



České vysoké učení technické
v Praze
Fakulta biomedicínského inženýrství



Úloha KA02/č. 7:

**Využití patientského simulátoru a simulátoru dýchání
v oblasti ventilační techniky**

Metodický pokyn pro vyučující se vzorovým protokolem

Ing. Martin Rožánek, Ph.D.
(rozanek@fbmi.cvut.cz)

Poděkování:

Tato experimentální úloha vznikla za podpory Evropského sociálního fondu v rámci realizace projektu „Modernizace výukových postupů a zvýšení praktických dovedností a návyků studentů oboru Biomedicínský technik“, CZ.1.07/2.2.00/15.0415.

Období realizace projektu 11. 10. 2010 – 28. 2. 2013.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Využití patientského simulátoru a simulátorů dýchání v oblasti ventilační techniky (metodický podklad pro vyučující)

Motivace a cíl:

Cílem úlohy je seznámit studenta s problematikou umělé plicní ventilace a základními vlastnostmi konvenčního plicního ventilátoru. Motivací je fakt, že je umělá plicní ventilace široce využívána v praxi, ve chvílích kdy selhává nebo je úmyslně utlumena spontánní ventilace. Součástí úlohy je i zažití odborných termínů a fyzikálních jednotek, které se běžně v respirační péči využívají, aby byl absolvent předmětu schopný odborné komunikace v oblasti umělé plicní ventilace.

Mezi hlavní cíle úlohy patří:

- Pochopení pojmů minutová a alveolární ventilace a vztahu mezi nimi.
- Vliv velikosti dechového objemu a ventilační frekvence na alveolární ventilaci
- Ukázka základních parametrů umělé plicní ventilace na modelu plic
- Ukázka vlivu změny mechanických parametrů plic

Předpoklady:

Na začátku úlohy je vhodné probrat se studenty složení vzduchu a hodnoty parciálních tlaků základních plynů v atmosféře a v lidském těle.

Před zahájením úlohy je nutné zkontrolovat nastavení ventilátoru, a to zejména zda není nastavený vysoký dechový objem či PEEP, což by mohlo poškodit simulátor plic!

Předpokládá se využití ventilátoru Veolar (Hamilton) a plicního modelu 5600i (Michigan Instruments). Návody jsou k dispozici v laboratoři umělé plicní ventilace.

Vhodné je probrat princip tlakově a objemově řízené ventilace včetně jejich nevýhod.

Požadavky na studenty:

Pro zvládnutí cvičení je nutné přečtení návodu před započítím samotné úlohy v rámci domácí přípravy.

Během cvičení musí všichni studenti samostatně provést výpočty minutové a alveolární ventilace pro předem dané kombinace dechové frekvence a dechového objemu.

Při praktickém cvičení doporučuji rozdělit na dvě menší skupinky, z nichž jedna bude ovládat ventilátor a druhá simulátor, které jsou propojeny. Oběma skupinám bude dán čas na seznámení se s přístrojem a poté si navzájem přístroje představí. Na konci bude provedena série měření za spolupráce obou skupin.

Všichni samostatně zhodnotí úlohu (sepíše závěr, který shrne měření).

Postup přípravy studentů:

V rámci domácí přípravy je nutné přečíst návod na úlohu.

Student si musí během cvičení uvědomit, že naprostá většina moderních přístrojů umělé plicní ventilace pracuje na principu ventilace přetlakem, která je nefyziologická. Porovnání s klasickým spontánním dýcháním je zobrazeno na animaci, kterou je nutné prohlédnout. Základní cíle a znalosti získané absolvováním úlohy jsou shrnuty v prezentaci, kterou musí student projít po přečtení návodu ve skriptech.

Literatura:

Kompletní přehled o problematice umělé plicní ventilace je v knize *Základy umělé plicní ventilace*, autor Pavel Dostál a kol. Kniha je k dispozici v knihovně FBMI.

Slovník pojmů:

Součástí úlohy je zažití následujících pojmů a jejich význam: minutová ventilace, alveolární ventilace, FiO_2 , dechový objem, ventilační frekvence, PEEP, PIP, plicní mechanika, průtočný odpor, poddajnost plic.

Otázky k úloze:

Jsou součástí úlohy ve skriptech. Student musí po hodině být schopen odpovědět na otázky a zhodnotit naměřené údaje.

Závěr:

Student musí v závěru odpovědět na konkrétní položené dotazy. Student by měl znát rozdíl mezi ventilací podtlakem (fyziologická) a přetlakem. Musí znát základní parametry nastavované na ventilátoru a jejich vliv na krevní plyny pacienta, orientaci v jednotkách mmHg, mmH₂O atd. Musí znát princip tlakově a objemově řízené ventilace a jejich základní nevýhody.

Získané znalosti využijí během studia u předmětu Speciální přístrojová technika v anestezii a resuscitační péči.

Znalosti zmíněné v závěru by měl student vědět i při státní závěrečné zkoušce.

ÚKOLY MĚŘENÍ

- 1) Spočítejte minutovou ventilaci pro různé kombinace hodnot frekvence ventilace a dechového objemu, které lze nastavit na ventilátoru Veolar. Uvažujte anatomický mrtvý prostor dospělého člověka v hodnotě přibližně 160 ml. Pro výše zmíněné kombinace spočítejte alveolární ventilaci a porovnejte ji s minutovou ventilací.
- 2) Proved'te kalibraci průtokové clonky podle pokynů cvičícího.
- 3) Připojte ventilátor k umělé plicí či plicnímu simulátoru podle pokynu cvičícího
- 4) Na ventilátoru nastavte režim CMV s fyziologickými parametry dle doporučení cvičícího a sledujte monitorovací část ventilátoru.
- 5) Sledujte vliv parametru PEEP (positive end expiratory pressure) na ventilační parametry.
- 6) Sledujte vliv parametru I:E (poměr doby inspiria a exspira) na průběh ventilace.
- 7) Sledujte různé druhy průtokových profilů.
- 8) V monitorovací části sledujte parametry ventilace jako je PIP (peak inspiratory pressure) apod.
- 9) Zjistěte na ventilátoru mechanické vlastnosti plic, které jsou simulovány připojeným modelem. Sledujte změnu průtočného odporu a změnu plicní poddajnosti.

POSTUP MĚŘENÍ

ad 1) Minutovou ventilaci spočítejte podle vztahu (6.1):

$$V_M = V_t \cdot f, \quad (6.1)$$

a alveolární ventilaci podle vztahu (6.2):

$$V_A = (V_t - V_D) \cdot f, \quad (6.2)$$

kde V_M je minutová ventilace, V_t je dechový objem, f je frekvence dýchání, V_A je alveolární ventilace a V_D je anatomický mrtvý prostor (cca 160 ml pro dospělého člověka).

Spočítané hodnoty zapište do Tab. 6.1.

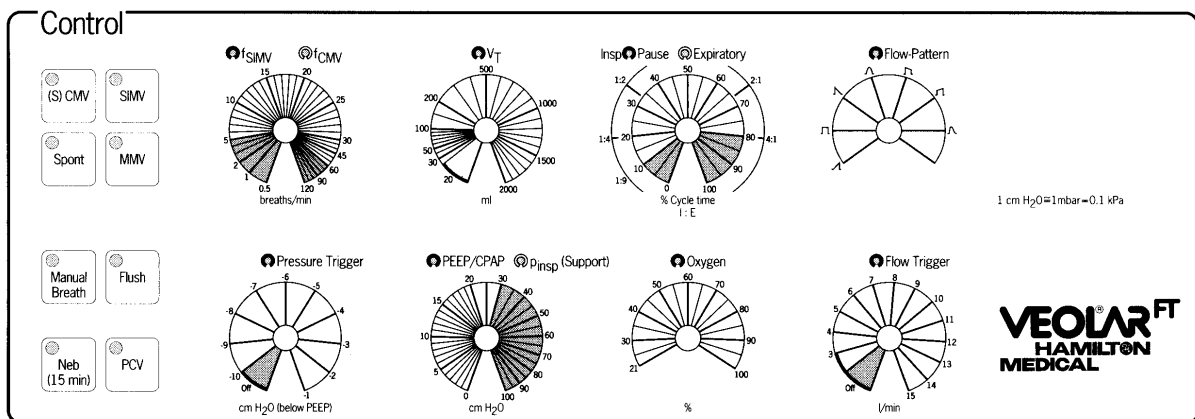
Tab. 6.1: Hodnoty minutové a alveolární ventilace pro různé kombinace dechového objemu a dechové frekvence.

	$f = 12 \text{ d/min}$, $V_t = 0,625 \text{ L}$	$f = 15 \text{ d/min}$ $V_t = 0,5 \text{ L}$	$f = 18 \text{ d/min}$ $V_t = 0,425 \text{ L}$
V_M - Minutová ventilace [L/min]	7,50	7,50	7,65
V_A - Alveolární ventilace [L/min]	5,58	5,10	4,77

Před vlastním měřením se seznámte s ventilátorem Veolar, na kterém bude probíhat měření.

Parametry ventilace

Přední panel ventilátoru Veolar je rozdělen na tři základní části: ovládací ("Control" panel), monitorovací ("Patient Monitor") a část s alarmy ("Alarm" panel). Na části ovládací (Obr. 6.2) se nastavují parametry, které určují charakter samotné ventilace.



Obr. 6.2: Ovládací panel ventilátoru.

Na kontrolním panelu se nastavují jednotlivé parametry umělé plicní ventilace:

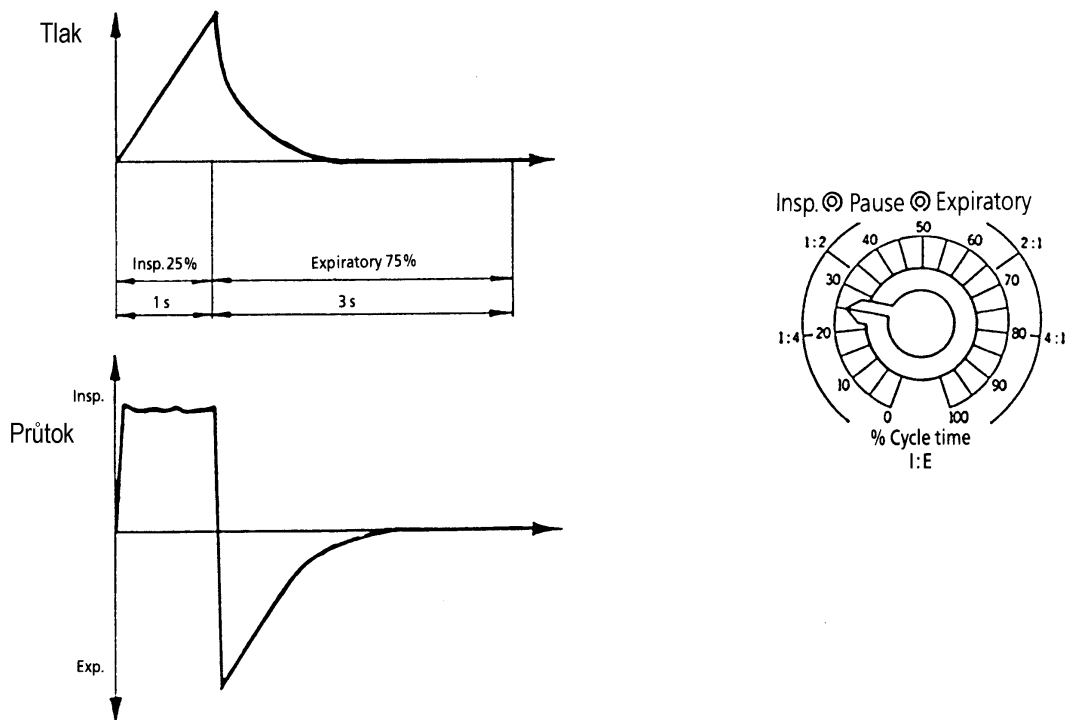
- ventilační frekvence (f_{CMV}) – frekvence řízeného dýchání. Frekvenci je možné nastavit jako počet dechů za minutu.
- dechový objem (V_T) - nastaví se pomocí tlačítka V_T . Jedná se o objem vzduchu jednoho nádechu. U některých režimů, jako například u tlakově řízené ventilace, nelze tento parametr nastavovat.
- inspirační a expirační čas, poměr doby inspira a expiria (I:E) - jsou určeny frekvencí řízeného dýchání a poměrem doby inspira a expiria I:E (%). Procentuální

nastavení cyklu určuje poměr mezi inspiřiem a expiriem. Toto nastavení dělí celý dechový cyklus (100 %) na fázi inspirační a expirační.

Obr. 6.3 ukazuje typickou tlakovou a průtokovou křivku pro určité nastavení poměru I:E. Světly knoflík určuje začátek expirace, a tím také I:E poměr. Jestliže se horní knoflík nastaví na 25 %, je stupnice rozdělena na dva oddíly. Takto se nastaví poměr trvání I:E na 1:3. Poměr I:E je zobrazen na monitoru ventilačních funkcí pacienta.

Inspirační čas je určován dolním tmavým knoflíkem. Obvykle je tento knoflík v kontaktu s knoflíkem expiračním. To znamená, že není nastaven žádný čas inspirační prodlevy – plateau (viz dále).

Expirační čas je nastavován v procentech a určuje, kdy končí inspirace a kdy začíná expirace. Nastavuje se horním světly knoflíkem.

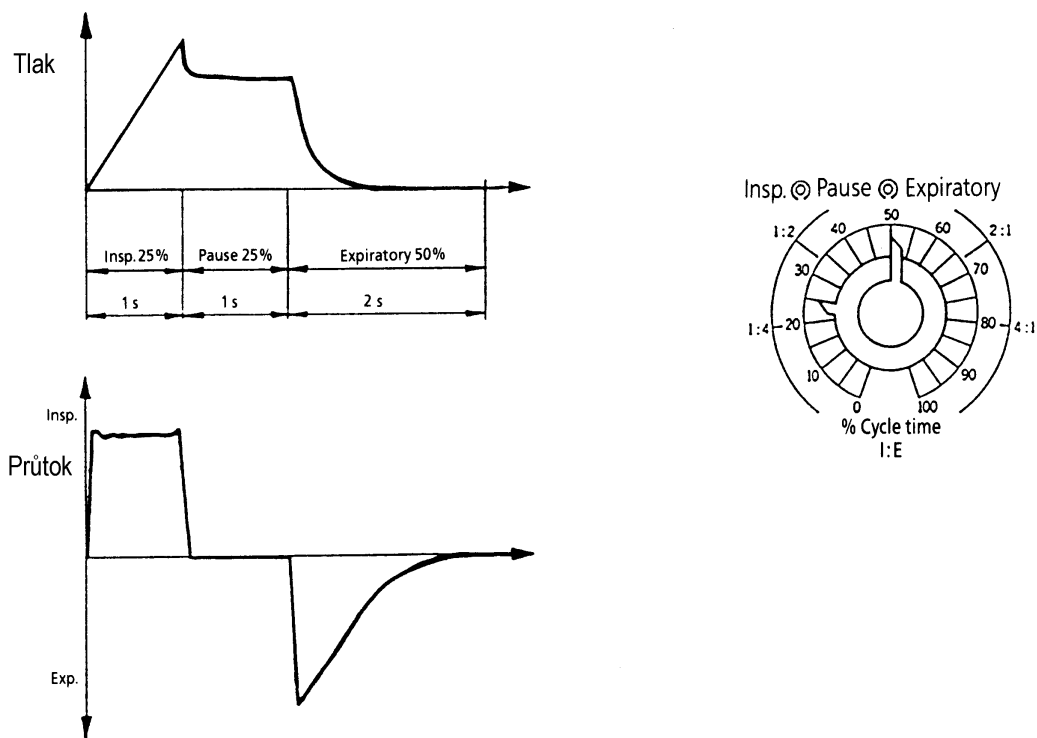


Obr. 6.3: Nastavení poměru I:E.

Příklad: Dechová frekvence f_{CMV} je 15 dechů za minutu. Tomu odpovídá doba trvání celého dechového cyklu 4 sekundy. Je-li expirační knoflík nastaven na 75 %, potom inspirace bude trvat 25 % z celkového dechového cyklu. Poměr I:E je v tomto případě 1:3. To znamená, že jednu sekundu trvá inspiřium a tři sekundy trvá expiriem.

- čas inspirační prodlevy, tzv. plateau čas ($t_{plateau}$) - inspirační čas může být rozdělen na aktivní (insuflační) a pasivní (plateau) části. Tento tzv. pasivní inspirační čas je

nazýván inspirační prodleva, někdy inspirační pauza. Na Obr. 6.4 je znázorněno nastavení při I:E poměru 1:1 (expirační čas, tj. horní světlý knoflík je na hodnotě 50 %). Inspirační čas (tmavý spodní knoflík) je nastaven na 25 %, a tím vzniká inspirační prodleva trvající 25 % délky trvání dechového cyklu. Je-li dechová frekvence při tomto nastavení 15 dechů za minutu, potom celý dechový objem je dodán do respirační soustavy během 1 sekundy. Následuje jednosekundová inspirační prodleva a poté dvousekundové exspirium.



Obr. 6.4: Nastavení času inspirační prodlevy.

- charakteristiku průtoku v inspiriu - uživatel může volit mezi sedmi definovanými charakteristikami průtoku v době inspira: progresivní, konstantní, degressivní, sinusoidální, 50 % degressivní, 50 % progresivní a modifikovaný sinusoidální. Jejich názvy jsou odvozeny od tvaru průtokové křivky v době inspira.

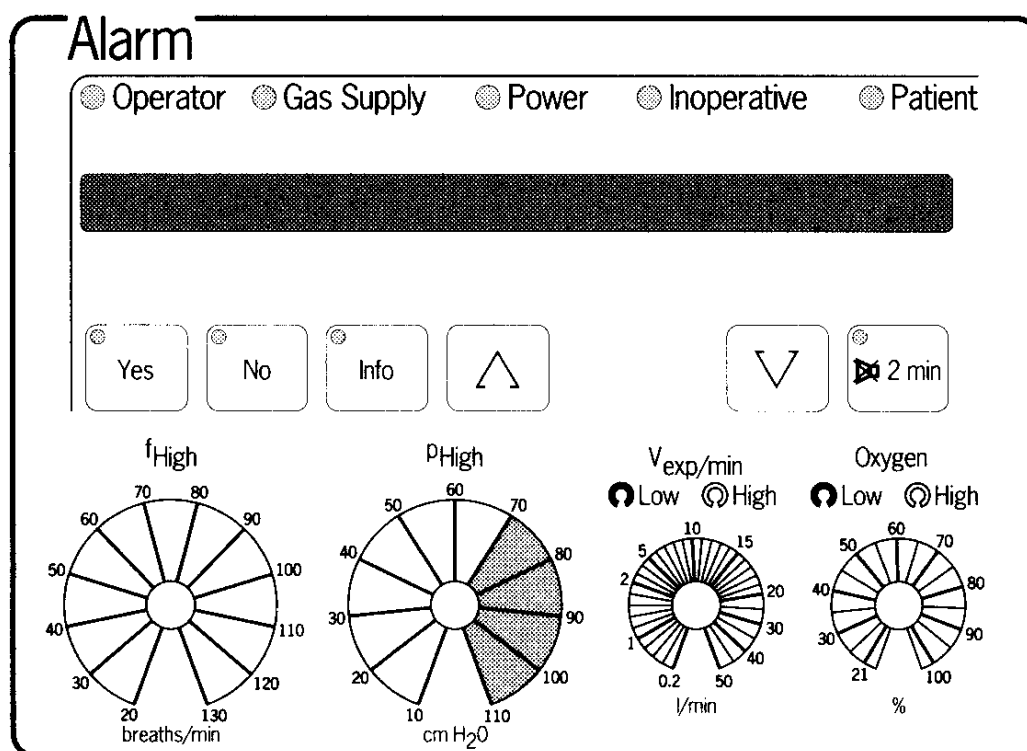
Zálohový ventilační režim pro případ apnoe – Apnoe Back Up ventilace

VEOLAR nabízí uplatnění této funkce v režimech SIMV, Spont nebo MMV, nikoliv však v režimu tlakově řízené ventilace PCV. Po apnoickém alarmu automaticky zavádí nastavenou (zálohovou) umělou plicní ventilaci. Aby ventilátor přešel na zálohovou ventilaci,

musí být tzv. back up režim navolen před spuštěním přístroje. Zálohová ventilace je navolena spínačem na panelu speciálních funkcí. Spínač lze užít jen v první sekundě po zapnutí ventilátoru. Více o zálohovém režimu naleznete v [6.3].

Panel pro ovládání alarmů

Panel pro ovládání alarmů umožňuje rychle detekovat závadu ventilátoru, umožňuje nastavit vlastní hraniční hodnoty pro sledované veličiny a používá se i při nastavování back up režimu. Pohled na panel alarmů je uveden na Obr. 6.5.



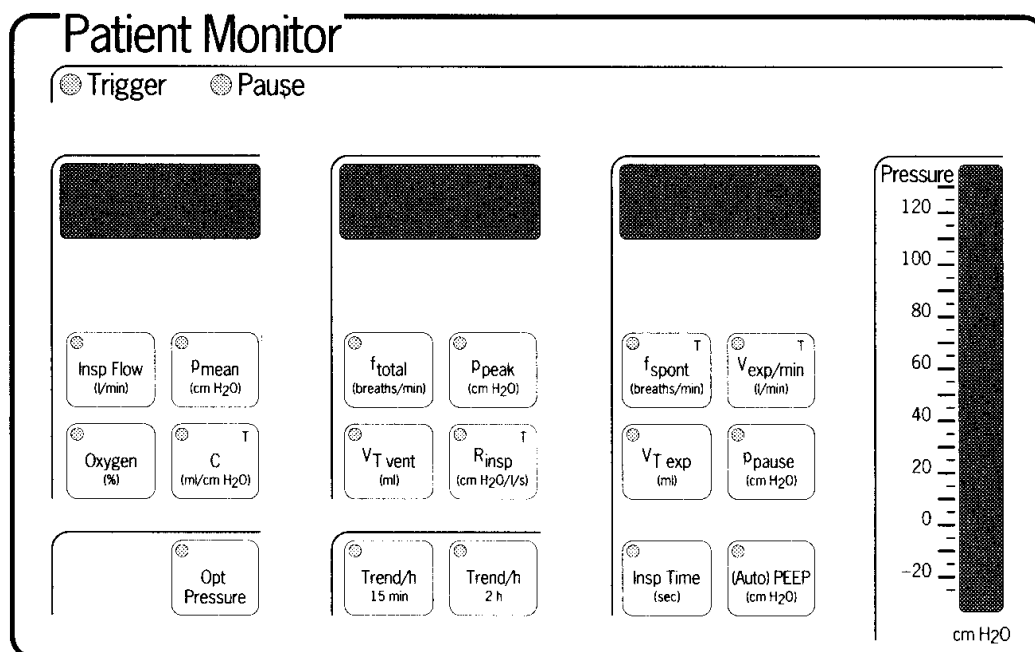
Obr. 6.5: Panel pro ovládání alarmů.

Tlačítka Yes a No slouží k potvrzování zpráv a akcí ventilátoru. Tlačítko Info umožňuje zobrazit předchozí parametry a další údaje. Tlačítka šipek nahoru a dolů umožňují zvětšovat a zmenšovat nastavovaný parametr. Poslední tlačítko potlačuje zvukový alarm na dobu 2 minut. Potenciometry umožňují nastavit maximální povolenou dechovou frekvenci a maximální povolený tlak v dýchacích cestách. Alarm se spouští po překročení nastavené hodnoty. Na přístroji se nastavují i minimální a maximální minutová ventilace a minimální

a maximální povolená koncentrace kyslíku. Po vybočení skutečné hodnoty minutové ventilace či koncentrace kyslíku mimo nastavený interval dojde k aktivaci alarmu.

Pacientský monitor

Panel (Obr. 6.6) se nachází v levé horní části předního panelu ventilátoru. Ukazuje aktuální stav ventilace pacienta. Důležitou informací je, že tento panel pracuje nezávisle na ventilátoru. Panel má tři ukazatele, přičemž mohou být současně zobrazeny tři hodnoty, vybrané stlačením příslušných tlačítek pod každým z ukazatelů. Dohromady lze získat informaci o 14 parametrech.



Obr. 6.6: Pacientský monitor.

Zobrazené parametry jsou okamžité změřené nebo vypočtené hodnoty. Sloupcový ukazatel slouží k zobrazení měřených tlaků v dýchacích cestách v rozmezí od -30 do 130 cmH₂O. Dvě LED diody, "trigger" a "pause", informují obsluhu při každé aktivaci spouštěče pacienta („trigger“), resp. při nástupu inspirační prodlevy "plateau". Doba svícení LED odpovídá skutečnému času plateau. Plateau je identifikováno tehdy, když je naměřený pokles tlaku v čase menší než 1 cmH₂O/s.

Okamžité ventilační parametry pacienta – Tyto parametry mohou být měřeny při každém dechu a následně číselně zobrazeny.

Informace o tlacích:

P_{peak} – špičkový tlak dosažený během celého dechového cyklu je vyhodnocen k začátku dalšího inspiria. Často značené v literatuře jako PIP (Peak Inspiratory Pressure).

P_{mean} – ukazuje střední tlak předchozích osmi dechů a je po každém dechu nově vyhodnocen.

P_{pause} – konečný inspirační tlak plateau je vyhodnocen v případě, že nastane skutečné plateau.

PEEP – pozitivní tlak na konci výdechu nebo kontinuální přetlak v dýchacích cestách.

Informace o frekvenci:

f_{total} – celková dechová frekvence, tj. počet spontánních a řízených dechů během osmi cyklů přepočtených na 1 minutu; vyhodnocuje se po každém dechu.

f_{spont} – počet spontánních dechů během předchozích osmi cyklů, přepočtených na 1 minutu; vyhodnocuje se po každém dechu.

Informace o objemu:

$V_{\text{T vent}}$ – inspirační dechový objem, je měřen ve ventilátoru a zobrazen na začátku dalšího dechového cyklu.

$V_{\text{T exp}}$ – expirační dechový objem měřený průtokovým senzorem, zobrazený na začátku dalšího vdechového cyklu; protože toto měření probíhá blízko pacienta, výsledné nepřesnosti vyvolané kompresním objemem dovolují zpětné vyhodnocení těsnosti systému.

$V_{\text{exp/min}}$ – expirační minutový objem (minutová ventilace), vypočtený jako suma expiračních objemů (spontánních nebo řízených) za 1 minutu; po každém dechu se nově vyhodnocuje.

Informace o průtoku, časech a koncentraci O_2 :

Insp Flow – maximální inspirační průtok během jednoho dechu. Je vyhodnocen v litrech za minutu.

Oxygen – $F_{I}O_2$, frakce kyslíku v inspirační směsi (%) měřená přímo před inspiračním výstupem pro připojení pacienta.

$t_{exp\ pat}$ – skutečný expirační čas v sekundách; je definován jako čas mezi začátkem expirace a dosažením poklesu průtoku na hladinu 5 % špičkového expiračního průtoku.

I:E – poměr mezi délkami trvání inspirační a expirační částí dechového cyklu, vyjádřený formou 1:X.

Informace o plicní mechanice:

C – statická plicní poddajnost; je počítána z exspirovaného objemu a plateau tlaku; hodnota poddajnosti může být počítána pouze tehdy, je-li prováděna ventilace s inspirační prodlevou (svítí LED dioda "pause").

R_{insp} – inspirační odpor; tento odpor představuje dynamický odpor okruhu, endotracheální rourky a dýchacích cest; tento parametr není vyhodnocen při volbě sinusoidálního a degresivního průtoku a při spontánní ventilaci.

R_{exp} – expirační odpor; tento odpor představuje dynamický expirační pokles tlaku v okruhu, a to včetně expiračního ventilu, endotracheální rourky a dýchacích cest pacienta; tento parametr je vyhodnocován během spontánní ventilace.

Informace o trendech:

Všechny parametry vhodné pro trendovou analýzu mohou být uchovány a vyhodnoceny. Tyto parametry jsou označeny symbolem "T" v pravém horním rohu tlačítka. Jsou to: plicní poddajnost, spontánní dechová aktivita, inspirační odpor, expirační odpor a exspirovaný minutový objem.

Během normálního používání vyhodnocuje patientský monitor okamžité hodnoty dech od dechu. Trend je vyvolán stisknutím příslušného tlačítka a následné volby 15 min nebo 2 hod trendového tlačítka. Trend je zobrazen během 10 s, následně jsou zobrazeny hodnoty okamžité. Když je navolen parametr, který není trendově sledován, je vždy zobrazena okamžitá hodnota.

POUŽITÉ PŘÍSTROJE A POMŮCKY

- Plicní ventilátor Veolar (Hamilton Medical, USA)

- Testovací plíce pro umělou plicní ventilaci (Michigan Instruments 5600i, ASL 5000, test lung).

ZÁVĚR

Shrňte své poznatky z úlohy a vyjádřete se k následujícím bodům.

Vliv V_t na minutovou a alveolární ventilaci:

Pokud je udržována konstantní minutová ventilace, dochází se snížením dechového objemu a nárůstem frekvence ventilace ke snížení alveolární ventilace. Tato závislost je dána anatomickým mrtvým prostorem respiračního systému, který se odečítá od dechového objemu při výpočtu alveolární ventilace.

Co znamená zkratka PEEP a jaký má význam při ventilaci:

PEEP je zkratka sousloví „positive end expiratory pressure“. Jedná se o pozitivní tlak na konci výdechu, který zabraňuje kolapsu plic. Běžná inicializační hodnota je 4-5 cmH₂O. Pokud to vyžaduje stav pacienta. Dochází k jeho navýšení.

Co znamená symbol P_{peak} a jaký má význam při ventilaci:

Symbol P_{peak} značí špičkový tlak ve ventilačním okruhu (peak inspiratory pressure). Obecně je snahou tento tlak minimalizovat, aby bylo minimalizováno riziko poškození plic vysokým tlakem.

Jmenujte základní mechanické parametry plic a uveďte jejich jednotky:

Mezi základní mechanické parametry plic patří průtočný odpor dýchacích cest a alveolární poddajnost. Jednotkou průtočného odporu je kPa.s/L a jednotkou alveolární poddajnosti je L/kPa.

Popište rozdíl mezi objemově a tlakově řízenou ventilací:

U objemově řízené umělé plicní ventilace je primárním cílem udržení dechového objemu. Při zvýšení průtočného odporu dýchacích cest nebo snížení poddajnosti plic dochází k navýšení

ventilačního tlaku s čímž je spojené větší riziko adversních efektů ventilace.

U tlakově řízené ventilace je určen špičkový (maximální) tlak ve ventilačním okruhu. Při změně mechanických parametrů plic dochází ke změně dechového objemu s rizikem nedostatečné ventilace subjektu.

LITERATURA

- [6.1] Wesbter, J.G. ed. Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation. Wiley.
[online]. c1999-2009, poslední aktualizace 17. 8. 2008 [cit. 2009-05-12]. Dostupné z
WWW: <http://mrw.interscience.wiley.com/emrw/9780471732877/home/>
- [6.2] Hamilton Medical: Veolar – Operator’s Manual. Hamilton Medical AG, Rhaezuens,
1993.
- [6.3] Roubík, K., Rožánek, M., Grünes, R. Praktika z biomedicínské a klinické techniky 4.
České vysoké učení technické v Praze, 2008. 122 s. ISBN 978-80-01-04023-2.