

Doc. MUDr. Pavel Dostál, Ph.D., MBA,
a kolektiv

ZÁKLADY UMĚLÉ PLICNÍ VENTILACE

5. rozšířené vydání

maxdorf jessenius

EDICE INTENZIVNÍ MEDICÍNA

Editoři: prof. MUDr. Vladimír Černý, Ph.D., FCCM, FESAIC
prof. MUDr. Martin Matějovič, Ph.D.

2 ZÁKLADNÍ PRINCIPY UMĚLÉ PLICNÍ VENTILACE

Pavel Dostál

2.1 CÍLE A INDIKACE UMĚLÉ PLICNÍ VENTILACE

2.1.1 Úvod

Umělá plicní ventilace (UPV) představuje způsob dýchání, při němž mechanický přístroj plně nebo částečně zajišťuje průtok plynů respiračním systémem. Umělá plicní ventilace je používána ke krátkodobé nebo dlouhodobé podpoře nemocných, u kterých došlo ke vzniku závažné poruchy ventilační nebo oxygenační funkce respiračního systému nebo taková porucha aktuálně hrozí.

Postupy, jimiž je umělá plicní ventilace zajišťována, zaznamenaly od uvedení UPV do širokého klinického použití zcela zásadní vývoj a jsou nadále předmětem rozsáhlého klinického a experimentálního výzkumu.

Z klinického hlediska je UPV nutno chápat jako postup orgánové podpory s potenciálními riziky a komplikacemi, jejichž znalost je bezpodmínečně nutná k dosažení dobrých klinických výsledků.

2.1.2 Cíle umělé plicní ventilace

American College of Chest Physicians' Consensus Conference formulovala v roce 1993 tzv. cíle UPV, které byly rozděleny na cíle patofyziologické a klinické. Tyto cíle je vhodné mít na zřeteli nejen při zahájení UPV, ale je také nutno se k nim opakovaně vracet i v jejím průběhu. Zanikne-li patofyziologické nebo klinické odůvodnění, je třeba UPV co nejčasněji ukončit.

A. FYZIOLOGICKÉ CÍLE UMĚLÉ PLICNÍ VENTILACE

Podpora nebo jiná manipulace s výměnou plynů v plicích

- *Podpora alveolární ventilace* – tj. manipulace s arteriální tenzí CO_2 (PaCO_2) a pH.
- *Podpora arteriální oxygenace* – tj. korekce arteriální tenze O_2 (PaO_2), saturace hemoglobinu v arteriální krvi (SaO_2), zvýšení obsahu kyslíku v arteriální krvi (CaO_2).

Ovlivnění velikosti plicního objemu

- *End-inspirační plicní objem – end-inspiratory lung volume (EILV)* – cílem je dosažení dostatečné plicní expanze při léčbě atelektáz a s tím spojené ovlivnění oxygenace, plicní compliance a plicních obranných mechanismů (schopnost účinné expektorace).
- *Funkční reziduální kapacita – functional residual capacity (FRC)* – cílem je zvýšení a udržení FRC u stavů, ve kterých je snížení FRC spojeno se zhoršením plicních funkcí.

Snížení dechové práce

- *Snížení práce dýchacích svalů* – za stavů, kdy je dechová práce zvýšena pro vzestup rezistance dýchacích cest nebo snížení poddajnosti respiračního systému a pacientovo dechové úsilí je neúčinné nebo již v něm není schopen pokračovat.

B. KLINICKÉ CÍLE

Umělá plicní ventilace slouží po dobu nezbytně nutnou k podpoře či náhradě oxygenační a ventilační funkce selhávajícího respiračního systému. Na obecné úrovni se při aplikaci UPV snažíme o dosažení následujících cílů:

- dosažení vzhledem k aktuálnímu stavu nemocného individualizovaných (nikoli nutně normálních) parametrů oxygenace a ventilace
- omezení nežádoucích účinků UPV – mimoplicních i plicních

Následující výčet uvádí konsenzuální (všeobecně akceptované) klinické cíle UPV:

- *Zvrat hypoxemie* – za cílové hodnoty jsou obvykle považovány hodnoty PaO_2 nad 60 mmHg a hodnoty SaO_2 nad 90 %, u vybraných skupin nemocných jsou při absenci známek tkáňové hypoxie akceptovány krátkodobě i hodnoty nižší (tzv. permissivní hypoxemie).
- *Zvrat akutní respirační acidózy* – okamžitá korekce „život ohrožující“ acidózy, ne nutně korekce k normokapnii nebo normálnímu pH. Za vybraných klinických situací je třeba vzhledem k neúměrnému riziku iatrogenního poškození nemocného rezignovat na snahy o dosažení normálních hodnot PaCO_2 nebo pH.
- *Zvrat dechové tísně* – odstranění netolerovatelného diskomfortu do doby odstranění nebo zlepšení příčiny.

U některých skupin nemocných mohou být aktuální i další klinické cíle:

- *Prevence a zvrat atelektáz* – ke korekci důsledků inkompletní plicní inflace, např. u nemocných s neuromuskulárními onemocněními.
- *Zvrat únavy dýchacího svalstva* – v době akutního a netolerovatelného zvýšení dechové práce.

■ Tabulka 2.2 Poruchy dechového cyklu

• Tachypnoe, polypnoe – zvýšení dechové frekvence
• Hyperpnoe – zvýšené dýchání s urychlenou dechovou frekvencí nebo bez ní
• Apnoe – zástava dýchání v expiriu
• Apneuze – zástava dýchání v inspiriu
• Gasping – lapavé dýchání
• Kussmaulovo dýchání – hyperpnoe při acidóze
• Cheyneovo-Stokesovo dýchání – periodické dýchání – oběhová příčina – cyklus delší než 45 s – porucha centra (i po léčích) – cyklus do 45 s
• Biotovo dýchání – lapavé dýchání s apnoickými pauzami při lézi CNS

Hypoventilace je definována jako snížená minutová ventilace vedoucí k hyperkapnii. Je nejčastěji způsobena útlumem dechového centra (opiáty, centrální apnoe), poruchou vedení vzruchů nebo mechanickými příčinami.

2.2.4 Plicní objemy

Funkční reziduální kapacita (FRC) je definována jako plicní objem na konci klidného výdechu. FRC je přímo úměrná výšce, ženy ji mají asi o 10 % nižší. Normální velikost FRC je v dospělosti cca 2000–2500 ml. V supinní poloze dochází k poklesu FRC v důsledku posunu bránice kraniiálně. Snížení FRC je typické pro restriktivní plicní poruchy. Kyslík obsažený v tomto objemu je hlavním rezervoárem kyslíku při apnoi, u nemocných s nízkou FRC dochází při apnoi rychle k rozvoji hypoxemie.

Uzávěrová kapacita (CC) je definována jako plicní objem, při kterém dochází k uzavěru dýchacích cest v dependentních částech plic. Za normálních okolností je pod úrovní FRC, ale zvyšuje se s věkem, ve věku kolem 44 let je v dependentních částech plic blízka FRC a ve věku 66 let je vyšší než FRC i ve vzpřímené poloze. Tento jev je odpovědný za zhoršování oxygenační funkce plic s věkem (obr. 2.1). Uzávěrová kapacita, na rozdíl od FRC, nezávisí na poloze.

Vitální kapacita (VC) vyjadřuje maximální objem, který může být z plíce vydechnut. Normální VC se pohybuje v rozmezí 60–70 ml/kg.

2.3 FORMY UMĚLÉ PLICNÍ VENTILACE

Z hlediska mechanismu zajišťujícího průtok plynů respiračním systémem při dýchání dělíme UPV do skupin:

1. ventilace přetlakem – tzv. konvenční UPV – při použití dechových frekvencí blízkých hodnotám fyziologickým je velikost dechového objemu větší než objem tzv. mrtvého prostoru – je nejrozšířenějším typem umělé plicní ventilace
2. ventilace negativním tlakem – příkladem jsou tzv. železné plíce vyvíjející podtlak na hrudní a břišní stěnu
3. trysková ventilace
4. oscilační ventilace

Vzhledem k univerzálnímu rozšíření ventilace přetlakem pojednává další výklad o tomto typu ventilace. Ventilace negativním tlakem (nebo také podtlaková ventilace) není široce využívána pro kriticky nemocné, trysková ventilace je v současné době především alternativní technikou ventilace v úzkých indikacích (např. při některých chirurgických výkonech v oblasti hrtanu a průdušnice). Problematika vysokofrekvenční oscilační ventilace – high frequency oscillatory ventilation (HFOV) – je stručně zmíněna v části věnované přístrojům k UPV a o jejím použití v terapii syndromu akutní dechové tísně – acute respiratory distress syndrome (ARDS) – je referováno v části věnované tomuto syndromu.

2.4 VENTILACE PŘETLAKEM

Při ventilaci přetlakem (nebo také přetlakové ventilaci) – positive pressure ventilation (PPV) – vzniká inspirační průtok plynů cyklickým zvyšováním tlaku na vstupu do dýchacích cest.

2.4.1 Základní fyzikální a fyziologické principy ventilace přetlakem

A. ROVNICE POHYBU

Při nepodporovaném spontánním dechu je tlak nutný k inflaci plic generován dýchacími svaly (P_{mus}). U ventilovaných nemocných je generován inflační tlak buď přístrojem (P_{res}) – při kontrolovaném dechu u nemocného bez dechové aktivity, nebo vzniká kombinací obou mechanismů. Velikost tlaku nutného k zajištění dostatečného inspiračního průtoku plynu $P_{app}(t)$ (tj. k dosažení požadovaného dechového objemu za dobu inspiria) je při určitém zjednodušení tvořena:

1. složkou nutnou k překonání rezistance respiračního systému, tj. inspirační části okruhu, rourky nebo tracheostomické kanyly a dýchacích cest, plicní tkáň a hrudní stěny – $Prs(t)$
2. složkou nutnou k udržení respiračního systému v rozepnutém stavu, tj. překonání elastance respiračního systému (Est, rs) – $\Delta Pel, rs$
3. složkou nutnou k překonání endexpiračního alveolárního tlaku – $Palv_{ex}$ (viz dále)

Pro tlak aplikovaný v čase t – $Pappl(t)$ – platí vztah:

$$Pappl(t) = Prs(t) + \Delta Pel, rs + Palv_{ex}$$

B. ELASTANCE A COMPLIANCE

Elastance respiračního systému Est, rs vyjadřuje statické vlastnosti respiračního systému a platí pro ni vztah:

$$Est, rs = \Delta Pel, rs / \Delta V$$

kde $\Delta Pel, rs$ je tlakový gradient mezi inspiračním tlakem měřeným za statických podmínek, jehož ekvivalentem v praxi je tzv. endinspirační plató tlak (Ppl) stanovený na konci 5 sekund trvajících endinspiračního okluzního manévru, a endexpiračním tlakem měřeným za statických podmínek ($Peex$), v praxi stanovený jako tlak na konci 5 sekund trvajících endexpiračního okluzního manévru, a ΔV představuje změnu objemu respiračního systému. Platí tedy:

$$\Delta Pel, rs = Ppl - Peex$$

a pro elastanci Est, rs platí:

$$Est, rs = (Ppl - Peex) / \Delta V$$

V intenzivní péči je pro popis statických vlastností respiračního systému často používána převrácená hodnota elastance, tzv. poddajnost – compliance (Cst, rs):

$$Cst, rs = \Delta V / (Ppl - Palv_{ex})$$

Normální hodnota Cst, rs u intubovaných nemocných bez plicní patologie je 0,05–0,07 l/cmH₂O.

Z výše uvedeného tedy vyplývá, že statickou compliance/elastanci lze stanovit vždy, dosáhneme-li statických podmínek v respiračním systému bez ohledu na to, jaký je použit ventilační režim.

Compliance respiračního systému i její převrácená hodnota elastance respiračního systému vyjadřují nejenom vlastnosti plic, ale i hrudní stěny.

■ Mechanické interakce mezi plícemi a srdcem

Při plicní inflaci dochází k mechanické interakci srdce s plícemi, při vysokých plicních objemech může být srdce komprimováno ve fossa cardiaca. Bylo prokázáno, že při této interakci může být juxtakardiální tlak vyšší než tlak pleurální a že kromě snížení compliance komory může dojít i k ovlivnění koronárního průtoku. Normalizace předtížení (enddiastolického objemu komory) po podání tekutin je v experimentu spojena s normalizací velikosti srdečního výdeje.

Hemodynamické důsledky změn nitrohruďního tlaku

■ Přenos tlaku z dýchacích cest na nitrohruďní tlak

Při aplikaci pozitivního tlaku na vstupu do dýchacích cest (Pao) dochází k přenosu tohoto tlaku na nitrohruďní tlak (ITP) velmi komplexním způsobem a výsledný vztah mezi velikostí Pao a ITP je determinován především mechanickými vlastnostmi plic a hrudní stěny. U nemocných s nízkou plicní poddajností je přenos Pao na ITP omezen a naopak. Naproti tomu u nemocných s nízkou poddajností hrudní stěny je přenos Paw na ITP zvýšen a naopak.



Největší oběhové změny v důsledku změn nitrohruďního tlaku při ventilaci přetlakem je nutné očekávat u nemocných s normální (tj. vysokou) poddajností plic a sníženou poddajností hrudní stěny.

■ Snížení žilního návratu

Zvýšený nitrohruďní tlak je přenášen na srdeční oddíly a při zvýšení tlaku v pravé síni (Pra) klesá systémový žilní návrat (SVR). Snížení systémového žilního návratu vede ke sníženému plnění pravostranných srdečních oddílů a následnému poklesu srdečního výdeje. Vliv zvýšení nitrohruďního tlaku na velikost žilního návratu je částečně kompenzován zvýšením nitrobřišního tlaku a zvýšením aktivity sympatiku. V průběhu inspiria při ventilaci přetlakem dochází ke vzestupu středního tlaku v cirkulaci (MCP – mean circulatory pressure), který vyjadřuje tlak v systémové mikrocirkulaci. Gradient mezi MCP a Pra se tedy upravuje a dochází k menšímu ovlivnění systémového žilního návratu.

■ Ovlivnění funkce pravé komory

Z hlediska činnosti pravé komory dochází při zvýšení ITP k významnému ovlivnění předtížení v důsledku snížení compliance komory, tj. stejnému plicnímu tlaku pravé komory odpovídá nižší enddiastolický objem, což je obvykle spojeno se snížením velikosti tepového objemu. Při snížení nitrohruďního tlaku dochází k opačnému jevu, limitem je hodnota ITP cca $-10 \text{ cmH}_2\text{O}$; při překročení této hodnoty může nastat v důsledku limitace přítoku krve do hrudníku kolaps žilního



Vliv ventilace přetlakem na velikost srdečního výdeje je tedy velmi komplexní a obtížně predikovatelný. U hypovolemických nemocných s normální plicní complianc je nutné počítat s vlivem sníženého preloadu, a tedy negativním vlivem na srdeční výdej, naopak u nemocných s přetížením tekutinami nebo levostranným srdečním selháváním se může projevit příznivý efekt ventilace přetlakem. Obdobně efekt ventilace přetlakem na funkci pravé komory závisí na jejím aktuálním funkčním stavu a ovlivnění plicní vaskulární rezistence.

B. OVLIVNĚNÍ RENÁLNÍCH FUNKCÍ A METABOLISMU VODY A IONTŮ VENTILACÍ PŘETLAKEM

Po zahájení umělé plicní ventilace přetlakem dochází obvykle ke snížení výdeje moče, průtoku krve ledvinami, exkrece sodíku a glomerulární filtrace až o 30 %. Ačkoli přesný mechanismus těchto změn není plně objasněn, předpokládá se působení více mechanismů:

- *snížení srdečního výdeje* – zahájení ventilace přetlakem obvykle vede ke snížení srdečního výdeje (viz výše), resuscitace oběhu tekutinami je v experimentu spojena s úpravou renálních funkcí k výchozímu stavu
- *redistribuce průtoku krve ledvinami* – v experimentu byl prokázán vzestup perfuze juxtamedulárních oblastí a snížení průtoku krve zevní kůrou, důsledkem je zvýšení reabsorpce sodíku v moči
- *zvýšení tlaku ve venózní části krevního oběhu* – působení zvýšeného žilního tlaku je předpokládaným mechanismem, který se může podílet na zhoršení renálních funkcí při ventilaci přetlakem
- *změny v tonu autonomního nervového systému* – pokles středního arteriálního tlaku vede ke zvýšení aktivity sympatického autonomního systému
- *hormonální změny* – sekrece adiuretinu je stimulována při poklesu systémového arteriálního tlaku nebo při snížení objemu pravé síně (napětové receptory), důsledkem je redistribuce srdečního výdeje a retence tekutin. Aktivace osy renin-angiotenzin-aldosteron při snížení průtoku krve ledvinami pravděpodobně hraje významnou roli při ovlivnění renálních funkcí. Při UPV přetlakem bylo opakovaně prokázáno snížení sekrece atriálního natriuretického faktoru (snížení tenze srdečních síní), který má diuretický, natriuretický a vazodilatační efekt

3.3.1 Objemově (proudově) řízená ventilace – volume control ventilation (VCV)

A. CHARAKTERISTIKA

VC A/CMV je režim s nastavenou velikostí dechového objemu, iniciovaný časem nebo dechovou aktivitou nemocného (je-li použit trigger), limitován objemem (průtokem) a cyklován časem nebo objemem (obr. 3.3).

B. KOMENTÁŘ

- Charakter inspiračního průtoku plynů je obvykle konstantní (základní varianta, vhodná pro výpočty plicní mechaniky), jiné možnosti zahrnují decelerační tok (předpokládá se zlepšení distribuce plynů, nižší špičkový inspirační tlak a zlepšení synchronie dechového úsilí pacienta s nastaveným režimem ventilátoru) nebo sinusoidální průběh (napodobuje normální průtok plynů). Prakticky se používá především konstantní a decelerační inspirační průtok. Místo VC A/CMV s deceleračním průtokem lze použít PCV nebo BIPAP-CMV, které ale nezaručují konstantní velikost dechového objemu a minutové ventilace.
- Zařazení inspirační pauzy poskytuje čas na zlepšení distribuce vdechované směsi. Tlak změřený na konci inspirační pauzy (tzv. Ppl) zhruba odpovídá průměrnému alveolárnímu tlaku (viz odd. 6.4 *Monitorování mechaniky respiračního systému*). Inspirační pauza je zařazována v procentech trvání dechového cyklu nebo přímo v sekundách. U některých ventilátorů je vznik inspirační pauzy důsledkem vzniku limitace objemem před splněním časového kritéria pro cyklování do expira.
- VC A/CMV umožňuje dobrou kontrolu eliminace CO_2 , proto může být preferován u nemocných, u kterých je důsledná kontrola PaCO_2 významná (např. u nemocných s kraniotraumatem), zvláště není-li k dispozici kontinuální kapnometrické monitorování nemocného. Tento postup je také preferován u nemocných, u kterých dochází rychle k významným změnám impedance respiračního systému. V některých zemích jde o nejrozšířenější ventilační režim pro ventilaci nemocných vyžadujících plnou ventilační podporu, včetně nemocných s akutním plicním selháním.

C. INDIKACE

Přehled možných indikací režimu VC A/CMV je uveden v tabulce 3.2. Režim je jednoznačně preferován u nemocných s křečovými stavy, status asthmaticus a v průběhu kardiopulmonální resuscitace (KPR).

D. PRAKTICKÉ POZNÁMKY

Tabulka 3.3 uvádí možné výchozí nastavení ventilátoru včetně výchozí doporučené velikosti dechového objemu vztaheného na tzv. predikovanou tělesnou hmotnost. Predikovanou tělesnou hmotnost (PBW) je možné, kromě kalkulace pomocí uvedených vzorců nebo použití tabulek, zjednodušeně orientačně stanovit jako:

$$PBW \text{ ženy (kg)} \cong \text{výška v cm} - 105$$

$$PBW \text{ muži (kg)} \cong \text{výška v cm} - 100$$

U některých ventilátorů je velikost dechového objemu nastavena nepřímo nařízením inspiračního průtoku a doby inspira, u jiných zadáním minutové ventilace a jejím vydělením počtem dechů, u dalších ventilátorů je nastavován dechový objem a doba nádechu je vypočtena nepřímo z hodnoty inspiračního průtoku. Velikost inspiračního průtoku by měla být rovna zhruba čtyřnásobku

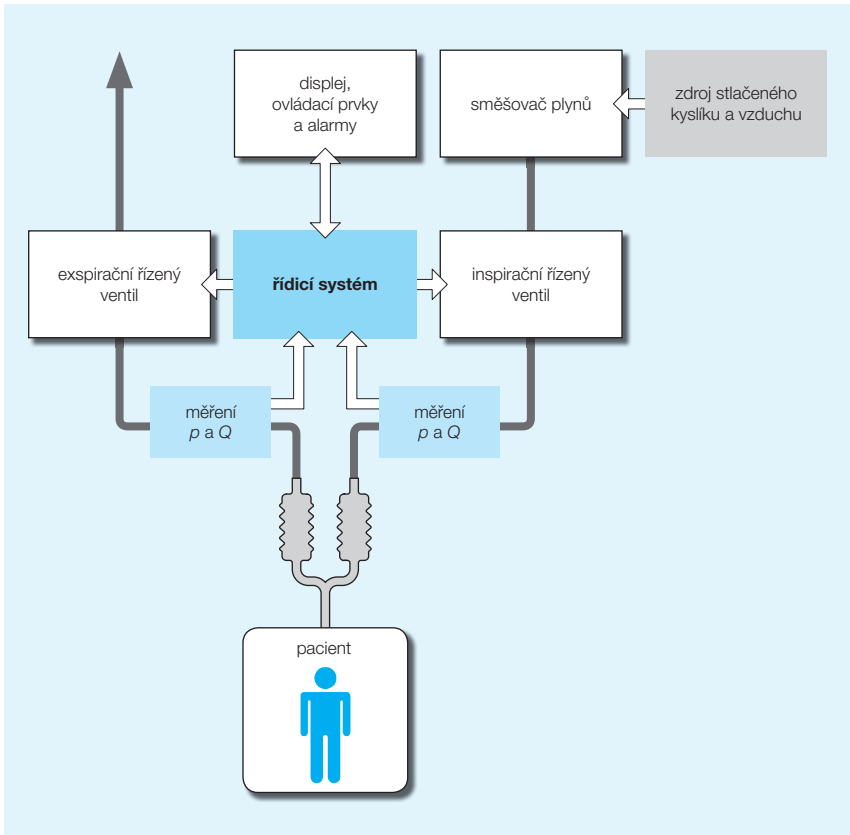
■ **Tabulka 3.3** Výchozí nastavení ventilátoru u nemocných bez závažné plicní dysfunkce při použití režimu VC A/CMV

Ventilační režim	A/C CMV (volume cycled, volume control apod., dle typu přístroje)
dechový objem	cca 6–8 ml/kg tzv. predikované tělesné hmotnosti (platí pro nemocné bez závažné plicní patologie a bez rizikových faktorů pro rozvoj ARDS) cca 4–6 ml/kg tzv. predikované tělesné hmotnosti u nemocných s ARDS nebo u nemocných s rizikovými faktory pro vznik ARDS
dechová frekvence	12–16/min
doba inspira nebo poměr inspira a expira	1,2–1,5 s I : E 1 : 2 nebo Ti 33 %
pauza	10 % nebo 0,2–0,4 s
FiO ₂	0,4 u nemocných bez plicní patologie 0,6–0,8 (1,0) u nemocných s plicní patologií, snaha o rychlé snížení
PEEP	5 cmH ₂ O u sedovaných nemocných bez plicní patologie, u ostatních nemocných dle typu plicní patologie viz příslušné kapitoly
klíčové alarmy	inspirační tlak, minimální minutová ventilace

E – doba expira, FiO₂ – inspirační frakce kyslíku, I – doba inspira, Ti – čas doby inspira v procentech trvání dechového cyklu

Predikce ideální tělesné hmotnosti: muži = 50 + [0,91 × (výška v cm – 152,4)]; ženy = 45 + [0,91 × (výška v cm – 152,4)]

Orientační výpočet: muži = výška v cm – 100, ženy = výška v cm – 105



Obr. 5.1 Typická struktura ventilátoru pro intenzivní péči. Měřené veličiny: p – tlak, Q – průtok plynu

ve ventilační směsi od $FiO_2 = 0,21$ (tj. ventilace čistým vzduchem) do frakce $FiO_2 = 1$ (ventilace čistým kyslíkem). Směšovač plynů bývá na výstupu opatřen redukčním ventilem, který zajišťuje konstantní pracovní tlak na vstupu inspiračního řízeného ventilu i v případě, že dochází ke kolísání tlaku plynů v centrálních rozvodech.

Inspirační řízený ventil se otevírá v době inspiria a je uzavřen v době expiria a v době inspirační pauzy, je-li tato přítomna. Inspirační ventil je řešen jako proporcionální řízený ventil, kdy ventil propouští takové množství plynu, které je úměrné řídicímu napětí, které je na ventil přivedeno. Příklad konstrukce proporcionálního elektricky řízeného ventilu je uveden na obrázku 5.2. V uvedeném příkladu způsobuje změna napětí přivedeného na elektromagnet ventilu změnu

5.6 PÉČE O DÝCHACÍ CESTY

Péče o dýchací cesty je nedílnou součástí péče o nemocné v intenzivní a resuscitační péči. Péče o dýchací cesty zahrnuje:

- zajištění dýchacích cest
- toaletu dýchacích cest
- ohřátí a zvlhčení vdechované směsi, péči o okruh ventilátoru

5.6.1 Zajištění průchodnosti dýchacích cest

Cílem zajištění dýchacích cest je udržení jejich průchodnosti a omezení rizika aspirace krve, sekretu nebo žaludečního obsahu do dýchacích cest.

Základní způsob zajištění dýchacích cest pro potřebu UPV přetlakem představuje tzv. invazivní zajištění dýchacích cest, při kterém je pomůcka umístěná v dýchacích cestách zavedena pod úroveň hlasové štěrbin. Příkladem tohoto postupu je zavedení tracheální rourky nebo tracheostomické kanyly.

Alternativní způsoby, které jsou vhodné pouze pro časově omezené použití nebo ve speciálních indikacích, zahrnují použití obličejové nebo nosní masky, event. v kombinaci s nosními nebo ústními vzduchovody, laryngeální masku nebo jiné supraglotické pomůcky a tzv. kombirourku.

A. OBLIČEJOVÉ A NOSNÍ MASKY, NOSNÍ A ÚSTNÍ VZDUCHOVODY

Obličejové a nosní masky nepředstavují samy o sobě zajištění dýchacích cest (neudržují průchodnost dýchacích cest). Mají místo v oblasti neinvazivní ventilace (viz kap. *II Neinvazivní plicní ventilace*) nebo při potřebě velmi krátkodobé ventilace přetlakem v trvání několika minut. Obličejové masky se liší svým tvarem a materiálem, pro různé věkové skupiny jsou určeny odpovídající velikosti masek.

Nosní a ústní vzduchovody jsou používány především v průběhu krátkodobé celkové anestezie bez potřeby zajištění dýchacích cest proti riziku aspirace. Nezajišťují ochranu dýchacích cest před zatečením, nejsou obecně vhodné k umělé plicní ventilaci. V intenzivní péči mají omezený význam, jsou použitelné pouze krátkodobě u nemocných po celkové anestezii s předpokladem zotavení a obnovení kontroly volných dýchacích cest v nejbližších minutách či desítkách minut. Zavedení může vést k vyvolání kašle, zvracení, laryngospasmu. Ústní vzduchovod je obvykle hůře snášen. Zavedení nosního vzduchovodu je spojeno s rizikem krvácení ze sliznice nosu. Při dislokaci nebo obstrukci vzduchovodu sekretem nebo krví může dojít ke zhoršení průchodnosti horních cest dýchacích. Modifikace ústního vzduchovodu s manžetou není v intenzivní péči pro umělou plicní ventilaci obvykle používána, může mít ale své místo pro zajištění krátkodobé ventilace např. v průběhu kardiopulmonální resuscitace.

■ **Tabulka 5.1** Komplikace spojené se zajištěním dýchacích cest tracheální rourkou

Komplikace spojené s tracheální intubací:

- poranění dutiny ústní, hltanu, hrtanu, jícnu nebo průdušnice při intubaci, krvácení z nosní sliznice při nazotracheální intubaci

Komplikace spojené s přítomností tracheální rourky in situ:

- záněty obličejových dutin při zavedení nosem
- tlakové poškození rtů a nosních křídel při nesprávné fixaci
- tlakové poškození sliznice dutiny ústní a ústních koutků při zavedení ústy
- tlakové poškození sliznice a edém v supraglotické části hrtanu
- poranění hlasových vazů, včetně vzniku granulací
- edém v subglotické oblasti s následným vznikem subglotické stenózy (především u dětí, subglotická oblast představuje u dětí nejužší místo dýchacích cest)
- tlakové poškození stěny průdušnice vyvolané tlakem manžety tracheální rourky
- tlakové poškození n. laryngeus recurrens způsobené tlakem manžety
- hluboké tlakové poškození chrupavčitých prstenců průdušnice (tzv. malacie) se vznikem nestability tracheální stěny
- vznik tracheoefozofageálních píštělí
- zhoršení toalety dýchacích cest (narušení mukociliárního transportu, zhoršení expektorace)
- endobronchiální intubace při dislokaci rourky s následným vznikem atelektázy
- mikroaspirace faryngeálního sekretu kolem zavedené tracheální rourky – vznik tzv. ventilátorové pneumonie
- rozvoj tzv. laryngeální dysfunkce (inkompetence), podstatou je narušení koordinace svalstva hltanu a hrtanu, důsledkem jsou opakující se aspirace a pneumonie

e) pravidelné kontroly tlaku manžety (doporučená hodnota je 15–25 cmH₂O), obvykle nad 20 cmH₂O

f) ponechání rourky *in situ* jen na co nejkratší dobu, tj. denní přehodnocování indikace k umělé plicní ventilaci a tracheální intubaci

Zvláštním typem jsou biluminální speciální rourky používané k selektivní plicní ventilaci v průběhu některých nitrohručních výkonů nebo vzácně při umělé plicní ventilaci nemocných s jednostrannou plicní patologií. Tento typ rourky je náročný na péči vzhledem k snadné dislokaci z optimální polohy při manipulaci s nemocným a zhoršené toaletě dýchacích cest při malém průměru jednotlivých lumen.

5.6.4 Inhalační terapie

Řada ventilovaných nemocných vyžaduje určitou inhalační terapii. Základními formami inhalační terapie je nebulizace maloobjemovými nebulizátory (tzv. small volume nebulizers) a aplikace dávkovači typu metered dose inhaler (MDI). Tabulka 5.6 uvádí přehled nejčastěji inhalačně aplikovaných skupin léků a jejich indikace.



Účinnost inhalační aplikace léků je u ventilovaných nemocných obecně nižší než u spontánně ventilujících nemocných.

Pro zajištění účinnosti inhalační terapie je důležitá nejen správná volba a dávkování léčivého přípravku, ale také správné umístění aplikátoru inhalační terapie v okruhu ventilátoru, nastavení ventilátoru a přítomnost nebo nepřítomnost zvlhčování v okruhu.

Inhalační aplikace léků je vždy méně účinná, je-li lék podáván do již zvlhčené směsi plynů, pokles účinnosti je proti aplikaci do nezvlhčené směsi plynů až cca o 50 % (30–60 %).

Doporučené umístění aplikátoru léků při nebulizaci nebo MDI aplikaci je patrné z obrázku 5.8. Nejlepších výsledků je dosahováno při aplikaci do inspiračního ramene ve vzdálenosti cca 15–40 cm před tzv. Y spojkou inspiračního a expiračního ramene. Někteří výrobci nebulizátoru mohou doporučovat pro své výroky další alternativní umístění inhalátoru, jedním z často uváděných míst je také počátek inspiračního ramene okruhu. Pro konkrétní zapojení je tedy vždy rozhodující doporučení výrobce.

Při použití pasivního zvlhčování a uvedeného umístění aplikátoru musí být filtr HME před aplikací z okruhu odstraněn a po aplikaci vrácen, alternativou je použití speciálního bypassu HME filtru, což umožní nerozpojovat okruh ventilátoru. Při použití aktivního zvlhčování je doporučeno ohřev dočasně vypnout. Maximální účinnost inhalační aplikace lze očekávat, je-li lék podáván v inspiračním rameni do speciální komory (chamber, spacer).

Aplikace léku do aplikátoru inhalační terapie umístěného mezi tracheální rourku a Y spojku (obvykle mezi filtr HME a rourku) nebo přímo do adaptéru pro MDI umístěného na systému uzavřeného odsávání je vzhledem k nejisté dostupnosti podaného léku nutné považovat za nouzové řešení s nejistým efektem (tab. 5.7).

V literatuře doporučené optimální nastavení ventilátoru při inhalační aplikaci léků, které je zvláště významné při inhalační aplikaci antibiotik, je shrnuto v tabulce 5.8. Na pracovišti autora není při inhalační terapii toto doporučení respektováno, pokud by bylo nutné významné prohloubení sedace nebo svalová relaxace.

■ **Tabulka 6.1** Požadavky na rozsah a dostupnost monitorovacích postupů a technik u ventilovaných nemocných

1. Minimální rozsah
<ul style="list-style-type: none"> • kontinuální klinické sledování • sledování vitálních funkcí – krevní tlak, tepová frekvence, dechová frekvence, stav vědomí, diuréza • pulzní oxymetrie • dostupnost vyšetření krevních plynů • tlaky v dýchacích cestách, dechové objemy (ventilátor), inspirační frakce kyslíku
2. Optimální rozsah
<ul style="list-style-type: none"> • kontinuální klinické sledování • sledování vitálních funkcí – krevní tlak, tepová frekvence, dechová frekvence, stav vědomí, diuréza • pulzní oxymetrie kontinuálně • monitorování krevních plynů, metabolismu vody a iontů • kapnometrie kontinuálně • dostupnost sledování mechanických vlastností respiračního systému • dostupnost invazivního hemodynamického monitorování a ultrazvukových metod (echokardiografie a UZ plic a hrudníku)
3. Pokročilé metody
<ul style="list-style-type: none"> • sledování jícnových tlaků • sledování plicních objemů (diluce helia, elektrická impedanční tomografie apod.)

6.2 KLINICKÉ MONITOROVÁNÍ

Klinické monitorování je nejdostupnější a neoddelitelnou součástí monitorování ventilovaných nemocných. Řada údajů, jejichž přesná kvantifikace vyžaduje použití velmi sofistikovaných a nákladných postupů, je zjištělná běžným klinickým vyšetřením nemocného. Oblastí, na které je vhodné se při sledování nemocného zaměřit, jsou uvedeny v tabulce 6.2.

■ Tabulka 6.2 Oblasti klinického monitorování ventilovaných nemocných

1. Funkce přístroje a pomůcek

Zraková kontrola:

- pohyby hrudníku nemocného
- okruh přístroje
- obrazovka ventilátoru
- poloha masky, hloubka zavedení tracheální rourky nebo tracheostomické kanyly

Sluchová kontrola:

- činnost (zvuk) přístroje
- těsnost okruhu ventilátoru
- únik vzduchu kolem tracheální rourky nebo tracheostomické kanyly

Taktilní kontrola:

- detekce event. úniku vzduchu z okruhu přístroje

2. Interakce nemocného a ventilátoru, komfort nemocného

Zraková kontrola:

- dechová frekvence
- zapojování pomocných dýchacích svalů – m. sternocleidomastoideus při nádechu a břišní svaly při výdechu
- detekce inspiračního úsilí nemocného ventilátorem, nerozpoznané úsilí o inspirium – nesoulad při spouštění dechového cyklu
- zapojování expiračního svalstva při přechodu do expira – nesoulad při cyklování
- charakter inspira, expira, poměr fází dechového cyklu – inspirační nebo expirační charakter dechové tísně, intenzita dechového úsilí

Sluchová kontrola:

- poslech plic – trvání proudění plynů ve fázích dechového cyklu
- nesoulad nemocného s ventilátorem

3. Oběhový systém

- krevní tlak, tepová frekvence
- diuréza
- náplň krčních žil
- rychlost kapilárního návratu

4. Plicní funkce

Zraková kontrola:

- pohyb hrudníku, symetrie
- charakter sputa
- přítomnost cyanózy
- charakter inspira a expira

Sluchová kontrola:

- symetrie a charakter poslechového nálezu

A

acidóza 75
acute lung injury 281
adaptive support ventilation 117
akutní plicní edém a NIVS 328
akutní plicní selhání 280
alveolární recruitment 211
alveolární tenze kyslíku 74
alveoloarteriální diference kyslíku 195
amplituda arteriálního tlaku 275
analýza křivek průtok/čas a čas/tlak 207
analýza křivek průtoku a tlaků 251
anatomický zkrat 75
anestezie 80, 368
– péče o dýchací cesty 376
– vliv na respirační systém 368
anesteziologický přístroj a ventilátor 371
antikoagulace 420
ARDS 290, 291
– a NIVS 329
– doporučení pro konvenční UPV 309
artefakty 189
astma 260
– akutní asfyktické 262
– akutní těžké 262
– a NIVS 329
– ataky 262
autoflow 117
automatic tube compensation 118
autotriggerování 233

B

barotrauma 96
Biomotor 33
body mass index 302

bránice 66
– poškození při UPV 104
– vliv polohy a celkové anestezie 370
brániční dýchání 64
bronchiální trauma 97
bronchoalveolární laváž 396

C

celková plicní kapacita 71
Clinical Pulmonary Infection Score 394
compliance 83
– regionální 78
cor pulmonale 278
Covid-19 411, 424, 428
CPAP manévr 297
CROP index 343
CT analýza plic 305
cyklování 107

Č

časová konstanta 85

D

dávkovač (MDI) 182, 183
dechová práce 87, 438
dechové centrum 66
dechový cyklus 107
– expirační fáze 108
– inspirační fáze 107
dechový objem u anestezie 378
dechový recruitment 217, 220
dekanylace 353
difuzní alveolární poškození 97, 281
dorzální respirační skupina 66

dýchací cesty
 – průchodnost 167
 – toaleta 170
 dýchací přístroj, vývoj 52
 dýchací svaly 64
 dýchání
 – regulace 66, 69
 – vliv anestezie a sedace 69
 – vliv farmak a neurotransmiterů 69
 dynamická hyperinflace 205
 dyssynchronie 226

E

ECMOnet Score 422
 elastance/compliance respiračního systému 83, 202
 – dynamická 202
 – efektivní 202
 – statická 200
 elektrická impedanční tomografie 222, 241, 305
 eliminace CO₂ 138
 – u ARDS 290
 endexpirační plicní objem 306
 Esmarchův hmat 16
 exogenní surfaktant 428
 expirační pauza 108
 expirační rezervní objem 71
 expirační ventil 150
 extubace 350

F

flow trigger 110
 funkční reziduální kapacita 70, 283, 368

G

gasping 67

H

Heringův-Breuerův inflační reflex 68
 homogenita plic 286
 hormonální změny 91

horní cesty dýchací 64
 Horowitzův index 196
 hyperinflace 285
 – dynamická 246, 250, 264, 269
 – statická 246
 hyperkapnie 75, 79, 248, 265, 310
 – permisivní 267
 hyperventilace 69
 hypokapnie 264
 hypoventilace 70
 hypoxemie 79, 248, 264
 hypoxická plicní vazokonstrikce 74

Ch

chamber 182
 Chatburnova taxonomická klasifikace 114
 chemické detekční mechanismy 67
 chemoreceptory 67
 CHOPN
 – a NIVS 328
 – obecné principy péče 257
 chráněný kartáčový stěr 396

I

index rychlého mělkého dýchání 342
 inervace 66
 infarkt pravé komory 279
 infekce dolních dýchacích cest 386
 inflexní bod
 – dolní 211
 – horní 211
 inhalační podání oxidu dusnatého 426
 inhalační terapie 177
 iniciace 107
 inspirační asistence 347
 inspirační frakce kyslíku u anestezie 377
 inspirační pauza 108
 inspirační rezervní objem 71
 inspirační ventil 149
 Intelligent Ventilation 119
 intermitentní zástupová ventilace 111
 intersticiální a alveolární edém 281

intoxikace oxidem uhelnatým 188
intubace
– a pneumonie ventilovaných nemocných 388
– orotracheální a nazotracheální 168
invazivní ventilace
– u nemocných s astmatem 266
– u nemocných s CHOPN 254

J

jícnový tlak 84, 208, 234, 251

K

kapnometrie 190
– volumetrická 193
kolaterální ventilace 78
kolonie vytvářejících jednotek 396
kombirourka 168
kompenzace poddajnosti okruhu 151
kostra hrudníku 64
krevní plyny
– variabilita 198
– vyšetření 193
křivka tlak/objem
– dynamická 215
– statická 210, 214
kyslík, základní spotřeba 63

L

laryngeální maska 168
levá komora srdeční 90
– afterload dependentní 277
– preload dependentní 274
– selhání 277
likvidní ventilace 429
lymfatické zásobenění 65

M

maximální inspirační podtlak 342
mechanical power concept 101
měření objemu plic nad objemem relaxačního ekvilibria 251

měření změny tlaku na konci
– inspirační pauzy po změně dechové frekvence 251
methemoglobinemie 188
mikroaspirace 386
mimotělní plicní podpora 258, 412
– arteriovenózní systémy 414
– indikace 417
– kardiální 414
– komplikace 422
– kontraindikace 419
– nastavení ventilátoru 420
– poskytování 423
– pulmonální 414
– u Covid-19 424
– venovenózní systémy 415
– weaning 421
monitorování
– klinické 186
– mechaniky respiračního systému 198
– v průběhu UPV 185
– výměny plynů 188
myokard a ventilace pozitivním přetlakem 273

N

nadměrná distenze 285, 286
nebulizační terapie 180
– nevýhody 181
nervus vagus 66
neurální řízení činnosti ventilátoru 119
nitrohruďní tlak 89
nozokomiální pneumonie 383
nutrice 348

O

objemová historie plic 215
obličejové a nosní masky 167, 324
obstrukce dýchacích cest
– patofyziologie u CHOPN 245
– postextubační 351
– u astmatu 263

- odpojení od ventilátoru 234, 349
- a ALI a ARDS 359
 - a CHOPN 356
 - a infarkt myokardu 358
 - a poruchy vědomí 359
 - a srdeční selhání 358
 - identifikace připravenosti pacienta 338
 - obtížné 347
 - selhání 358, 360, 362, 363, 364
 - vliv hloubky sedace 338
- okluzní tlak v dýchacích cestách 342
- open lung approach 295
- open lung concept 296, 303
- oxid uhličitý, minutová produkce 63
- oxygenace 138
- u nemocných s ARDS 288
- oxygenační selhání 80
- oxygenátor, membránový 415
- oxygenoterapie 438
- P**
- parciální tlak kyslíku v arteriální krvi 195
- parciální tlak oxidu uhličitého v arteriální krvi 196
- perfluorokarbony 429
- perfuze plic 73
- permeabilita alveolokapilární bariéry 281
- personalizovaná ventilace 105
- plató tlak 83, 268, 309
- plicní cirkulace 65
- plicní časová konstanta, regionální 78
- plicní inflace 88
- plicní jednotky 283
- plicní nevzdušnost 283
- plicní objem 70, 75
- optimalizace 210
- plicní patologie 80
- plicní poddajnost 220
- plicní recruitment 219
- plicní sklípky 64
- plicní vaskulární rezistance 88
- plicní zkrat 79
- pneumonie ventilovaných nemocných 331, 383
- antibiotická terapie 391, 394, 398
 - antiseptika 391
 - bakteriologická strategie diagnózy 396
 - diagnostika 392
 - jako indikátor kvality 402
 - klinická strategie diagnózy 393
 - prevence 388
 - rizikové faktory 387
 - suspektní 398
- pneumotachografická clona 163
- poddajnost respiračního systému 217, 220
- a ARDS 286
- pohrudniční dutiny 64
- poměr $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ 196
- pooperační plicní komplikace 370
- poranění hrudníku 329
- pozitivní endexpirační přetlak (PEEP) 134
- a dechová práce 135, 141
 - a funkce surfaktantu 138
 - a funkční reziduální kapacita 134
 - a nitrobřišní tlak 141
 - a oběh 141
 - a oxygenace 136
 - a plicní poškození způsobené umělou plicní ventilací 136, 140
 - definice 132
 - dělení 133
 - distribuce perfuze 140
 - distribuce ventilace 139
 - doporučené postupy 143
 - eliminace CO_2 138
 - endexpirační plicní objem 138
 - externí 256, 269
 - fixní hodnoty 142
 - individualizované hodnoty 143
 - intrinsický 86, 206, 249, 269
 - kontinuální 132
 - na konci exspira 377
 - oxygenace 138
 - technické zajištění 162
 - u anestezie 377

- význam 134
- prahový otevírací tlak 286
- pravá komora srdeční 89
- afterload dependentní 273
- a ventilace pozitivním přetlakem 273
- preload dependentní 273
- selhání 278
- PRESERVE Score 422
- pressure regulated volume control 116
- pressure trigger 109
- prokalcitonin 402
- pronační poloha 405
- délka doby pronace 409, 411
- indikace 407
- kontraindikace 407
- u nemocných s těžkými formami ARDS 314
- u pacientů s Covid-19 411
- proportional assist ventilation 117
- protektivní ventilační strategie 293
- protokolizované odvykání 338
- přetlaková ventilace viz ventilace pozitivním přetlakem
- psychologická podpora při odpojování od ventilátoru 348
- pulzní oxymetrie 188

R

- receptory
- chemoreceptory 67
- v dýchacích cestách 68
- recruitment 284, 286, 405
- manévr 297
- zvýšený 303
- reflexní mechanismy 68
- rehabilitace 348
- rekruitabilita 284
- relaxační ekvilibrium 245
- rescue postupy 404
- respirační acidóza 310
- respirační kyrys 33
- respirační systém
- anatomie 64
- funkce 63

- vliv polohy, sedace a celkové anestezie 72
- RESP Score 422
- reziduální objem 71
- rezistance 85
- expirační 204
- inspirační 203
- regionální 78
- u ARDS 288
- rovnice pohybu 82
- rozepnutí plic, nadměrné 94
- rozvod medicinálních plynů 148

S

- SARS-CoV-2 428
- saturace hemoglobinu a PaO₂ 189
- sedace 338, 352, 390
- u ARDS 315
- Smart Care 118
- spacer 182
- spontánní ventilace 337, 344, 345, 346
- selhání 345
- u anestezie 379
- u ARDS 290
- srdeční výdej 74
- status asthmaticus 260
- stenóza 354
- strain 99, 137
- stres 98, 137
- stresový index 218
- stress and strain concept 98
- strukturální disrupce 94, 137
- střední tlak v cirkulaci 89
- střížné síly a PEEP 137
- suprapontinní mechanismy 69
- surfaktant 78, 138
- svalová relaxace u ARDS 315
- syndrom automatického dýchání 69
- syndrom Ondininy kletby 69
- synchronie mezi ventilátorem a pacientem 109, 225
- synchronizovaná intermitentní zástupová ventilace 350
- systolický tlak 274

T

technika

- endexpirační okluze 207, 208, 251, 276
 - inspirační okluze 208, 252
 - mnohočetných okluzí 213
 - nízkého průtoku 213
 - superstřikačky 212
 - změny dechové frekvence 207
- technika vyplavování dusíku 221
- test schopnosti spontánní ventilace 343
- timing window 126
- tlakově řízená ventilace 298
- tlakový gradient 146
- tracheální odsávání 171
- tracheobronchiální aspirát 396
- tracheobronchiální strom 64
- tracheostomické kanyly 170
- tracheostomie 353
- perkutánní 170
- transkapilární tlak 98
- Trendelenburgova poloha 72
- triggerování 160, 226
- v době expiraie 232
- T spojka 363

U

- ultrazvukové vyšetření srdce a plic 305
- umělá plicní ventilace *viz též* ventilace
- aspirace 390
 - během anestezie 376
 - cíle 60
 - domácí 365
 - formy 82
 - historický vývoj 14
 - indikace 62
 - komplikace 87
 - poloha nemocných 390
 - poškození bránice 104
 - redistribuce krevního průtoku 272
 - ukončování 334, 390
 - u nemocných s akutním plicním selháním 280
 - u nemocných s ARDS 293

- u nemocných s astmatem 260, 265
 - u nemocných se selháním oběhu 272, 277
 - u nemocných s CHOPN 244, 252
 - v anestezii 368
 - vliv na spotřebu kyslíku 272
- uzávěrová kapacita 70
- uzavírací tlak 301

V

- ventilace 76
- airway pressure release 114
 - a perfuze 78
 - bifázická pozitivním přetlakem 114
 - cílové hodnoty u astmatu 267
 - minutová 76
 - mrtvého prostoru 197
 - nazální 320
 - negativním tlakem 82
 - nehomogenita 192
 - neinvazivní 252, 265, 320, 321, 322, 323, 324, 326, 327, 329, 331, 354, 358
 - nekonvenční 316, 380
 - neurálně řízená 114
 - objemově řízená 112, 120
 - oscilační 82
 - podtlaková 157
 - pozitivním přetlakem 81, 82, 88, 91, 92, 93, 293
 - protektivní 378
 - s omezením velikosti dechových objemů 293
 - střídavě řízená 52
 - synchronizovaná intermitentní zástupová 125
 - tlakově podporovaná 52, 113, 128, 155
 - tlakově řízená 52, 113, 123
 - trysková 82
 - vysokofrekvenční 165, 166, 316, 424
- ventilační podpora
- u astmatu 270
 - ukončení 340
 - vedená dle hodnot jícnového tlaku 303

- vedená s pomocí zobrazovacích metod 305
 - ventilační režim 107, 109, 114
 - asistované dechy 111
 - duální (hybridní) 114
 - řízené dechy 110
 - spontánní dechy 111
 - synchronizované intermitentní zástupové ventilace 111
 - technické řešení 160
 - tlakově limitovaný, nastavení 224
 - u nemocných s ARDS 313
 - ventilační selhání 80
 - ventilátor
 - anesteziologický 156, 374
 - bez aktivního řízení výdechu 154
 - bezpečnostní prvky 165
 - definice 146
 - generace 159
 - klasifikace 146
 - limitace 107
 - měření průtoku a objemu 162
 - měření tlaku 162
 - nastavení 266, 301
 - odvykání 334
 - okruh 176
 - podle věkové indikace 158
 - pro domácí péči 154
 - pro intenzivní péči 147
 - pro neinvazivní ventilaci 324
 - transportní 153
 - vývoj 46
 - ventilator-associated pneumonia viz pneumonie ventilovaných nemocných
 - ventrální respirační skupina 67
 - vertikální gradient pleurálního tlaku 76
 - VILI 96
 - mimoplicní účinky 104
 - vitální kapacita 70
 - volume assured pressure support 117
 - volume support 117
 - volutrauma 98
 - a PEEP 137
 - výměna plynů 63
 - vliv anestezie 80
 - výměník vlhkosti a tepla 174 viz těž zvlhčení a ohřátí vdechované směsi
 - pasivní 63
 - vysokoprůtoková oxygenoterapie 355, 435
 - mechanismy a účinky 437
 - provedení 440
 - vzduchovody 167
- W**
- weaning 334
 - u mimotělní plicní podpory 421
 - Westova zóna 73, 197
- Z**
- zvlhčení a ohřátí vdechované směsi 173
- Ž**
- železná plic 36, 157
 - žilní návrat 89