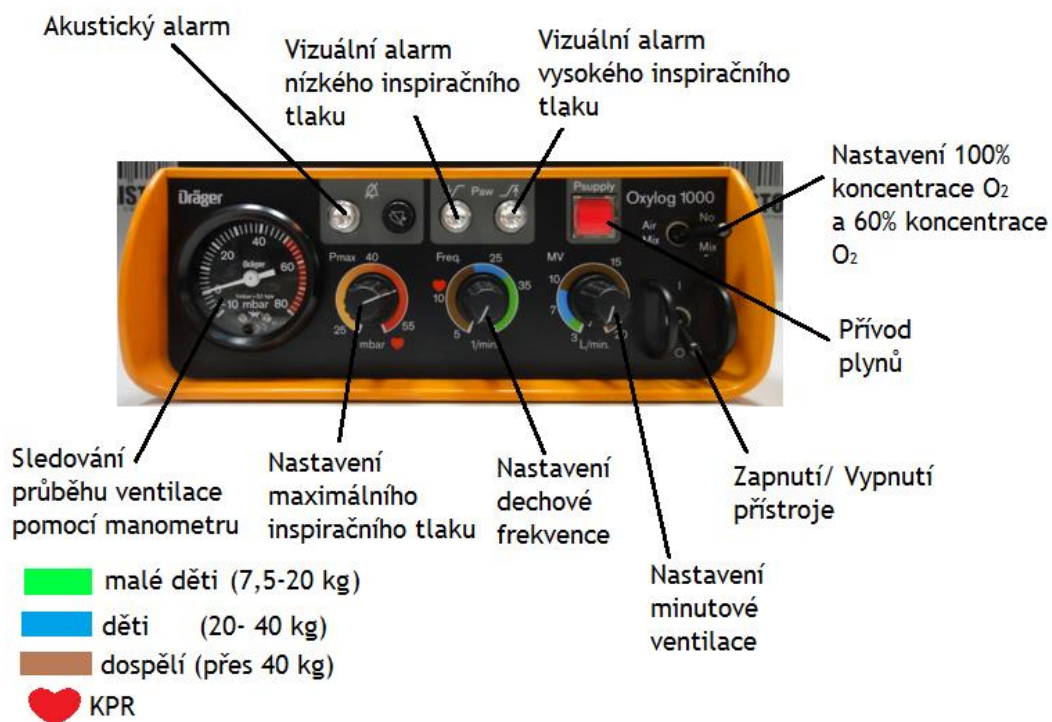
Ventilátor je vybaven alarmem zvýšeného, nebo sníženého tlaku v dýchacích cestách, nízkého tlaku přívodu provozních plynů, alarm apnoe.

Ventilátor je v rámci bezpečného transportu upevněn na několika typech nosných systémů. Life-base 3NG, Life-base 1NG XL, Life-base light XS. [29]

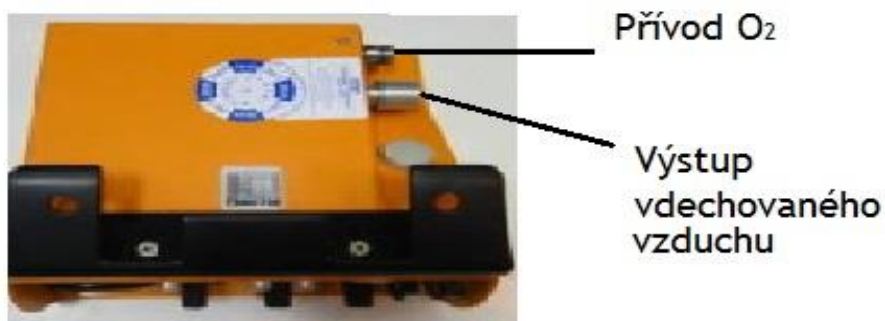
#### **5.1.4 Oxylog 1000**

Oxylog 1000 je transportní ventilátor, který není závislý na zdroji elektrické energie. Funkce ventilátoru jsou ovládány pneumaticky. K dispozici je pouze jeden ventilační režim IPPV. Další rozšíření možností je připojení PEEP ventilu k expiračnímu výstupu. Přístroj je vybaven vizuálními a zvukovými alarmy, které monitorují tlak přívodní a tlak v dýchacích cestách. Díky své jednoduché konstrukci nezávislosti na zdrojích elektrické energie se vyznačuje vysokou spolehlivostí i nepříznivých podmínkách.

Na přístroji se manuálně nastaví vhodné parametry podle tělesné konzistence pacienta. Následně se spustí přívod kyslíku a ventilátor. Řízená ventilace v režimu IPPV je zahájena. Na obrázku 50 a 51 je popsán ventilátor Oxylog 1000, jeho ovládací prvky a důležité součásti. [15]



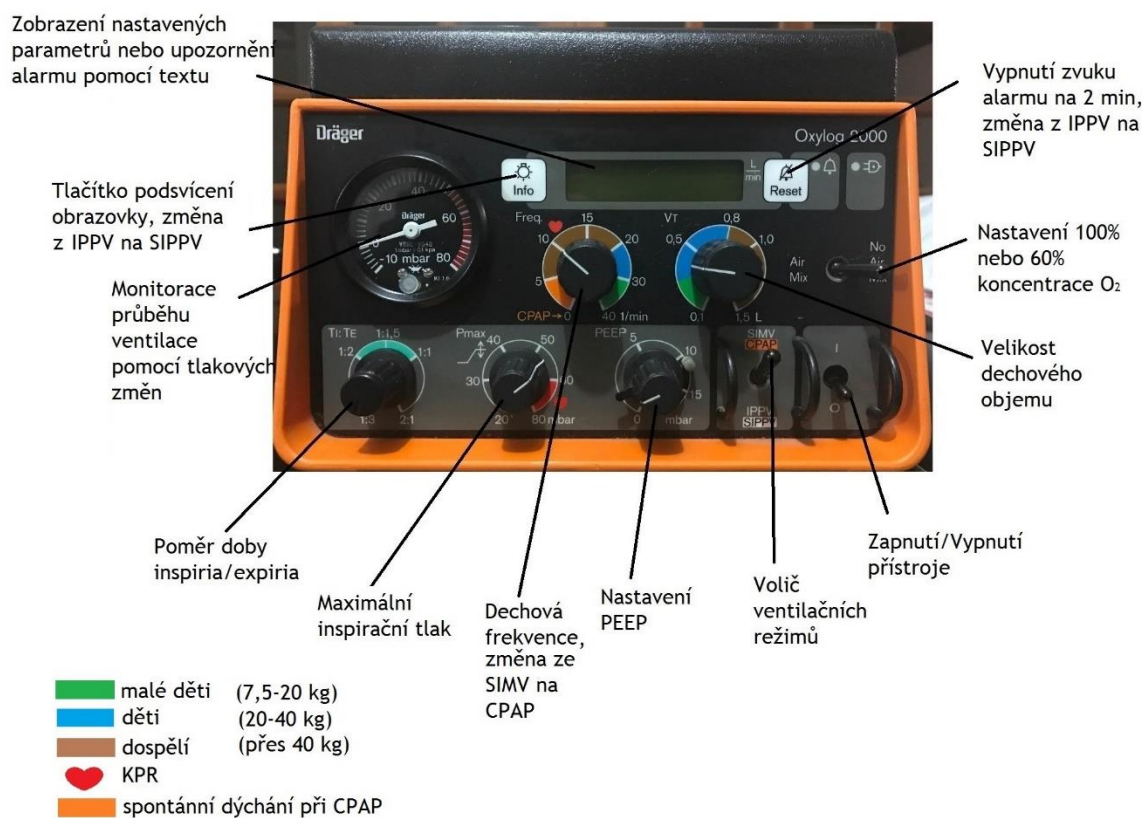
Obrázek 50 Popis ovládacích proků ventilátoru Oxylog 1000 [34]



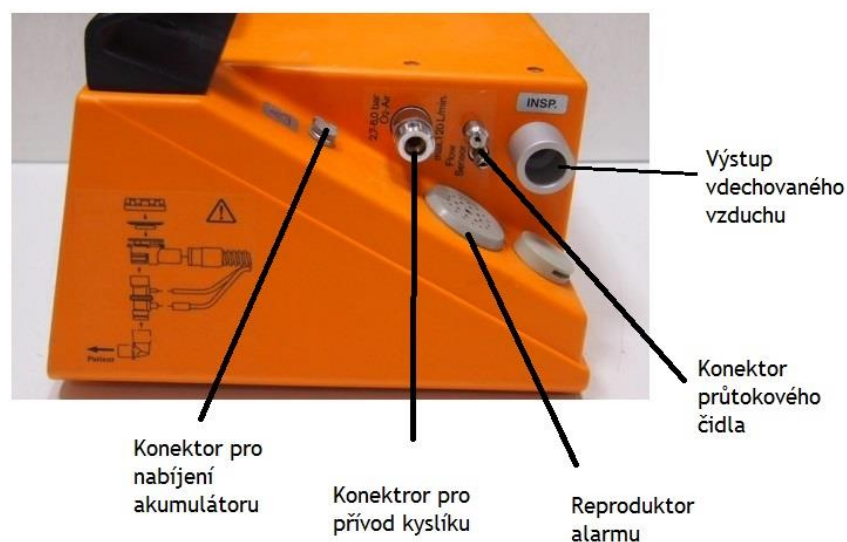
Obrázek 51 Boční pohled na ventilátor Oxylog 1000 [35]

### 5.1.5 Oxylog 2000

Oxylog 2000 je transportní ventilátor s časově cyklovanými vdechy, určený pro pacienty s dechovým objemem nad 100ml. Přístroj nabízí režim IPPV s nastavitelným poměrem I:E, SIPPV, SIMV (synchronizovanou mandatorní ventilaci) a CPAP. Pacient může být podle indikace ventilován 100% kyslíkem (No Air Mix) nebo 60% kyslíkem (Air Mix). Ventilátor je vybaven alarmem, jež upozorní na nízký tlak přívodu plynu ze zdroje, nízký tlak či netěsnost v okruhu, vysoký tlak v okruhu, vysoká dechová frekvence, apnoe. V případě, že nastane apnoe, ventilátor není vybaven záložním režimem. Obrázek 52 a 53 popisuje ovládací prvky přístroje a jejich význam při použití. [22, 23]



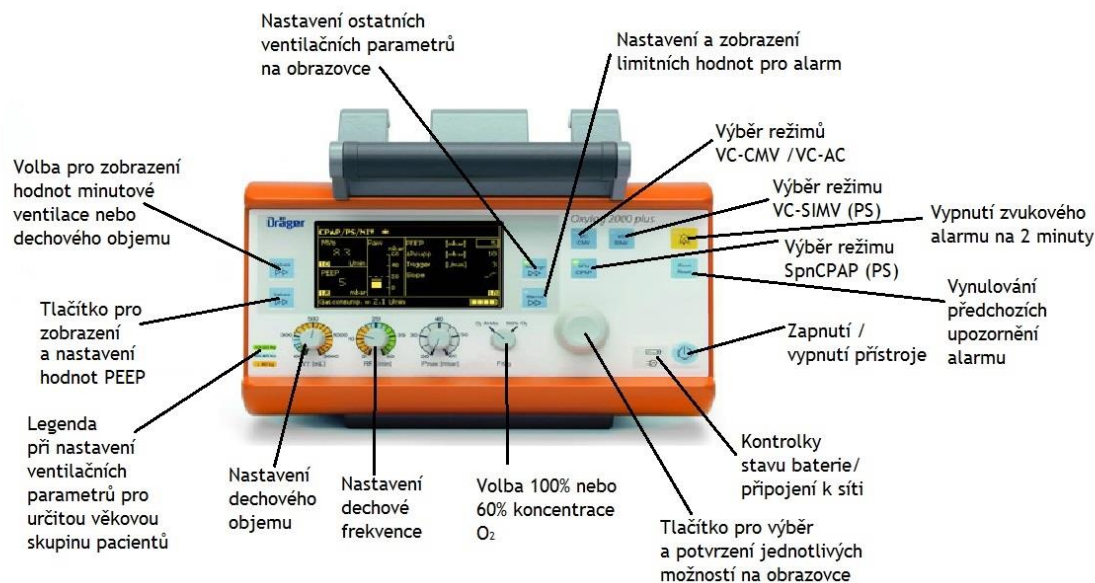
Obrázek 52 Stručný popis ovládacích prvků ventilátoru Oxylog 2000 [36]



Obrázek 53 Boční pohled na ventilátor Oxylog 2000 [37]

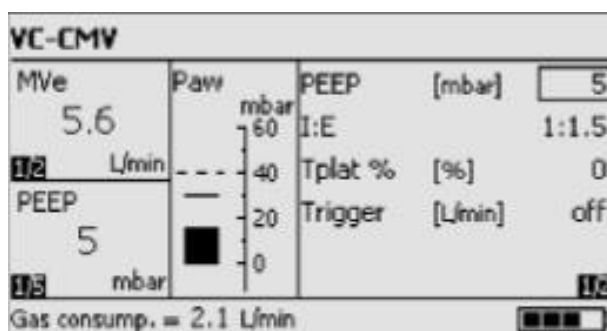
#### 5.1.6 Oxylog 2000 plus

Oxylog 2000 plus je transportní ventilátor s časově cyklovanou a objemově řízenou ventilací. Přístroj nabízí plně řízenou i asistovanou ventilaci pro pacienty s dechovým objemem nad 100 ml. Je schopen poskytnout objemově řízenou mandatorní ventilaci VC-CMV, objemově řízenou ventilaci s asistencí VC-AC, objemově řízenou synchronizovanou mandatorní ventilaci s nastavitelnou tlakovou podporou VC-SIMV (PS), ventilaci kontinuálním pozitivním přetlakem s nastavitelnou tlakovou podporou SpnCPAP (PS). Při ventilaci SpnCPAP je k dispozici záložní režim (Apnoe ventilation), který při výpadku spontánního dýchání přepne do módu objemově řízené mandatorní ventilace VC-CMV. Režim SpnCPAP je možno využít i při neinvazivní ventilaci NIV užitím obličejové masky. Alarmy jsou shodné s modelem Oxylog 2000. Na obrázcích 54 a 56 je znázorněn stručný popis ventilátoru Oxylog 2000plus.



Obrázek 54 Oxylog 2000 plus a popis jeho ovládacích prvků [25]

Po zapnutí přístroje je automaticky provedena kontrola přístroje (cca 6s). Po provedení kontroly je přístroj automaticky nastaven v režimu VC-CMV při nastavení PEEP = 5 cmH<sub>2</sub>O, poměru inspiria a expiria (I:E = 1:1,5), vypnutým triggerem, nastavením času plateau (T<sub>plat</sub> = 0%). Volba jiného ventilačního, který je v danou chvíli indikován se provádí pomocí ovládacích prvků, které jsou popsány na obrázku 54. Na obrázku 55 můžeme pozorovat obrazovku Oxylog 2000 plus s automaticky nastavenými parametry ventilace po jeho spuštění. [25]



Obrázek 55 Obrazovka ventilátoru Oxylog 2000 plus [25]

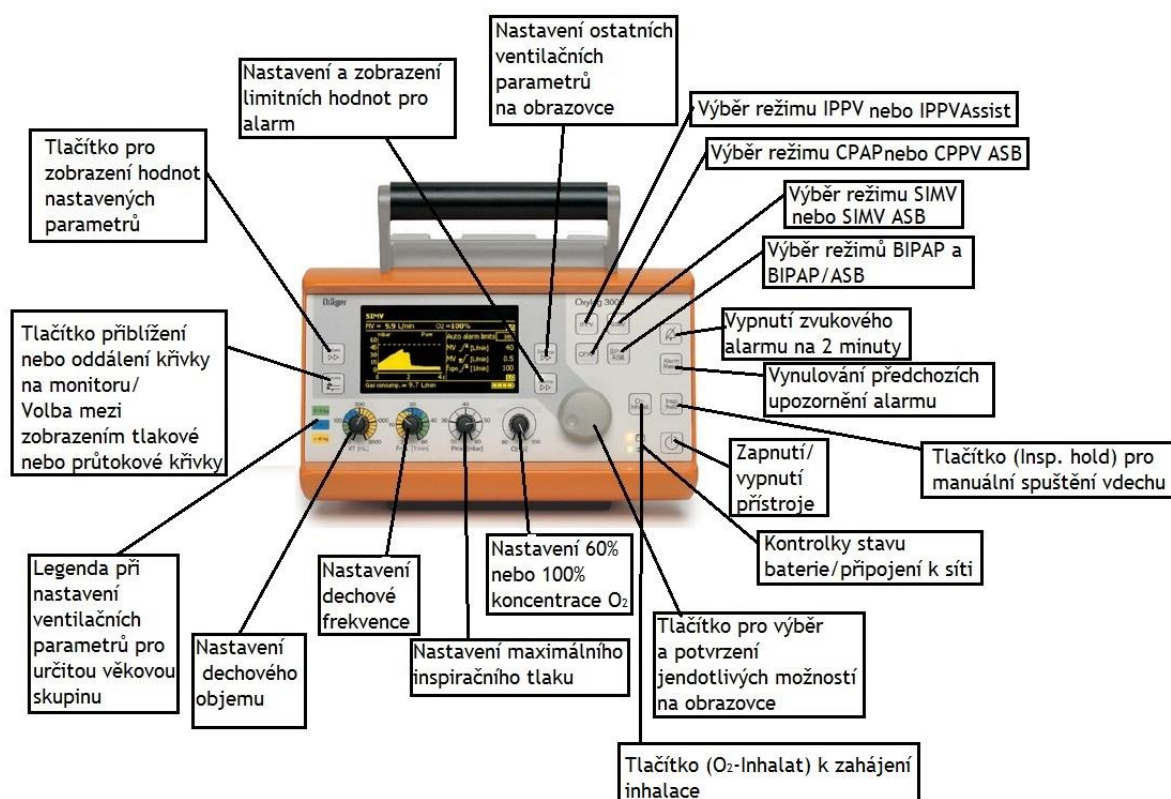


Obrázek 56 Boční pohled na ventilátor Oxylog 2000 plus [25]

### 5.1.7 Oxylog 3000

Oxylog 3000 je transportní ventilátor, nabízející časově cyklovanou, objemově nebo tlakově řízenou ventilaci. Je určený pro pacienty s dechovým objemem od 50 ml výše. Vybavení tohoto typu je srovnatelné s nemocničními ventilátory a jeho uplatnění je široké. Přístroj je schopen dlouhodobé ventilace, aniž by byl pacient ohrožen, a to na různých místech (místo zásahu, transport, nemočnické oddělení). Ventilátor umožňuje řízenou ventilaci s nastavitelnou asistencí IPPV/ IPPVAssist (při použití PEEP, CPPV/ CPPVAssist), synchronizovanou intermitentní mandatorní ventilaci s nastavitelným režimem asistovaného spontánního dýchání s možností tlakové podpory SIMV/ASB (SIMV/PS), spontánní dýchání s pozitivním přetlakem a nastavitelnou asistencí (s možností tlakové podpory) CPAP/ ASB (SIMV/PS), ventilaci na dvou tlakových úrovních s nastavitelnou tlakově řízenou ventilací kombinovanou se spontánním dýcháním během dechového cyklu BIPAP/ASB (PCV/PS). Přístroj je vybaven záložním ventilačním režimem, který automaticky spustí objemově řízenou mandatorní ventilaci, pokud nastane apnoe. Uvedené režimy jsou podporované i při neinvazivní ventilaci NIV. Oproti modelu 2000 plus je k dispozici tlačítko „Insp. Hold“, kterým lze manuálně spustit inspirium, které probíhá během doby, kdy je tlačítko stisknuto. Dalším rozdílem je tlačítko „O<sub>2</sub>-Inhalat. sloužící k zahájení inhalace kyslíkem.

Průběh ventilace je monitorován několika alarmy. Alarm nízkého tlaku zdroje plynů, nízkého a vysokého tlaku v okruhu, alarm vysoké frekvence nebo apnoe. Na obrázcích 57 a 58 je znázorněn stručný popis ventilátoru Oxylog 3000.



Obrázek 57 Oxylog 3000 a stručný popis jeho ovládacích prvků [37]



Obrázek 58 Boční pohled na ventilátor Oxylog 3000 [38]

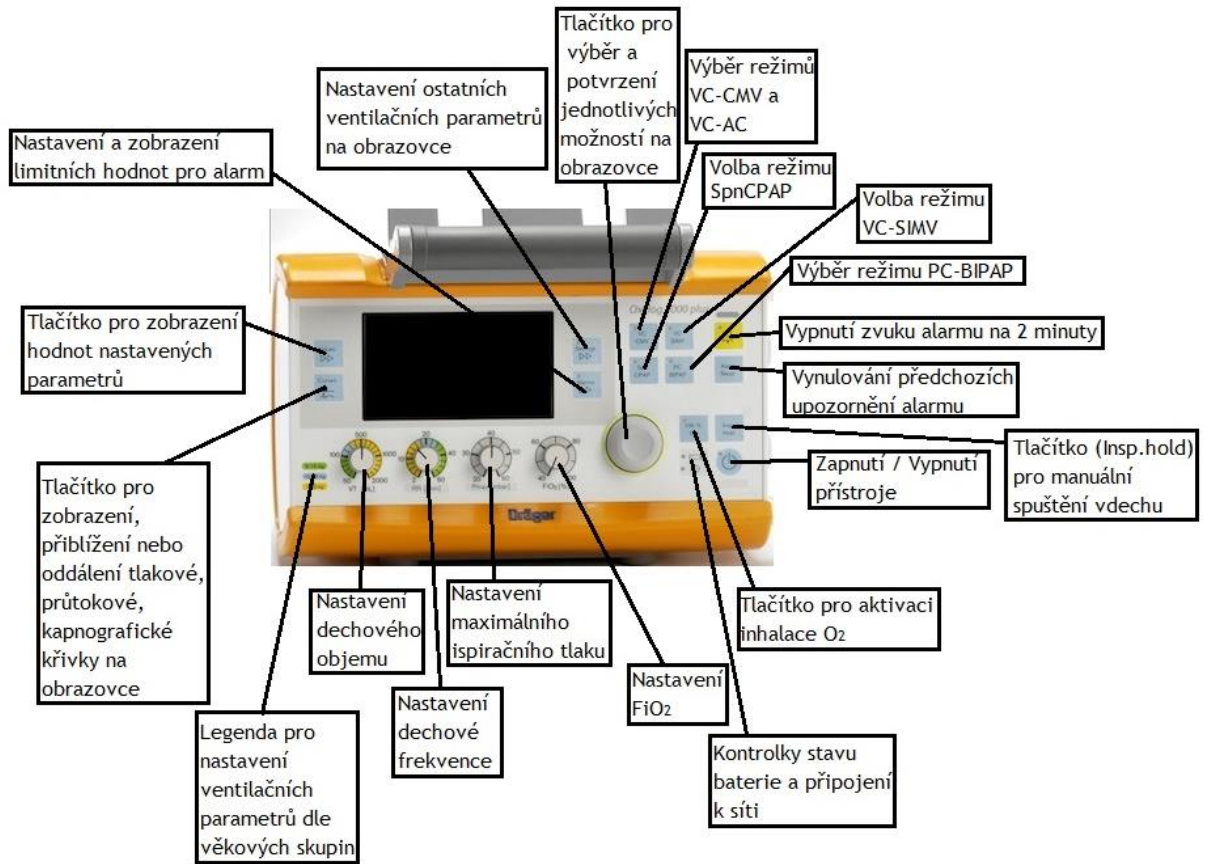


Po zapnutí ventilátoru proběhne během 5 sekund kontrola přístroje. Následně je automaticky spuštěn režim IPPV s nastavením PEEP = 5 cmH<sub>2</sub>O, poměrem inspira a expira (I:E = 1:1,5), vypnutým triggerem, nastavením času plateau (T<sub>plat</sub> = 0%). Nastavení ventilačních režimů a jejich parametrů podle aktuální indikace se provádí pomocí ovládacích prvků popsaných na obrázku 52. [26]

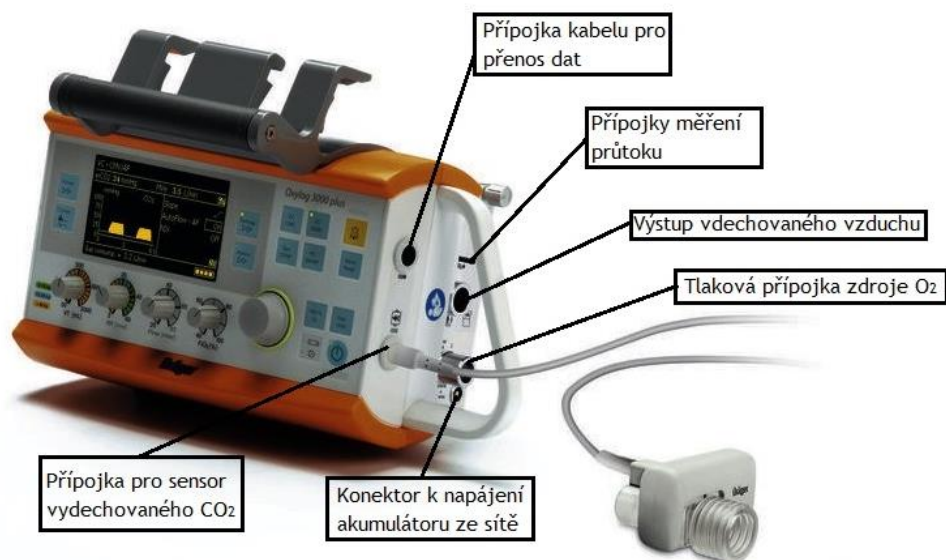
#### **5.1.8 Oxylog 3000 plus**

Oxylog 3000 plus je transportní ventilátor umožňující časově cyklovanou, objemově nebo tlakově řízenou ventilaci pro pacienty s dechovým objemem od 50 ml výše. Ventilace může být plně řízená nebo asistovaná. Přístroj lze použít nejen během krátkodobých transportů. Jeho vybavení je srovnatelné s nemocničními ventilátory a jeho využití je široké, od místa události, přes palubu leteckých prostředků až po nemocniční oddělení. K dispozici jsou objemově řízené režimy (VC-CMV, VC-AC, VC-SIMV), tlakově řízené režimy (PC-BIPAP), režimy k podpoře spontánního dýchání (SpnCPAP), k dalším možnostem nastavení ventilačních režimů patří, tlaková podpora (PS) při režimech (VC-CMV, VC-AC, VC-SIMV, PC-BIPAP, SpnCPAP), záložním režim v případě apnoe v průběhu ventilace SpnCPAP nebo Auto Flow, jež umožňují objemově řízenou ventilaci s minimalizovaným tlakem vdechovaného vzduchu, při režimech (VC-CMV, VC-AC, VC-SIMV). Všechny uvedené režimy je možno použít i při neinvazivní ventilaci. Ke speciálním funkcím patří možnost manuálního zahájení vdechu a volby jeho trvání pomocí tlačítka „Insp. hold“, nebo zahájení inhalace kyslíku přes masku pomocí tlačítka „O<sub>2</sub>-Inhalat.“. Na rozdíl od výše uvedených přístrojů je Oxylog 3000 plus vybaven integrovanou kapnografií, která pomáhá ověřit správnou polohu tracheální rourky. S ohledem na letecké transporty pacientů je přístroj doplněn o funkci automatické kompenzace nadmořské výšky. Nastavené a měřené ventilační parametry jsou přístrojem automaticky upravovány. Pro pediatrické pacienty je k dispozici dechová hadice s malým mrtvým prostorem, vysokou compliance a vysokou mechanickou flexibilitou. Další funkcí je možnost exportu dat, jež lze

využít při monitoraci pacienta (data jsou přenášena v reálném čase) nebo z důvodu servisních (diagnostika přístroje). Na obrázcích 59 a 60 je popsán Oxylog 3000 plus.  
[27]



Obrázek 59 Oxylog 3000 plus a popis jeho ovládacích prvků [39]



Obrázek 60 Boční pohled na ventilátor Oxylog 3000 plus [40]

### 5.1.9 Porovnání technických parametrů uvedených ventilátorů

Tabulka 11 Porovnání technických parametrů zkoumaných ventilátorů [vlastní zdroj]

Ventilátor	Medumat Easy CPR-Weinmann	Medumat Standard A-Weinmann	Medumat Standard 2-Weinmann	Dräger – Oxylog 1000	Dräger – Oxylog 2000	Dräger – Oxylog 2000 plus	Dräger – Oxylog 3000	Dräger – Oxylog 3000 plus
Hmotnost (kg)	0,6	1,1	2,5	3,15	4,3	5,4	5,4	5,8
Kapacita baterie (h)	/	/	6	/	4	4	4	5
Průtokový trigger (l/min)	/	5		/	/	/	3-15	3-15
Dechový objem (VT)	0,1 - 1,1	závisí na MV	0,05 - 2		0,1 - 1,5	0,1 - 2	0,05 - 2	0,05 - 2
Inspirační tlak (cm H <sub>2</sub> O)	20-45	20-60		25-55	20-60	20-60	0-55	0-55
Dechová frekvence (dech/min)	10-30	5-40	5-50	4-54	5-40	5-40	2-60	2-60
Poměr I:E	1:1,67	1:1-1:2,3	1:1,7	1:1,5	1:3-2:1	1:4-3:1	1:4-3:1	1:4-3:1
P support (cm H <sub>2</sub> O)	/	/	/	/	/	/	0-35	0-35
Insp. hold	/	/	/	/	/	/	ano	ano
PEEP (cm H <sub>2</sub> O)	0-20	0-20	0-20	0-20	0-15	0-15	0-20	0-20
FiO <sub>2</sub>	100	60-100	60-100	60-100	60-100	40-100	40-100	40-100
A/CV	/	ano	ano	/	ano	ano	ano	ano
VC-SIMV	/	/	ano	/	/	/	ano	ano
PC-SIMV	/	/	/	/	ano	ano	ano	ano
SIMV (PS)	/	/	/	/	/	/	ano	ano
SpnCPAP (PS)	/	/	/	/	/	/	ano	ano
Záložní režim při apnoe	/	/	/	/	/	ano	ano	ano
BIPAP	/	/	/	/	/	/	ano	ano
Ostatní režimy	CPR	/	CPR, NIV	/	/	NIV	PCV, NIV pro CPAP a PCV	PCV, NIV pro CPAP a PCV

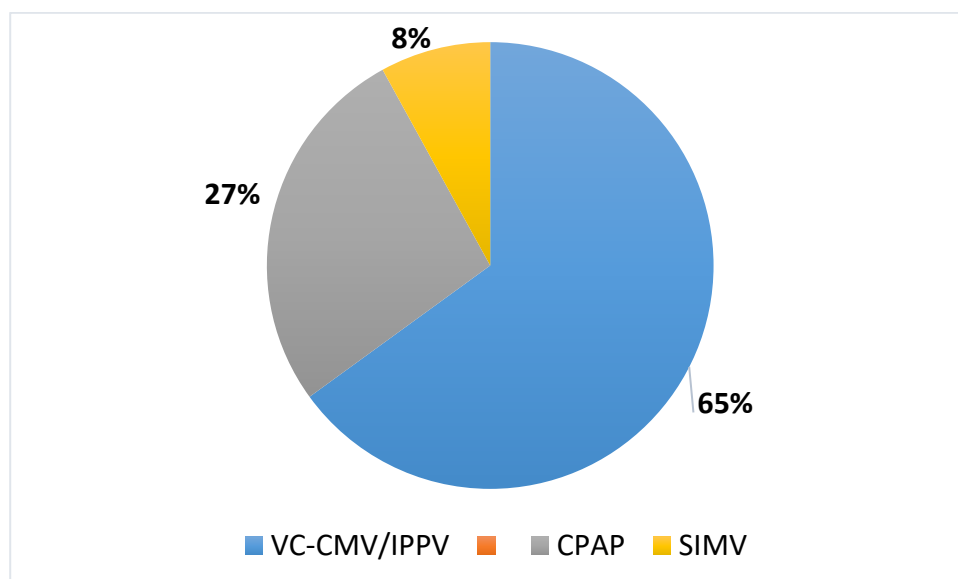
## 5.2 Četnost výjezdů indikovaných k použití umělé plicní ventilace

Tabulka 12 Četnost použití ventilátorů na zkoumaných krajských ZZS [vlastní zpracování]

Četnost výjezdů indikovaných k použití UPV ve vybraných krajích za rok 2017				
Zdravotnická záchraná služba	Karlovarský kraj	Královehradecký kraj	Středočeský kraj	Ústecký kraj
Počet výjezdů UPV	516	455	883	436
Celkový počet výjezdů	42836	49563	135 153	78452
Procentuální vyjádření výjezdů UPV	1,20	0,92	0,65	0,56
Počet výjezdových skupin	26	53	78	38
Použití ventilátoru jedné výjezdové skupiny	1krát za 18 dní	1krát za 42 dní	1krát za 31 dní	1krát za 31 dní

## 5.3 Nejčastěji používané režimy v přednemocniční péči

Na obrázku 61 jsou na diagramu znázorněny tři nejčastěji používané ventilační režimy ve zkoumaných krajích. Můžeme zde pozorovat viditelnou převahu režimu řízené plicní ventilace.



Obrázek 61 Ventilační režimy, nejčastěji užívané ve Středočeském, Karlovarském, Královehradeckém a Ústeckém kraji [vlastní zpracování]

#### **5.4 Algoritmus použití umělé plicní ventilace v terénu**

Tento algoritmus slouží k optimalizaci postupu zahájení umělé plicní ventilace v přednemocniční neodkladné péči, kdy není k dispozici rozbor krevních plynů v krvi. Volba ventilačních režimů je uskutečněna dle 4 základních ventilačních poruch (obstruktivní, restriktivní, centrální, kardiální).

A (airway)		Pacient při vědomí		ne		Přítomnost dýchání		ano		Zařucnění DC		ano		ne		Pulz		ne	
		ano		ne		ano		ne		ano		ne		ano		ne			
		Značky obstrukce horních DC		ne		ano		ne		ano		ne		ano		ne			
B (breathing)	Dýchová frekvence	Aspna bronchiale	Obstrukční	Restrikční	Centrální	Kardiální	KPR												
		nad 30 /min	CHOPN nad 30 /min, následně bradypnoe pod 8 /min, dechová arytmie	Pneumotorax, Hemotorax nad 25 /min	Edém plic, ARDS nad 30 / min	CMP různá, ataktické, biotové dýchání		KCP různá, Cheyne-stokesovo dýchání	Kardiogenní plicní edém nad 30 / min										
Pohled	Pohled	zatahování interkostálních prostorů, zapojení auxilárního svalstva, soudkový hrudník, dráždový kašel	zvýšená náhlní krčící žil, cyanóza, přetížení očí, paradoxní dýchací pohyby, peritibiální a perimaleolární edém	asymetrická exkurze hrudníku, měšňání v krčních žilách, při tenzním PNO dechové trachey směrem od postižené strany, možné známky poranění hrudní stěny	nařčověle zpěněné sputum, zapojení auxilárního svalstva, popelavé šedý, studené opoceny	pokles kourku, spadeční oční víčko, hemiplegie, paralyza dýchacích svalů	brýňový hematom, únik likvoru, hemiace mozkové tkáně, otorhoa, protrvácení processus mastoideus, cyanóza	bledá vřtká kůže, zapojení auxilárního svalstva, zpěněné nařčověle sputum, centrální cyanóza											
		prodloužené expirum, vzrty, pískoty, následně tichý hrudník, ortopnoe	prodloužené expirum, vřtké fenomény, distanční auskultační expektorace	oslabené dýchání na jedné straně, nepřívčuvné chrůpky, kšedá podli ventilovaných alveolu - baby lung	bronchitické fenomény, nepřívčuvné chrůpky, kšedá podli ventilovaných alveolu - baby lung	Bez nálezu	Bez nálezu	Chladná opocená kůže	povrchové dýchání, galop rytmus, vřtké fenomény										
Pohmat	Pohmat	prodloužení pociení	zvětšená játra	kožní emfyzém	změněný	Bez nálezu	Bez nálezu	Chladná opocená kůže											
		hypersonorní	postřžené játra	hypersonorní, hypersonorní na postřžené straně	hypersonorní	Bez nálezu	Bez nálezu	Chladná opocená kůže											
Polep	Polep	50Q2	pod 90%	pod 90 %	pod 92%	pod 92%	pod 92%	pod 90%											
		hypertenze, následně hypotenze	hypotenze	vyrazné oběhová nestabilita, hypotenze	hypertenze, při zhoršení hypotenze	hypertenze, při zhoršení hypotenze	hypertenze, při zhoršení hypotenze	hypotenze, norma											
Krevní tlak	Krevní tlak	nad 120 /min, následně bradykardie	nad 110 /min, následně bradykardie	norma až tachykardie	různé	tachykardie	bradykardie	tachykardie, následně bradykardie											
		nepravdivý, pulzus paradoxus	nepravdivý	norma až tachykardie	různé	tachykardie	bradykardie	tachykardie, následně bradykardie											
C (Circulation)	Pravidelnost pulzu	irritované vlny P, deviace střední osy	doprava nad 2s	nepravdivý	bez nálezu	nepravdivý	nepravdivý	nepravdivý											
		11 -13, zmatenost, somnolence	8 -13, psychotické projevy, křeče, zmatenost, třes	variabilní, agitovanost, úzkost, zmatenost	variabilní, úzkost, zmatenost	13. dezorientace, zmatenost, poruchy zraku - rozmazaný obraz, amauzda, kvantitativní porucha vědomí	norma, při kvrdčení nad 2s pod 9, koma	AV-Blockáda II. nebo III. Stupně nad 2s	13 -15, úzkosty										
D (Disability)	Mimn neurologické vyšetření	Bez nálezu	Bez nálezu	bez nálezu	bez nálezu	Bez nálezu	Bez nálezu	Bez nálezu											
		celková vyčerpanost	převážně cyanotický nebo hubený bez cyanózy, celková vyčerpanost	u sportátní ho PNO kachektický pacient, u ostatních typů možné známky poranění hrudní stěny, nestabilitní hrudník, hematom,	bez nálezu	Bez nálezu	Bez nálezu	Bez nálezu	Bez nálezu										
E (Exposure)	Celková prohlídka nemocného																		
		ventilacní režim	BIPAP A/C	A/C, BIPAP, SIMV															
Zahřijení UPV	Zahřijení UPV	Objemová/řátková řízení	Třátkové řízení	Třátkové řízení	Třátkové řízení	Třátkové řízení	Třátkové řízení	Třátkové nebo objemové řízení											
		Dechová frekvence	8 -10 /min 6 -10 ml/Kg	12-20 (30) /min 4 - 8 ml/Kg	10 -15 /min 12 -15 ml/min	10 -15 /min 12 -15 ml/min	10 /min 12 -15 ml/Kg	10 /min 12 -15 ml/Kg											
		IP	menší než 35 mm Hg	menší než 35 mm Hg	menší než 35 mm Hg	menší než 35 mm Hg	menší než 35 mm Hg	menší než 35 mm Hg											
		PEEP	do 5 cm H2O	5 cm H2O	5 cm H2O	5 cm H2O	5 cm H2O	5 cm H2O a více											
		IE	1-2 do 0,6	1:1 až 1:3 do 0,5	1:1 až 1:3 do 0,5	1:1 až 1:3 do 0,5	1:1 až 1:3 do 0,5	1:1 až 1:3 do 0,5	1:1 až 1:3 do 0,5										

Obrázek 62 Algorjtmus použití umělé plicní ventilace v terénu [10,11,17,18,19,31]

## 6 DISKUZE

Hlavním cílem mé práce bylo vytvořit postup použití ventilačních přístrojů v přednemocniční neodkladné při respirační insuficienci, u níž je indikovaná umělá plicní ventilace.

Teoretická část byla zaměřena na anatomii respiračního systému, fyziologický průběh respirace (průběh ventilace, plicní objemy, difuze, perfuze, transport dýchacích plynů, regulace dýchání). Následně byly popsány patologické stavy respiračního systému způsobující respirační insuficienci a klinické projevy respirační insuficience. Pochopení těchto uvedených jevů je hlavním předpokladem pro zvolení vhodné terapie. Dalším předmětem teoretické části, bylo vysvětlení průběhu umělé plicní ventilace, její indikace, formy umělé plicní ventilace, popis pomůcek k zajištění dýchacích cest, kompetence zdravotnického záchranáře, průběh a indikace jednotlivých ventilačních režimů. V závěru teoretické části byly popsány účinky umělé plicní ventilace na ostatní orgánové soustavy.

V praktické části proběhl výzkum na krajských zdravotnických záchraných službách. Cílem bylo zjistit, které typy ventilátorů se používají ve výjezdových skupinách, jaké ventilační režimy jsou k dispozici, které z nich se používají nejčastěji. Ze získaných výsledků je patrné že nejvíce zastoupené jsou ventilátory Medumat Standard A – Weinmann, Medumat Standard 2 - Weinmann, Dräger – Oxylog 1000, Dräger – Oxylog 2000 a Dräger – Oxylog 2000 plus. V malé míře jsou zastoupeny ventilátory Dräger – Oxylog 3000 a 3000 plus, které se svými možnostmi vyrovnají stacionárním nemocničním ventilátorům. U zkoumaných ventilátorů je stručně vysvětlena jejich obsluha a pomocí doprovodných fotografií popsány ovládací prvky každého ventilátoru. Spektrum ventilačních režimů, možnosti nastavení ventilačních parametrů, nadstandardní režimy, kapacita baterie ventilátoru jsou uvedeny v tabulce 11.

V další části výzkumu byly kladeny dotazy na četnost použití ventilačních přístrojů a nejčastěji užívaných ventilačních režimů během roku 2017

v dotazovaných krajích, které byly ochotny poskytnout data (Středočeský, Královehradecký, Karlovarský a Ústecký). Ze shromážděných dat od 1.1. do 31.12. 2017 byla vypracována statistika, jež znázorňuje procentuální zastoupení výjezdů indikovaných k použití umělé plicní ventilaci z celkového počtu výjezdů v daném kraji. Četnost výjezdů s použitím umělé plicní ventilace se pohybuje od 0,56 % do 1,20 % z celkového počtu výjezdů, tzn. že k použití ventilátoru jednou výjezdovou skupinou dojde průměrně 1krát za 18 až 42 dní. (viz tabulka 12)

V porovnání s průzkumem četnosti výjezdů s použitím umělé plicní ventilace publikovaném v článku „Ventilator use by emergency medical services during 911 calls in the United States“, který probíhal během let 2011–2014 ve 48 amerických státech se hodnoty četnosti, i přes nesrovnatelný nepoměr mezi množstvím zkoumaných subjektů liší jen minimálně. Četnost použití umělé plicní ventilace v přednemocniční péči v USA dosahuje 0,9 % z celkového počtu výjezdů.

Mezi nejčastěji užívané ventilační režimy ve zkoumaných krajích patří objemově řízená ventilace VC-CMV/IPPV (65%), CPAP (27%), k méně používaným ventilačním režimům patří SIMV (8%). Nejčastěji používaný ventilační režim užívaný v USA je podle stejného článku CPAP (71,6 %) z celkového počtu používaných režimů.

Ze získaných údajů je patrné, že respirační poruchy indikované k použití umělé plicní ventilace nedisponují velkou četností. Tyto stavy, i přes jejich malý výskyt, však není radno podcenit. Zdravotnický záchranář by měl včas rozpoznat varovné příznaky, které těmto situacím předchází, znát obsluhu dostupných přístrojů, princip ventilačních režimů a v nouzových stavech být schopen zahájit umělou plicní ventilaci na indikaci lékaře s parametry určenými lékařem.

Algorytmus použití umělé plicní ventilace v terénu (viz kapitola 5.4) by měl sloužit jako doporučení k optimalizaci ventilace dle jednotlivých ventilačních poruch, která by měla zajistit šetrnou a zároveň účinnou ventilaci. Postup je postaven na vyšetření ABCDE, kde jsou podle příznaků rozlišeny jednotlivé



poruchy ventilace a k nim přiřazeno doporučené nastavení ventilačních parametrů, které jsem konzultoval s odborníky na umělou plicní ventilaci.

## 7 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce měla za hlavní cíl stanovit postup, jakým způsobem a za jakých okolností použít ventilační přístroje a zahájit umělou plicní ventilaci. Dalším úkolem bylo seznámení čtenáře s ventilační technikou používanou na zdravotnických záchranných službách. Práce je v rámci možností doplněna doprovodným obrazovým materiálem, sloužícím k lepšímu pochopení problematiky. Zvláště kapitolu o ventilačních přístrojích jsem doplnil obrázky, které mají za úkol co nejvíce přiblížit obsluhu ventilátoru.

Ze získaných informací jsem zjistil, s jakými typy ventilačních přístrojů se lze setkat na zdravotnických záchranných službách a jakým způsobem se v současné době používají. V závěru práce jsem navrhl možný postup výběru ventilačních režimů dle poruch ventilace, který by měl sloužit k ulehčení práce v terénu a šetrnější ventilaci u pacientů s částečně zachovaným dýcháním.

Zvolené téma mi pomohlo prohloubit znalosti v problematice umělé plicní ventilace a respirační insuficience.

Tato bakalářská práce by mohla dobře posloužit i jako studijní materiál pro studenty všech zdravotnických oborů, které se zabývají respirační insuficiencí a umělou plicní ventilací.

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

A/CV – Asistovaná ventilace

ABR – acidobazická rovnováha

APRV – Airway release pressure ventilation

ARDS – Syndrom akutního respiračního selhání

ASB – Asistované spontánní dýchání

BIPAP – Biphasic positive airway pressure

C – Compliance

CHOPN – Chronická obstrukční plicní nemoc

CMP – Cévní mozková příhoda

CMV – Řízené dýchání

CPAP-Ventilace kontinuálním přetlakem

ERV – Expirační rezervní objem

Fi – Frakce

IC – Inspirační kapacita

I:E – Poměr inspira ku expiriu

IPPV – Řízené dýchání s přerušovaným přetlakem

IRV – Ventilace s inverzním poměrem inspira a expira

IRV – Inspirační rezervní objem

KCP – Kraniocerebrální poranění

P – Tlak

$P_A$  – Intrapulmonální tlak

$P_a$  – Tlak v plicních arteriích

$P_aCO_2$  – Parciální tlak oxidu uhličitého

$P_aO_2$  – Parciální tlak kyslíku

$P_{alv}$  – Tlak alveolech

$P_B$  – Barometrický tlak

PCV – Tlakově řízená ventilace

PEEP – Pozitivní tlak na konci výdechu

PLV – Tlakově limitovaná ventilace

$P_{max}$  – Maximální inspirační tlak

$P_{pl}$  – Interpleurální tlak

$P_v$  – Tlak v plicních žilách

Q – Perfuze

R – Rezistance

RV- Rande vous systém

RV – Reziduální objem

RZP – Rychlá zdravotnická pomoc

S<sub>a</sub>O<sub>2</sub> – Saturace krve kyslíkem

SIMV – Synchronizovaná mandatorní ventilace

TLC – Totální kapacita plic

TPG – Transpulmonální plicní gradient

V – Objem

V – Ventilace

VC – Vitální kapacita plic

VD – Anatomický mrtvý prostor

VCV (VC A/CMV) – Objemově řízená ventilace

VT – Dechový objem

WOB – Ventilační práce

## 9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DYLEVSKÝ, Ivan. *Funkční anatomie*. 1. vydání. Grada Publishing a. s., 2009. 544s. ISBN 978-80-247-3240-4
- [2] KAPOUNOVÁ, Gabriela. *Ošetrovatelství v intenzivní péči*. Vydání první. Grada Publishing, a. s., 2007. 352s. + 16 barevné přílohy ISBN 978-80-247-1830-9
- [3] ELIŠKOVÁ, Miloslava., NAŇKA, Ondřej. *Přehled anatomie*. 2. vydání. Galén, 2009. 416s. ISBN 978-80-7262-612-0
- [4] POKORNÝ, Jan. Respirační terapie I. Přednáška. *Respirační systém- anatomie*. Kladno: FBMI ČVUT. 16.10.2017
- [5] POKORNÝ, Jan. Respirační terapie I. Přednáška. *Respirační fyziologie I*. Kladno: FBMI ČVUT. 23.10.2017
- [6] POKORNÝ, Jan. Respirační terapie I. Přednáška. *Respirační fyziologie II*. Kladno: FBMI ČVUT. 30.10.2017
- [7] MOUREK, Jindřich. *Fyziologie*. 2. vydání. Grada publishing a. s., 2012. 224s. ISBN 978-80-247-3918-2
- [8] CHLUMSKÝ, Jan. *Plicní funkce pro klinickou praxi*. Praha: Maxdorf, 1.vydání,c2014.228s. ISBN:978-80-7345-392-3
- [9] POKORNÝ, Jan. Respirační terapie I. Přednáška. *Respirační terapie v urgentní medicíně 2*. Kladno: FBMI ČVUT. 6.11.2017
- [10] POKORNÝ, Jan. *Lékařská první pomoc*. 2. doplněné a přepracované vydání. Galén,2010. 474s. ISBN 978-80-7262-322-8
- [11] POKORNÝ, Jan. Urgentní medicína III a válečná chirurgie. Přednáška. *Pneumologie – vybrané stavy*. Kladno: FBMI ČVUT. 8.11.2017
- [12] *Medicína, nemoci, studium na 1. LF UK* [online] © 2011. [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: <http://www.stefajir.cz/?q=guillain-barre-syndrom>
- [13] *Medicína, nemoci, studium na 1. LF UK* [online] © 2011. [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: <http://www.stefajir.cz/?q=myasthenia-gravis>

- [14] ROKYTA, Richard. *Fyziologie a patologická fyziologie pro klinickou praxi*. 1. vydání. Grada publishing a. s., 2015. 712s. ISBN 978-80-247-4867-2
- [15] REMEŠ, Roman a TRNOVSKÁ, Silvia. *Praktická příručka přednemocniční urgentní medicíny*. Grada, 1.vydání, 2013.240s. ISBN: 978-80-247-4530-5
- [16] PAPADAKIS Maxine, MCPHEE Stephen, *Current medical diagnosis and treatment*. McGraw-Hill Education, 56. vydání, 2017. 1732s. ISBN 978-1-25-958512-8š
- [17] ŠEBLOVÁ Jana, KNOR Jiří. *Urgentní medicína v klinické praxi lékaře*, Grada publishing a.s., 1. vydání, 2013. 400s. ISBN 978-80-247-4434-6
- [18] POKORNÝ Jan, Urgentní medicína I. Přednáška. *Dušnost*. Kladno FBMI ČVUT. 6.11.2017
- [19] DOSTÁL, Pavel. *Základy umělé plicní ventilace*. Praha: Maxdorf, 3. rozš. vyd.,c2014. 394s. ISBN 978-80-7345-397-8.
- [20] POKORNÝ Jan, Respirační terapie II. Přednáška. *Parametry nastavované na ventilátoru*, Kladno FBMI ČVUT. 15.3.2017
- [21] TÖRÖK Pavol, *Zásady transportu kriticky chorých a pacientov s oběhovou a ventilačnou podporou v záchranárskej praxi*. Osveta spol. s r. o., Martin., 1. vydání, 2015. 140s. ISBN 978-80-8063-434-6
- [22] *Oxylog 2000: Emergency Ventilator*. Germany, 1997. Dostupné také z: [http://www.kilimed.com/user\\_manual/oxylog2000en.pdf](http://www.kilimed.com/user_manual/oxylog2000en.pdf)
- [23] DRÄGER MEDIZINTECHNIK GMBH. *Oxylog 2000*. Germany, 1997. Dostupné také z: [http://www.kilimed.com/user\\_manual/oxylog2000en.pdf](http://www.kilimed.com/user_manual/oxylog2000en.pdf)
- [24] EL SAYED, Mazen et al. Ventilator use by emergency medical services during 911 calls in the United States. *American Journal of Emergency Medicine* [online]. 2017, , 6 [cit. 2018-04-05]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2017.10.008>. Dostupné z: [http://www.ajemjournal.com/article/S0735-6757\(17\)30812-4/fulltext](http://www.ajemjournal.com/article/S0735-6757(17)30812-4/fulltext)
- [25] DRÄGER MEDICAL B.V. *Oxylog 2000 plus*. The Netherlands, 2008. Dostupné také z:

[https://sc18c8bd457b426cd.jimcontent.com/download/version/1472121239/module/11541607396/name/Oxylog\\_2000\\_plus.pdf](https://sc18c8bd457b426cd.jimcontent.com/download/version/1472121239/module/11541607396/name/Oxylog_2000_plus.pdf).

[26] DRÄGER MEDICAL AG & CO. KGAA. *Oxylog 3000*. 2nd ed. Germany, 2002. Dostupné také z: [https://lifeinthefastlane.com/wp-content/uploads/2011/09/Oxylog-3000\\_v2-02.pdf](https://lifeinthefastlane.com/wp-content/uploads/2011/09/Oxylog-3000_v2-02.pdf)

[27] DRÄGER MEDICAL GMBH. *Oxylog 3000 plus*. 6th ed. Germany, 2012.

Dostupné také z:

[https://www.medkitservice.com/media/wysiwyg/PDF/oxylog\\_3000\\_plus\\_data\\_9066205\\_en.pdf](https://www.medkitservice.com/media/wysiwyg/PDF/oxylog_3000_plus_data_9066205_en.pdf)

[28] WEINMANN EMERGENCY MEDICAL TECHNOLOGY GMBH + CO.

KG. *MEDUMAT Easy CPR*. Germany, 2013. Dostupné také z:

[http://mediprax.cz/pdf1/MEDUMAT-Easy-CPR\\_navod.pdf](http://mediprax.cz/pdf1/MEDUMAT-Easy-CPR_navod.pdf)

[29] WEINMANN EMERGENCY MEDICAL TECHNOLOGY GMBH + CO.

KG. *MEDUMAT Standard2*. Germany, 2013. Dostupné také z:

<http://docplayer.cz/33568923-Medumat-standard-2-dychaci-pristroj-navod-k-pouziti.html>

[30] WEINMANN. *MEDUMAT Standard a*. Germany, 1999. Dostupné také z:

[https://www.weinmann-](https://www.weinmann-emergency.com/downloads/instructions_for_use/MEDUMAT_Standard_a/MEDUMAT_Standard_a_16677_en.pdf)

[emergency.com/downloads/instructions\\_for\\_use/MEDUMAT\\_Standard\\_a/MEDUMAT\\_Standard\\_a\\_16677\\_en.pdf](https://www.weinmann-emergency.com/downloads/instructions_for_use/MEDUMAT_Standard_a/MEDUMAT_Standard_a_16677_en.pdf)

[31] POKORNÝ, Jan. Respirační terapie II. Přednáška. *Aplikace ventilačních režimů*. Kladno: FBMI ČVUT.

[32] [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: [http://mediprax.cz/img/p/8/8-thickbox\\_default.jpg](http://mediprax.cz/img/p/8/8-thickbox_default.jpg)

[33] [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: [http://mediprax.cz/img/p/7/7/7/777-thickbox\\_default.jpg](http://mediprax.cz/img/p/7/7/7/777-thickbox_default.jpg) medumat standard 2

[34] [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z:

[https://images.dotmed.com/images/listingpics/2625780\\_2.jpg](https://images.dotmed.com/images/listingpics/2625780_2.jpg) Oxylog 1000



- [35] [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: [https://images.dotmed.com/cgi-bin/size.pl?t=2&i=2625780\\_1.jpg&a=3](https://images.dotmed.com/cgi-bin/size.pl?t=2&i=2625780_1.jpg&a=3)
- [36] [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: [https://http2.mlstatic.com/respirador-draeger-oxylog-2000-D\\_NQ\\_NP\\_768715-MLB25302925485\\_012017-F.jpg](https://http2.mlstatic.com/respirador-draeger-oxylog-2000-D_NQ_NP_768715-MLB25302925485_012017-F.jpg)
- [37] [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://www.praiston.pl/uploads/images/products/6721/15154070714.jpg>
- [38] [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://missziomento.hu/wp-content/uploads/2015/10/Dr%C3%A4ger-Oxylog-3000-hordozhat%C3%B3l%C3%A9legettet%C5%91g%C3%A9p-%C3%89vj%C3%A1rat-2010.jpeg>
- [39] [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: [http://megavet.eu/files/4/0/1/img\\_89731942-4351-437b-8fac-6a0220777b07\\_o.jpg](http://megavet.eu/files/4/0/1/img_89731942-4351-437b-8fac-6a0220777b07_o.jpg)
- [40] [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://nswhems.files.wordpress.com/2011/09/oxy3000trainer.jpg>
- [41] [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://donar.messe.de/exhibitor/interschutz/2015/Q771140/gallery-868x0-393627.jpg>

## 10 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Topografické rozdělení dýchacích cest [4] .....	13
Obrázek 2: Zobrazení vedlejších dutin nosních [4] .....	15
Obrázek 3: Přední pohled na larynx [4] .....	16
Obrázek 4: Zadní pohled na larynx [4] .....	17
Obrázek 5: Mukociliární clearance [4] .....	18
Obrázek 6: Znázornění intrapulmonálních tlaků [4] .....	19
Obrázek 7: Křivka statické compliance [6] .....	23
Obrázek 8: Plicní objemy [5] .....	25
Obrázek 9: Westovy zóny [6] .....	29
Obrázek 10. Kompartmentový model plic [6] .....	40
Obrázek 11 Obličejová maska s bakteriálním filtrem a ručním dýchacím přístrojem (Ambu) [vlastní zpracování] .....	54
Obrázek 12 Nosní vzduchovod (Rusch30) [vlastní zpracování] .....	55
Obrázek 13 Endotracheální rourka velikost 7 (Portex) [vlastní zpracování] .....	56
Obrázek 14 Laryngeální masky (dospělý, dítě od firmy Ambu) [vlastní zpracování] .....	57
Obrázek 15 I-gel velikost 4 [vlastní zpracování] .....	58
Obrázek 16 Kombitubus (Mallinckrodt) [vlastní zpracování] .....	59
Obrázek 17 Laryngeální tubus (VBM Medizine technik) [vlastní zpracování] ...	59
Obrázek 18 Koniopunkční set Quicktrach [vlastní zpracování] .....	60
Obrázek 19. Průběh dechového cyklu [9] .....	62
Obrázek 20. Rozdělení ventilačních režimů z hlediska dechového úsilí[9] .....	68
Obrázek 21. Tlakové změny během IPPV v čase [9] .....	70
Obrázek 22. Tlakové změny během CPPV v čase [9] .....	71
Obrázek 23. Změny tlaku a průtoku v během VCV. [9] .....	72
Obrázek 24. Změny tlaku a průtoku během dechového cyklu v rámci PLV [9] ..	73
Obrázek 25. Na obrázku je znázorněn průběh tlaku během dechového cyklu a průtoku v dýchacích cestách [9] .....	74

Obrázek 26. Na obrázku je znázorněn průběh tlakové a průtokové křivky při obráceném .....	75
Obrázek 27 Průběh vdechů spouštěných v závislosti na nastavení triggeru [9] .	76
Obrázek 28 Znázornění SIMV pomocí tlakových změn v závislosti na čase [9] .	78
Obrázek 29 Znázornění průběhu tlakové a průtokové křivky u režimu ASB [9]	79
Obrázek 30. Křivka spontánního dýchání a nastavenou hladinu PEEP [9] .....	80
Obrázek 31. Průběh dvou tlakových úrovní, kde probíhá spontánní dýchání a znázornění nastavovaných parametrů [9].....	82
Obrázek 32. Průběh tlakové křivky u CMV- BIPAP [9].....	83
Obrázek 33. Průběh tlakové křivky u IMV- BIPAP [9] .....	83
Obrázek 34. Znázornění průběhu ventilace v režimu IRV- BIPAP [9] .....	84
Obrázek 35. Průběh tlakové křivky během ventilace BIPAP- APRV [9] .....	85
Obrázek 36. Zastoupení jednotlivých typů ventilačních přístrojů u ZZS Královehradeckého kraje [vlastní zpracování].....	88
Obrázek 37 Zastoupení jednotlivých typů ventilačních přístrojů u ZZS Karlovarského kraje [vlastní zpracování].....	88
Obrázek 38 Zastoupení jednotlivých typů ventilátorů u ZZS Středočeského kraje [vlastní zpracování] .....	89
Obrázek 39 Zastoupení jednotlivých typů ventilátorů u ZZS Ústeckého kraje [vlastní zpracování] .....	89
Obrázek 40 Zastoupení jednotlivých typů ventilátorů ve všech zkoumaných krajích [vlastní zpracování] .....	90
Obrázek 41 Nastavení ventilačních parametrů u jednotlivých věkových skupin [28].....	91
Obrázek 42. Medumat Easy CPR a jeho popis [vlastní zpracování].....	92
Obrázek 43 Medumat Easy CPR pohled ze spodní strany [vlastní zpracování] .	92
Obrázek 44. Popis ventilátoru Medumat Standard A [32] .....	94
Obrázek 45 Pohled na ventilátor Medumat Standard 2 ze předu a jeho popis [33] .....	95

Obrázek 46 Startovací menu po zapnutí ventilátoru [29] .....	96
Obrázek 47 Automatické nastavení parametrů ventilace po výběru možnosti „Naléhavý případ – dospělý“ [29].....	96
Obrázek 48 Nastavení ventilátoru pro nového pacienta [29] .....	97
Obrázek 49 Možnost volby režimů pro nového pacienta [29].....	97
Obrázek 50 Popis ovládacích prvků ventilátoru Oxylog 1000 [34].....	99
Obrázek 51 Boční pohled na ventilátor Oxylog 1000 [35] .....	99
Obrázek 52 Stručný popis ovládacích prvků ventilátoru Oxylog 2000 [36] .....	100
Obrázek 53 Boční pohled na ventilátor Oxylog 2000 [37] .....	101
Obrázek 54 Oxylog 2000 plus a popis jeho ovládacích prvků [25] .....	102
Obrázek 55 Obrazovka ventilátoru Oxylog 2000 plus [25] .....	102
Obrázek 56 Boční pohled na ventilátor Oxylog 2000 plus [25].....	103
Obrázek 57 Oxylog 3000 a stručný popis jeho ovládacích prvků [37].....	104
Obrázek 58 Boční pohled na ventilátor Oxylog 3000 [38] .....	104
Obrázek 59 Oxylog 3000 plus a popis jeho ovládacích prvků [39] .....	106
Obrázek 60 Boční pohled na ventilátor Oxylog 3000 plus [40].....	106
Obrázek 61 Ventilační režimy, nejčastěji užívané ve Středočeském, Karlovarském, Královehradeckém a Ústeckém kraji [vlastní zpracování] .....	108
Obrázek 62 Algoritmus použití umělé plicní ventilace v terénu [10,11,17,18,19,31].....	110

## 11 SEZNAMU POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1: Fyziologické hodnoty compliance dle věku [6]:.....	24
Tabulka 2: Fyziologické hodnoty rezistance dle věku [5] .....	24
Tabulka 3: Stupeň dušnosti [10] .....	33
Tabulka 4. Změny acidobazické rovnováhy (↑ = zvýšen, ↓ = snížen, N = norma) .....	35
Tabulka 5. Přehled patologických typů ventilace [17,18] .....	38
Tabulka 6. Hodnoty časových konstant u jednotlivých stavů [6] .....	41
Tabulka 7. Možné kombinace poruch V/Q [6] .....	44
Tabulka 8. Stavy způsobující respirační insuficienci [16,17,18] .....	47
Tabulka 9. Přehled režimů řízené ventilace [9] .....	69
Tabulka 10 Režimy dostupné u Medumat standard 2-Weinmann .....	94
Tabulka 11 Porovnání technických parametrů zkoumaných ventilátorů .....	107
Tabulka 12 Četnost použití ventilátorů na zkoumaných krajských ZZS .....	108

