



České vysoké učení technické  
v Praze  
Fakulta biomedicínského inženýrství



Úloha KA02/č. 7:

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

Ing. Martin Rožánek, Ph.D.  
(rozane@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

## 7. Využití patientského simulátoru a simulátorů dýchání v oblasti ventilační techniky

### OBSAH A CÍL MĚŘENÍ

Cílem této úlohy je seznámit čtenáře s umělou plicní ventilací. Konkrétní možnosti budou předvedeny na přístroji Veolar od firmy Hamilton (Obr. 7.1). Jedná se o typický ventilátor, který je zástupcem konvenční umělé plicní ventilace. V rámci měření se seznámíte



s řídicím a monitorovacím panelem, a také s alarmy, které hlídají základní parametry použité při ventilaci pacienta.

Obr. 7.1: Konvenční ventilátor VEOLAR od společnosti Hamilton Medical.

### Ventilační režimy

Po zapnutí přístroje je nutné zvolit ventilační režim. Volba režimu se provádí podržením tlačítka se jménem ventilačního režimu v levé části řídicího panelu. Ventilátor Hamilton podporuje následující ventilační režimy:

- (S)CMV – (Synchronized) Controlled Mechanical Ventilation
- SIMV – Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation

- Spont – **S**pontaneous Support
- MMV – **M**inimum **M**inute **V**entilation
- PCV – **P**ressure **C**ontrolled **V**entilation

### ***Ventilační režim (S)CMV***

(Synchronized) **C**ontrolled **M**echanical **V**entilation – Synchronizovaná řízená mechanická ventilace je základní režim umělé plicní ventilace. Plně zastupuje dechovou činnost pacienta. To znamená, že ventilátorem je řízen každý dech. Frekvence dechu je nastavována obsluhou, nebo je řízena pacientem (asistovaná ventilace) v případě nastavení triggeru.

V tomto režimu je možné nastavit následující parametry označené svítícími body:  $f_{CMV}$  – ventilační frekvence,  $V_T$  – dechový objem, I:E – relativní délka inspiria a expiria, Flow Pattern – tvar inspirační křivky, Pressure Trigger – tlakový spouštěč, PEEP – end-expirační přetlak, Oxygen – frakce kyslíku v inspirační směsi, Flow Trigger – průtokový spouštěč.

Synchronizování ventilátoru s dechovou aktivitou pacienta je možné jen při aktivaci některého ze spouštěčů (Pressure Trigger nebo Flow Trigger).

### ***Ventilační režim SIMV***

Synchronized **I**ntermittent **M**andatory **V**entilation – Synchronizovaná intermitentní zástupová ventilace je ventilační režim, který umožňuje dva typy dechů: spontánní a asistovaný (řízený). Spontánní dechy jsou detekovány ventilátorem, který po rozpoznání dechové aktivity pacienta otevře inspirační ventil. Druhým typem dechů jsou tzv. synchronizované zástupové dechy, které jsou podle dechové frekvence pacienta synchronizovány jeho inspiračním úsilím, nebo mají charakter plně kontrolovaných dechů.

V tomto režimu je možné nastavit následující parametry označené svítícími body:  $f_{CMV}$  a  $f_{SIMV}$  – ventilační frekvence,  $V_T$  – dechový objem, I:E – relativní délka inspiria a expiria, Flow Pattern – tvar inspirační křivky, Pressure Trigger – tlakový spouštěč, PEEP – end-expirační přetlak, CPAP – tlaková podpora (Continuous Positive Airway Pressure), Oxygen – frakce kyslíku v inspirační směsi, Flow Trigger – průtokový spouštěč.

### ***Ventilační režim spontánního dýchání (SPONT)***

Tento pracovní režim je určen pro pacienty se spontánní dechovou aktivitou a slouží k její podpoře a zefektivnění. VEOLAR nabízí následující možnosti podpory: dodávka

kyslíkem obohaceného vzduchu, kontinuální přetlak v dýchacích cestách (CPAP) a inspirační asistence (tlaková podpora). V tomto pracovním režimu funguje ventilátor jako "DEMAND" systém a obstarává pacientovi potřebný příkon plynů při předvolených tlakových hodnotách CPAP nebo inspirační asistence. Proud je řízen tak, aby byl zajištěn dostatečně dlouhý výdech. Při tomto provozním režimu určuje pacient žádaný dechový objem i dechovou frekvenci s tím, že jsou nastaveny hodnoty přetlaku inspirační asistence. Je možné navolit "Back up" ventilaci v případě apnoe.

V tomto režimu je možné nastavit následující parametry označené svítícími body: Pressure Trigger – tlakový spouštěč, CPAP – tlaková podpora (Continuous Positive Airway Pressure), Oxygen – frakce kyslíku v inspirační směsi, Flow Trigger – průtokový spouštěč.

### ***Ventilační režim MMV***

**Minimum Minute Ventilation** – minimální minutová ventilace. V tomto novém ventilačním režimu dochází ke spontánnímu dýchání s automatickou inspirační asistencí, jejíž tlaková hodnota je volena přímo ventilátorem. Při MMV dostává pacient, je-li třeba, dechovou podporu na úrovni inspirační asistence, nikoliv však dechy řízené. MMV zajišťuje minutovou ventilaci pacienta automaticky na úrovni předvolené minutové ventilace.

V tomto režimu je možné nastavit následující parametry označené svítícími body: Pressure Trigger – tlakový spouštěč, CPAP – tlaková podpora (Continuous Positive Airway Pressure), Oxygen – frakce kyslíku v inspirační směsi, Flow Trigger – průtokový spouštěč, MMV – minimální minutová ventilace – nastavuje se pomocí tlačítek  $\wedge$   $\vee$  a následného stisknutí tlačítka YES na panelu Alarm. Jak u SIMV či Spont, musí být i zde trigger nastaven optimálně. Jestliže je trigger vypnut, přístroj automaticky spustí alarm.

Během prvních dechů může pacient dýchat tak, jak to odpovídá nastavené inspirační asistenci. Ventilátor porovnává objem prvních osmi dechů pacienta přepočtem na minutu s nastavenou MMV hodnotou. Při odchylce minutové ventilace od nastavené hodnoty je zavedeno vyrovnávání deficitu prostřednictvím navýšení tlakové podpory. Změna tlakové podpory je prováděna postupně krok po kroku a je závislá na velikosti rozdílu skutečné a požadované minutové ventilace.

V průběhu MMV vyhodnocuje ventilátor vždy posledních 8 dechů a přepočítává jejich objem na očekávaný objem minutový. Tento automatický regulační postup funguje do limitu 3 kPa nad CPAP a do 5 kPa absolutně. V případě alarmu se drží inspirační tlaková podpora konstantní, dokud se nevyjasní a neodstraní příčina alarmu.

Ventilátor během režimu MMV reaguje vždy na nastavení inspirační asistence ( $P_{\text{insp}}$ ). Zadává se jak počáteční hodnota, tak i hodnota minimální. Skutečně aplikovaná tlaková podpora může být vyšší než nastavená, a to v případě zavedení distenzní léčby. Uživatel může hladinu nastavené tlakové podpory vypočítat z difference mezi měřeným maximálním tlakem a hodnotou CPAP.

### ***Režim tlakově řízené ventilace PCV***

U režimu PCV (Pressure Control Ventilation – tlakově řízená ventilace) jsou řídicími veličinami inspirační tlak a čas. V CMV a SIMV je rozhodujícím parametrem dechový objem ( $V_T$ ). Tlakový limit při CMV je nastavitelný až k hodnotě 99 cm H<sub>2</sub>O. Během PCV cyklu je počáteční proudění poměrně vysoké, dochází tak k rychlému vzestupu tlaku k přednastavené hodnotě. Následně je proudění regulováno tak, aby inspirační tlak byl v dalším průběhu konstantní. Nastavení poměru I:E, stejně jako inspiračního plateau a expiračního času, je stejné, jako při (S)CMV nebo SIMV.

Během objemově řízeného dechu (CMV nebo SIMV) je tok plynů řízen tak, aby předurčený objem byl dodán v určeném časovém intervalu v daném předurčeném proudovém profilu. Výsledný tlak je veličinou proměnnou a závisí jak na plicní poddajnosti, tak na odporu dýchacích cest a tracheální rourky.

Při tlakově řízené ventilaci (PCV) dochází ke střídání tlaků tak, aby bylo dosaženo předurčeného inspiračního času. Dechový objem není předem určen a závisí na mnoha faktorech, mimo jiné na tlakovém gradientu, vrcholovém proudění, proudové charakteristice dechu a v neposlední řadě na poddajnosti respirační soustavy a odporu dýchacích cest. PCV je podobná inspirační asistenci s tím rozdílem, že PCV zohledňuje průběh tlaku v čase. Tlakově řízená ventilace může být použita jako klasická ventilace řízená ventilátorem (PCMV), nebo potom v režimu SIMV (PSIMV), kde určuje charakteristiku řízeného dechu.

PCV-SIMV je režimu SIMV velmi podobná. Je charakteristická nastavením určitého počtu tlakově řízených dechových cyklů s časovým řízením průběhu. Tyto dechy jsou synchronizovány pomocí spouštěče se spontánní dechovou aktivitou pacienta. Mezi těmito dechy může pacient spontánně dýchat.

Spontánní dechy mohou probíhat v režimu dýchání při trvalém přetlaku či inspirační asistenci až k přetlakové hladině 50 cm H<sub>2</sub>O (podle tlakového limitu).

Pro režim PCMV je možné nastavit následující parametry označené svítilkami body:  $f_{\text{CMV}}$  – ventilační frekvence, PCV – tlak, I:E – relativní délka inspira a expira, Pressure

Trigger – tlakový spouštěč, PEEP – end-expirační přetlak, Oxygen – frakce kyslíku v inspirační směsi, Flow Trigger – průtokový spouštěč.

Pro režim PSIMV je možné nastavit následující parametry označené svítícími body:  $f_{SIMV}$ ,  $f_{CMV}$  – ventilační frekvence, PCV – tlak, I:E – relativní délka inspira a expira, Pressure Trigger – tlakový spouštěč, PEEP – end-expirační přetlak, CPAP, Oxygen – frakce kyslíku v inspirační směsi, Flow Trigger – průtokový spouštěč.

## ÚKOLY MĚŘENÍ

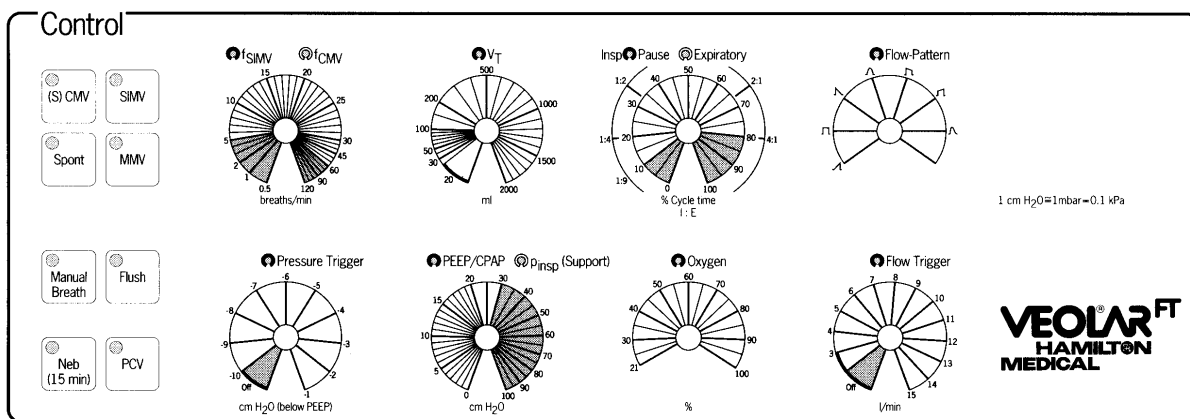
- 1) Spočítejte minutovou ventilaci pro různé kombinace hodnot frekvence ventilace a dechového objemu, které lze nastavit na ventilátoru Veolar. Uvažujte anatomický mrtvý prostor dospělého člověka v hodnotě přibližně 160 ml. Pro výše zmíněné kombinace spočítejte alveolární ventilaci a porovnejte ji s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

## POSTUP MĚŘENÍ

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

### Parametry ventilace

Přední panel ventilátoru Hamilton je rozdělen na tři základní části: ovládací ("Control" panel), monitorovací ("Patient Monitor") a část s alarmy ("Alarm" panel). Na části ovládací (Obr. 7.2) se nastavují parametry, které určují charakter samotné ventilace.



Obr. 7.2: Řídicí panel ventilátoru.

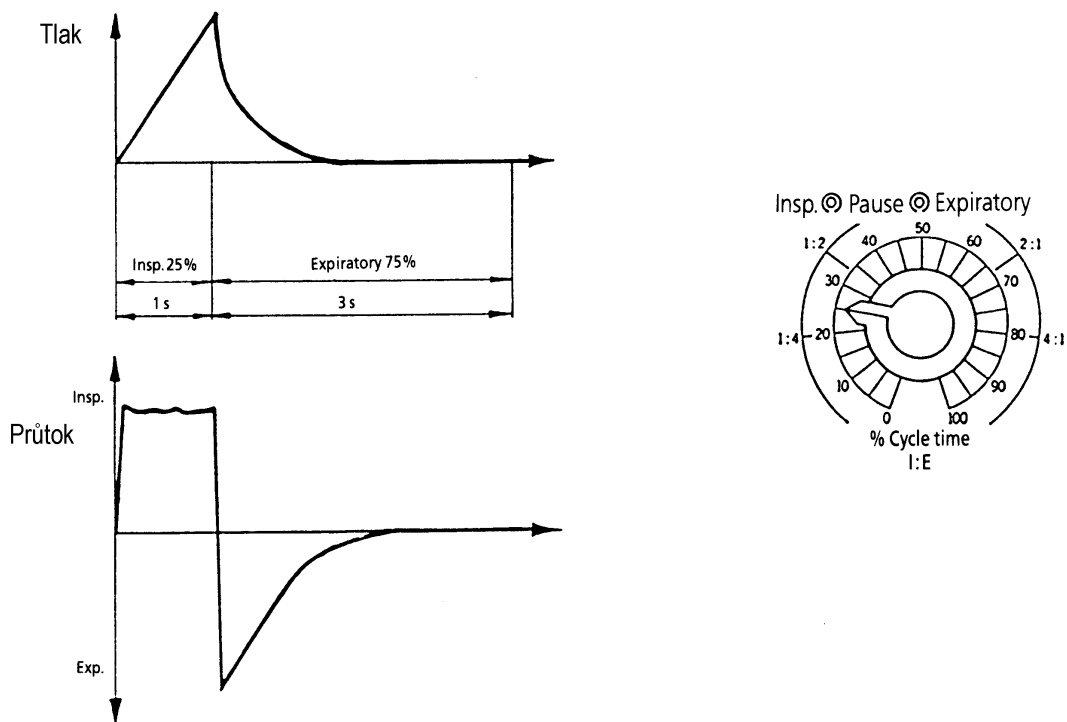
Na kontrolním panelu se nastavují jednotlivé parametry umělé plicní ventilace:

- 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 inspiria a expiria (I:E) - jsou určeny frekvencí řízeného dýchání a poměrem doby inspiria a expiria I:E (%). Procentuální nastavení cyklu určuje poměr mezi inspiriem a expiriem. Toto nastavení dělí celý dechový cyklus (100 %) na fázi inspirační a expirační.

Obr. 7.3 ukazuje typickou tlakovou a průtokovou křivku pro určité nastavení poměru I:E. Světlý knoflík určuje začátek expirace, a tím také I:E poměr. Jestliže se horní knoflík nastaví na 25 %, je stupnice rozdělena na dvě nestejně velké Insp/Exsp 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 světlým knoflíkem.

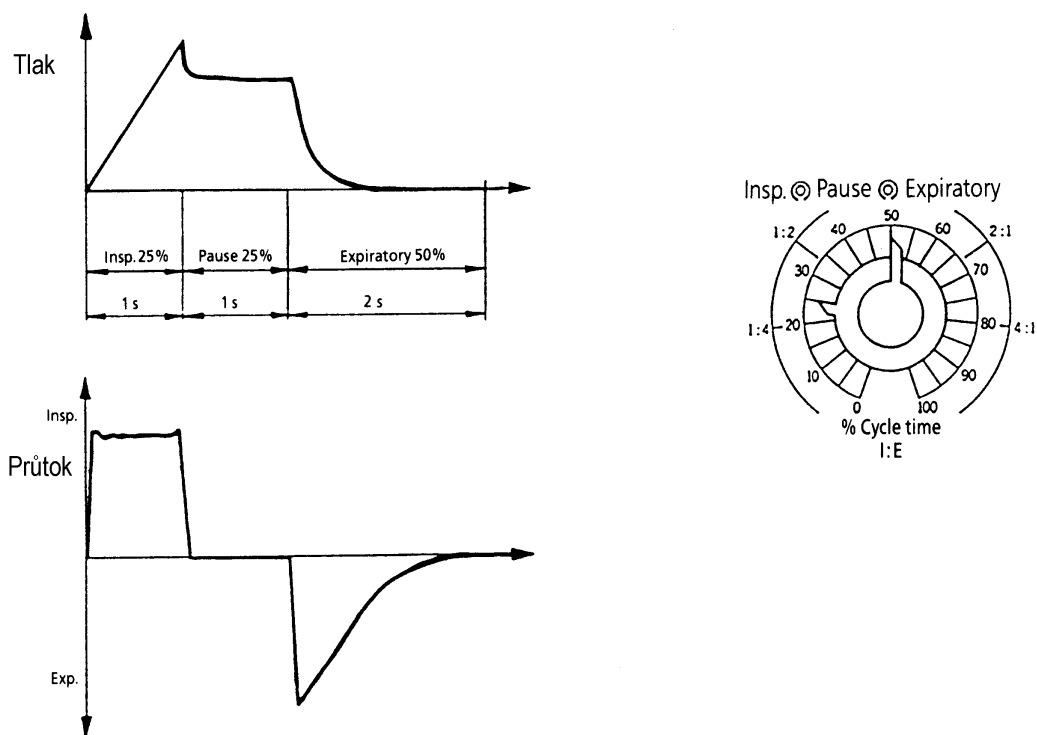


Obr. 7.3: Nastavení poměru I:E.

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 inspirium a tři sekundy trvá expirium.

- 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. 7.4 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 expirium.





Obr. 7.4: Nastavení času inspirační prodlevy.

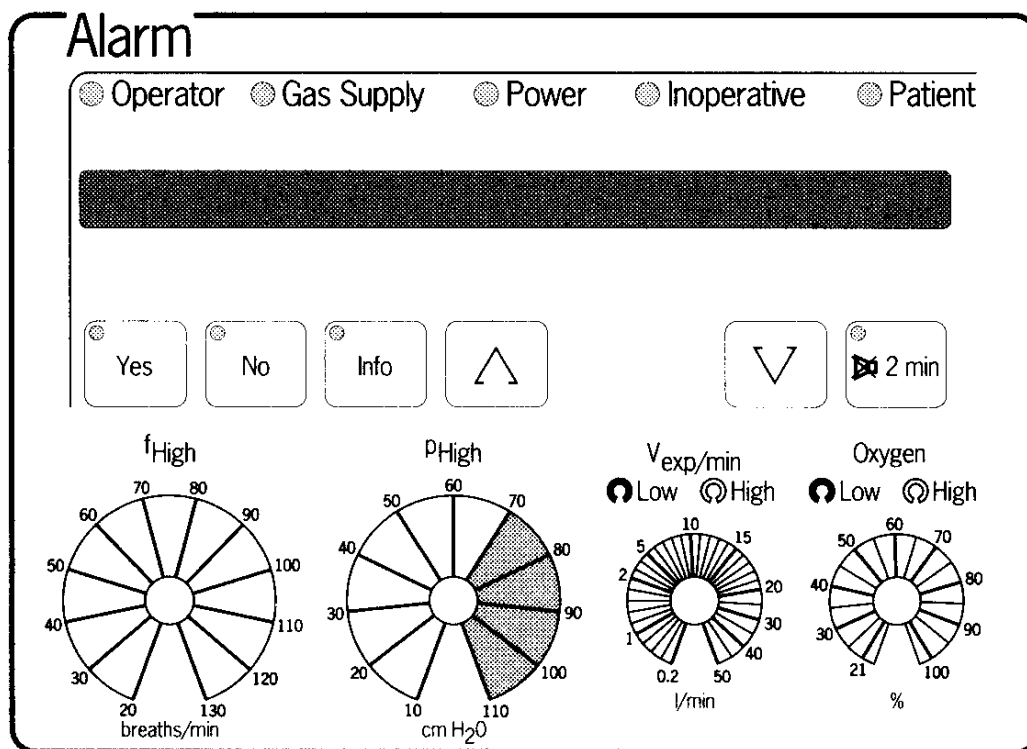
- charakteristiku proudění v inspiriu - uživatel může volit mezi sedmi definovanými charakteristikami proudění v době inspira: progresivní, konstantní, degresivní, sinusoidální, 50 % degresivní, 50 % progresivní a modifikovaný sinusoidální. Jejich názvy jsou odvozeny od tvaru průtokové křivky v době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

### ***Zálohový ventilační režim pro případ apnoe – Apnoe Back Up ventilace***

VEOLAR nabízí uplatnění této funkce v SIMV, Spont nebo MMV pracovním režimu, nikoliv však v režimu tlakově řízené ventilace. 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. Tato zálohová ventilace je navolena spínačem na panelu speciálních funkcí. Tento spínač lze užít jen v první sekundě po zapnutí ventilátoru.

### **Panel pro ovládání alarmů**

Panel pro ovládání alarmů umožňuje rychle detekovat závažnou 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. 7.5.

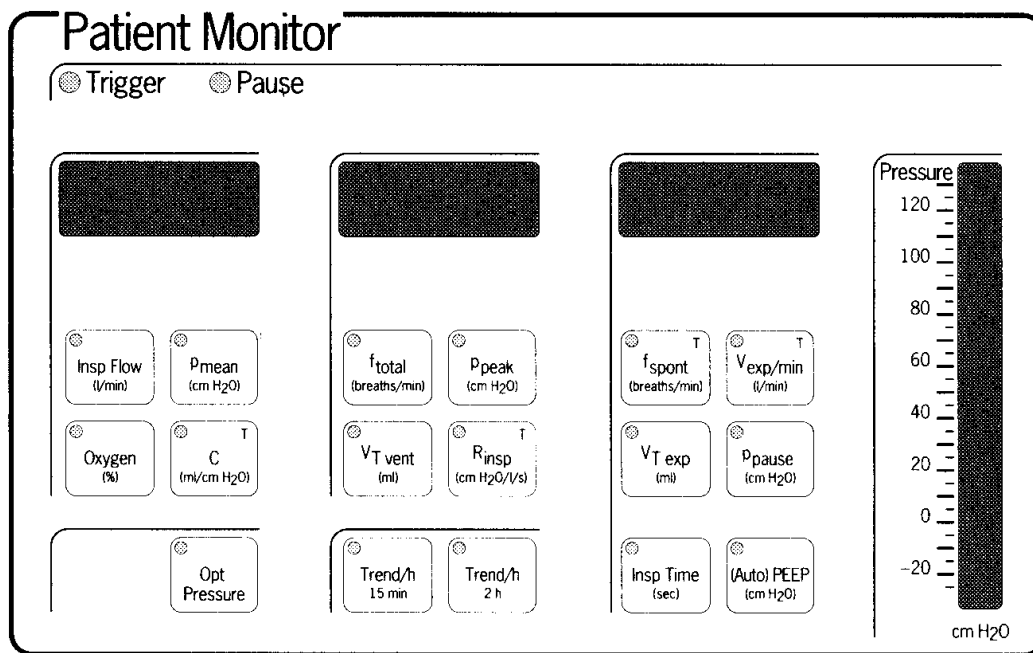


Obr. 7.5: Panel pro ovládání alarmů.

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 min. Potenciometry umožňují nastavit: maximální povolenou dechovou frekvenci (po překročení této hodnoty je aktivován alarm), maximální povolený tlak v dýchacích cestách (s aktivací alarmu při překročení), povolenou minimální a maximální minutovou ventilaci (po vybočení skutečné hodnoty minutové ventilace mimo tento interval je aktivován alarm), povolenou minimální a maximální koncentraci kyslíku (opět s aktivací alarmu při vybočení).

### Pacientský monitor

Tento panel (Obr. 7.6) se nachází v levé horní části předního panelu ventilátoru. Ukazuje aktuální stav ventilace pacienta. Důležitou informací je, že tento panel pracuje nezávisle na ventilátoru. Má 3 ukazatele, přičemž mohou být současně zobrazeny 3 hodnoty, vybrané stlačením příslušných tlačítek. Dohromady lze získat informaci o 14 parametrech.



Obr. 7.6: Pacientský monitor.

Zobrazené parametry jsou okamžité změřené hodnoty. Sloupcový ukazatel slouží k zobrazení měřených tlaků v dýchacích cestách v rozmezí od -30 do 130 cm H<sub>2</sub>O. Dvě LED diody, "trigger" a "plateau", informují obsluhu při každé aktivaci spouštěče pacienta, resp. při nástupu inspirační prodlevy "plateau". Doba svícení LED odpovídá skutečnému času plateau. Plateau je identifikováno tehdy, když naměřený pokles tlaku je menší než 1 cm H<sub>2</sub>O/s.

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

**Informace o tlacích:**

**P<sub>peak</sub>** – špičkový tlak dosažený během celého dechového cyklu je vyhodnocen k začátku dalšího inspira

**P<sub>mean</sub>** – ukazuje střední tlak předchozích osmi dechů a je po každém dechu nově vyhodnocen.

**P<sub>pause</sub>** – konečný inspirační tlak plateau je vyhodnocen v případě, že nastane skutečné plateau.

**PEEP** – pozitivní end-expirační přetlak nebo kontinuální přetlak v dýchacích cestách.

### ***Informace o frekvenci:***

$f_{\text{total}}$  – celková dechová frekvence, tj. počet spontánních a řízených dechů během 8 cyklů přepočtených na 1 minutu; vyhodnocuje se po každém dechu.

$f_{\text{spont}}$  – 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.

$t_{\text{exp pat}}$  – 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 plateau LED).

$R_{\text{insp}}$  – 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.

$R_{\text{exp}}$  – 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 expirovaný 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.

Trendová hodnota udává relativní změnu vyhodnoceného parametru během 15 min nebo 2 hodin.

## **Minutová a alveolární ventilace**

	$f = 12 \text{ d/min,}$ $V_t = 0,625 \text{ L}$	$f = 15 \text{ d/min}$ $V_t = 0,5 \text{ L}$	$f = 18 \text{ d/min}$ $V_t = 0,425 \text{ L}$
Minutová ventilace [L/min]			
Alveolární ventilace [L/min]			

## **POUŽITÉ PŘÍSTROJE A POMŮCKY**

- Plicní ventilátor Veolar (Hamilton)
- Testovací plíce pro umělou plicní ventilaci (ASL 5000, Michigan Instruments 5600i)

## ZÁVĚR

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

**Vliv  $V_t$  na minutovou a alveolární ventilaci:**

**PEEP a jeho význam při ventilaci:**

**PIP a jeho význam při ventilaci:**

**Mechanické parametry R,C:**

**Shrňte své znalosti o druzích ventilačních režimů:**

## LITERATURA

- [1] Webster, 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/>
- [2] Hamilton Medical: Veolar – Operator's Manual. Hamilton Medical AG, Rhaezuens,  
1993.