

Trojhladinová ventilácia pľúc (3LV® – 3 level ventilation) – prvé klinické skúsenosti

Török Pavol, Šalantay Ján, Čandík Peter, Drbjáková Eva, Saladiak Stanislav, Göryová Jana, Popadák Ján, Lakatoš Ivan

OAİM, Vranovská nemocnica n.o., Vranov nad Topľou, Slovenská republika

Souhrn

Cieľ práce: Vyskúšať, či pri výrazne nehomogénnej distribúcii plynov v ťažko patologicky postihnutých pľúcach je možné trojhladinovou UVP zlepšiť distribúciu plynov do tzv. pomalých bronchoalveolárnych kompartmentov pri znížení objemového zaťaženia tzv. rýchlych kompartmentov a zlepšiť výmenu plynov v pľúcach pri zachovaní zásad „netraumatizujúcej ventilácie“.

Názov a sídlo pracoviska: Oddelenie anesteziológie a intenzívnej medicíny.

Materiál a metóda: Autori aplikovali v skupine 12 pacientov s nehomogénnym pľúcny postihnutím trojhladinovú umelú ventiláciu pľúc. Trojhladinovú ventiláciu definujú ako spôsob (modifikáciu) UVP, pričom základnú hladinu ventilácie tvorí ventilačný režim CMV, PCV alebo PS (ASB) a nadstavbu, tzv. ventiláciu na pozadí tvoria dve hladiny PEEP. PEEP (konštantný) a PEEPh (PEEP high) s meniteľnou frekvenciou a trvaním (striedaním) prechodu medzi jednotlivými hladinami PEEP.

Výsledky: U 12 pacientov s ťažkým nehomogénnym poškodením pľúc (atypická pneumónia a ARDS/ALI) zaviedli po málo úspešnej ventilácii v režime PCV, po recruitment manévri ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 = 5\text{--}6$ kPa), trojhladinovú ventiláciu pľúc (3LV). Po zavedení 3LV s frekvenciou $f_{\text{PCV}} = 26 \pm 4$ d . min⁻¹ a PEEPh s frekvenciou $f_{\text{PEEPH}} = 7 \pm 2$ d . min⁻¹ pri dosiahnutej minútovej ventilácii $\text{MV} = 12 \pm 4$ l . min⁻¹ nastali počas 1–4 hodín výrazne pozitívne zmeny vo výmene plynov v pľúcach. Pri porovnaní zmien po zavedení 3LV došlo k zníženiu pľúcneho skratu z $50 \pm 5\%$ na hodnoty okolo $30 \pm 5\%$. Zvýšila sa eliminácia CO_2 s poklesom PaCO_2 na hodnoty pod $6 \pm 0,3$ kPa oproti pôvodnej hodnote $7,8 \pm 0,5$ kPa a stúplo PaO_2 na hodnoty $7,5 \pm 1,2$ kPa oproti pôvodnej hodnote $5,4 \pm 0,4$ kPa, pri znížení FiO_2 na $0,8\text{--}0,4$ ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 = 5,5$ vs. 13 kPa). Recruitment pľúc pôsobením PEEP = $1,2 \pm 0,4$ kPa, prejavujúci sa aj zvýšením statickej poddajnosti C_{st} z hodnôt $0,18 \pm 0,02$ l/kPa na $0,3 \pm 0,02$ l/kPa a neskôr až $0,38 \pm 0,05$ l/kPa, prispel k zlepšeniu výmeny plynov. Odpor dýchacích ciest (Raw) klesol o viac ako 30 %. Zlepšenú aeráciu pľúc hodnotia autori ako prejav aj zlepšenej distribúcie plynov do oblastí s dlhou časovou konštantou. Pacienti boli prevedení po 5 ± 1 dňoch na ventilačný režim PS, s postupným znižovaním ventilačnej podpory boli odpojení od ventilátora a preložení na základné oddelenie.

Záver: Napriek malému súboru klinické výsledky prinajmenšom podporujú výsledky teoretickej matematickej simulácie 3LV v matematickom a fyzikálnom modeli. 3LV zlepšila výmenu plynov v pľúcach v porovnaní s PCV aplikovanej počas prvých 2–4 hodín UVP a môže tak byť nádejným spôsobom pre ventiláciu pľúc postihnutých difúznym nehomogénnym patologickým procesom.

Kľúčové slová: UVP – trojhladinová UVP – ARDS – ALI

Abstract

Tri-level pulmonary ventilation (3LV®) – initial clinical experience

Objective: To test whether in cases of considerably non-homogenous gas distribution in acute pathological lung conditions it is possible to improve gas distribution into slow broncho-alveolar compartments while decreasing the volume load of the fast compartments, and to improve gas exchange in the lungs while sustaining the principles of “non-injurious ventilation“, by using tri-level (3LV) IPPV.

Setting: Department of Anaesthesiology and Intensive Care Unit.

Materials and methods: Authors applied 3LV ventilation to a group of 12 patients with non-homogenous lung injury. Tri-level ventilation is defined as a type (modification) of IPPV consisting of background ventilation using the CMV, PCV or PS (ASB) ventilation mode and an added level called “on-background ventilation“ consisting of multiple levels of PEEP: PEEP (constant) and PEEPh (PEEP high) with variable frequency and duration of transition between individual levels of PEEP.

Results: The study population consisted of 12 patients with severe non-homogenous lung injury/disorder (atypical pneumonia and ARDS/ALI) who failed to achieve successful ventilation in the PCV mode after a recruitment manoeuvre ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 = 5\text{--}6$). After the application of 3LV with respiratory rate of $f_{\text{PCV}} = 26 \pm 4$ b . min⁻¹ and PEEPh with frequency of $f_{\text{PEEPH}} = 7 \pm 2$ b . min⁻¹ reaching minute ventilation (MV) of 12 ± 4 b . min⁻¹, a considerable improvement in gas exchange was observed within 1–4 hours. Pulmonary shunt decreased from $50 \pm 5\%$ to approx. $30 \pm 5\%$. Elimination of CO_2 improved from $7,8 \pm 0,5$ kPa to less than $6,0 \pm 0,3$ kPa and PaO_2 increased from $5,4 \pm 0,4$ kPa to $7,5 \pm 1,2$ kPa while FiO_2 could be reduced to $0,8\text{--}0,4$. Alveolar recruitment due to PEEP of $1,2 \pm 0,4$ kPa which was manifested by an increase in static compliance C_{st} from $0,18 \pm 0,02$ l/kPa to $0,3 \pm 0,02$ l/kPa and later on $0,38 \pm 0,05$ l/kPa helped to improve gas exchange. Airway resistance (Raw) decreased by more than 30%. The improved aeration of the lungs is considered to be a manifestation of improved gas distribution to the areas with a long time constant. Patients were weaned to pressure support ventilation in 5 ± 1 and later successfully weaned off the ventilator and transferred to a standard ward.

Conclusions: The clinical results support the mathematical and physical simulation results of ventilation using 3LV. The authors conclude that 3LV improved pulmonary gas exchange compared to PCV in 2–4 hours. Tri-level ventilation could be a promising ventilatory mode for the lungs affected by a diffuse non-homogeneous pathological process.

Keywords: IPPV – tri-level IPPV – ARDS – ALI

Anest. intenziv. Med., 19, 2008, č. 2, s. 105–109.

Úvod

Po matematickom a fyzikálnom modelovaní viachladinovej umelej ventilácie pľúc (MLV – multilevel ventilation) [1] bola trojhladinová ventilácia (3LV) integrovaná do servoventilátora Chirolog SV Alfa+C (Chirana) a po technických skúškach v súlade s normami EN STN, pripravená na klinické použitie [2].

Trojhladinovú ventiláciu môžeme definovať ako režim umelej ventilácie pľúc (UVP) na troch programovateľných hladinách tlaku (PEEP, PEEPh, Ppc, respektive Pps) [1, 2], pričom aj striedanie tlakových hladín a trvanie pôsobenia tlakových hladín v pľúcach je po nastavení obsluhou riadené softvérom ventilátora. Programované parametre sú kompatibilné aj so spontánnym dychovým úsilím pacienta.

Materiál a metodika

Po prvých skúsenostiach s ventiláciou nepostihnutých pľúc sme aplikovali 3LV u 4 pacientov s výraznou nehomogenitou distribúcie plynov pri obojstrannom pľúcnom poškodení závažného charakteru. Všetci štyria pacienti mali na RTG pľúc splývavé, viac či menej homogénne zatienenie dolných 2/3–3/4 oboch pľúcnych polí, spojené s respiračnou insuficienciou, až zlyhaním, vyžadujúcim okamžité riešenie zavedením UVP. U dvoch pacientov sa jednalo o atypickú pneumóniu, u jedného o masívny edém pľúc spojený s hypostatickou pneumóniou a u jedného ALI/ARDS po polytraume so závažným hemoragicko-traumatickým šokom. Demografické údaje a údaje o diagnózach sú v tabuľkách 1 a 2.

Dvaja pacienti boli už intubovaní a privezení na OAIM, u dvoch sme indikovali orotracheálnu intubáciu a UVP ihneď pri prijatí. Všetci pacienti boli prvých 48–72 hodín sedovaní (GCS 5–6) midazolamom v dávke 0,025–0,085 mg . kg⁻¹ . hod⁻¹ a fentanylom v dávke 0,3–0,75 ug . kg⁻¹ . hod⁻¹ kontinuálnou aplikáciou a pripojení na ventilátor Chirolog SV alfa+C (Chirana) v režime PCV. Nastavenie ventilačných parametrov sme robili podľa princípov „netraumatujujúcej ven-

Tabuľka 1. Časové konštanty multikompartmentného modelu

Kompartment	τ (sek)	$3 \cdot \tau$ (sek)
K1	0,05	0,15
K2	0,1	0,3
K3	0,4	1,2
K4	1	3
K5	1,5	4,5

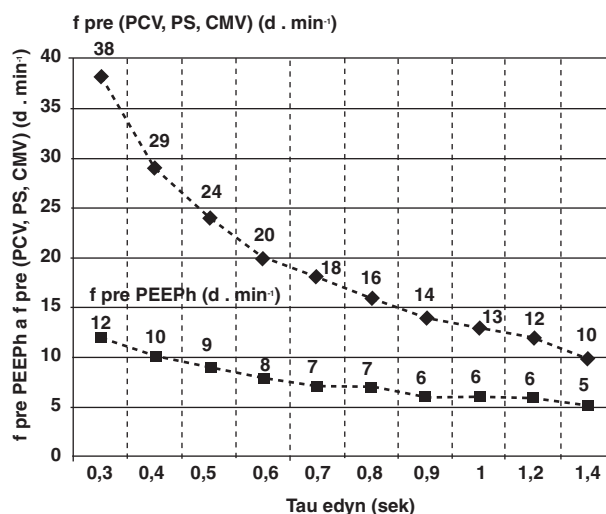
Tabuľka 2. Teoreticky optimálne frekvencie pre jednotlivé kompartmenty

Kompartmenty	$Ti = Te = 3 \cdot \tau$ (sek)	$Tcy = Ti + Te$	$f_{opt} (d \cdot min^{-1})$ $f = 60/Tcy$
K1	0,15	0,3	200
K2	0,3	0,6	100
K3	1,2	2,4	25
K4	3	6	10
K5	4,5	9	6,6

tilácie“ ($VT < 6,5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$, $f \geq 18 \text{ d} \cdot \text{min}^{-1}$, PEEP 0,08–0,1 kPa/10 kg hmotnosti, $Ti\% = 40$). $FiO_2 = 1,0$ vynútené hodnotou $PaO_2 < 5–6 \text{ kPa}$, $PaO_2/FiO_2 = 5–6 \text{ kPa}$. Odporúčané maximálne tlaky v dýchacích cestách Paw (3–3,5 kPa) nebolo možné vždy dodržať.

Počas prvých hodín sme sa snažili urobiť „recruitment pľúc“, ktorý je hlavne u pacientov s pneumóniou vždy dosť problematický. Cestou zvyšovania PEEP a kontinuálnym monitorovaním hodnôt statickej poddajnosti pľúc Cst, krivky Cst a V/P slučky, ako aj $ETCO_2$, respektive produkcie CO_2 ($VECO_2$) sme sa snažili dosiahnuť čo najvyššiu poddajnosť a zlepšenie difúznej kapacity alveolokapilárnej membrány. Adverzné účinky na hemodynamiku nám dovolili vystúpiť s PEEP len na hodnoty $1,2 \pm 0,4 \text{ kPa}$. Pre pretrvávajúce problémy s oxygenáciou (pri $FiO_2 = 1,0$) a elimináciou CO_2 sme sa rozhodli po 2–4 hodinách UVP v režime PCV aplikovať ventilačný režim 3LV.

Parametre 3LV sme nastavovali na teoreticky modelované hodnoty matematickým modelom vyhodno-



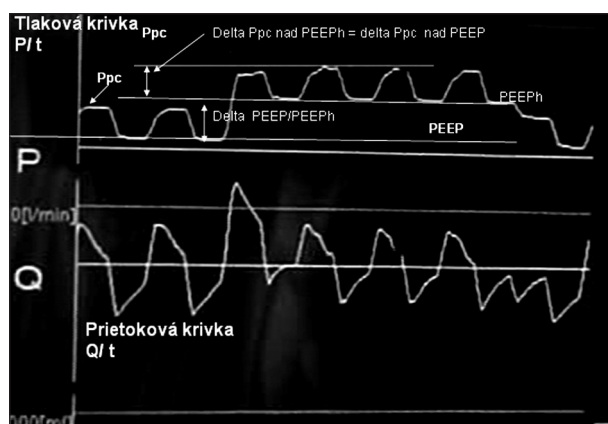
Obr. 1. Matematický model odporúčaného nastavenia frekvencií ventilácie v cykloch PCV a v cykloch PEEPh v závislosti od meranej hodnoty expiračnej časovej konštanty (τ_{edyn}) na ose „X“

cujúcim dynamickú expiračnú časovú konštantu (τ_{edyn}), ktorá je na ventilátore kontinuálne monitorovaná [3]. Grafická podoba odporúčania vygenerovaná matematickým modelom bola k dispozícii pri ventilátore, viď obr. 1.

Hodnoty frekvencie ventilácie v cykle PCV sme nastavili na $f_{\text{pcv}} = 26 \pm 4 \text{ d} \cdot \text{min}^{-1}$, hodnoty frekvencie striedania PEEPh (PEEP high) $f_{\text{peph}} = 7 \pm 2 \text{ d} \cdot \text{min}^{-1}$, so striedaním tlakov PEEP: PEEPh = 1 : 1. Tlaky Ppc a PEEPh na hodnoty nevyhnutné pre dostatočnú výmenu plynov, t. j. udržanie zvolenej minútovej ventilácie. Tlak – pressure control (Ppc) = $1,6 \pm 0,9 \text{ kPa}$, a PEEPh = $0,9 \pm 0,3 \text{ kPa}$. Pomer časov inšpiria a expíria v cykloch PCV bol nastavený $T_i : T_e = 1 : 1,5$ ($T_i\% = 40$).

Priebehy tlakovej a prietokovej krivky zobrazovanej na obrazovke ventilátora sú na obrázku 2.

U všetkých pacientov bola kanylovaná centrálna vena. Bolo zavedené monitorovanie centrálneho venózneho tlaku (CVT), EKG, SpO_2 , ETCO_2 , VECO_2 , TK, pulzovej frekvencie, teploty diurézy, pľúcnej mechaniky, časovej konštanty (τ_{edyn}), statickej poddajnosti (Cst), odporu dýchacích ciest (Raw), parametrov UVP



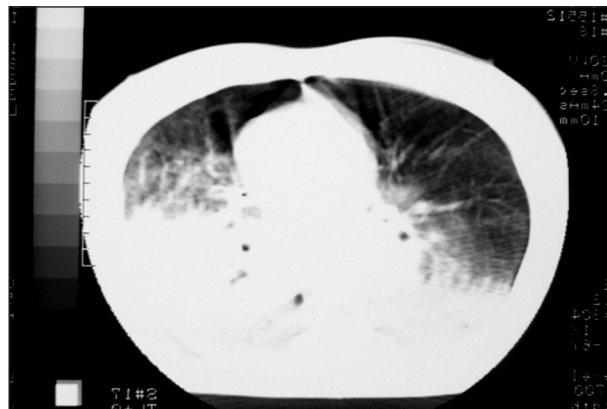
Obr. 2. Priebeh tlakovej a prietokovej krivky odfoťenej z obrazovky ventilátora
Šípkami sú znázornené hodnoty jednotlivých nastavovaných parametrov.



Obr. 3. Typický RTG nálež pred napojením na UVP

a krvných plynov. Farmakoterapia a terapia ATB bola vedená podľa základného ochorenia (obr. 3, 4, 5). Dobutamin kvôli zvýšeniu inotropie sme aplikovali v 3 prípadoch, počas prvých 48 ± 10 hodín liečby, v dávke $4,1 \pm 1,5 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hod}^{-1}$ tak, aby sme udržali stredný arteriálny tlak (MAP) nad 75–80 mm Hg.

Výsledky sme štatisticky nehodnotili, pretože sa jedná o prvé skúsenosti s ventilačným režimom 3LV a malý súbor pacientov. Priemerné hodnoty vyhodnocovaných veličín sú v grafoch.



Obr. 4. Typický CT scan pred aplikáciou recruitment manévru a zavedením trojhladinovej UVP



Obr. 5. RTG nálež pred odpojením od ventilátora

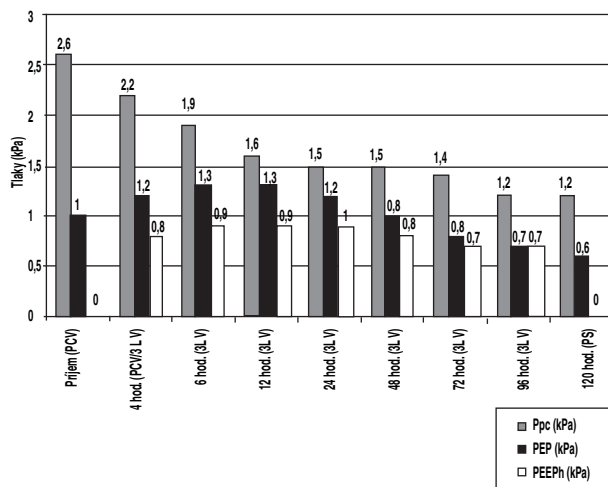
Výsledky

V režime 3LV sme pacientov ventilovali 5 ± 1 deň a postupne sme – po zlepšení klinického stavu a RTG i laboratórnych parametrov a po znížení sedácie – prechádzali na režim pressure support (PS) až do času odpojenia pacienta od ventilátora. Celková dĺžka UVP bola 6–10 dní. Všetci pacienti boli úspešne odpojení od UVP a preložení na základné oddelenie. Veličiny, ktoré považujeme za rozhodujúce, sme monitorovali, sú znázornené na nasledujúcich grafoch a zobrazujú

prvých 5 dní 3LV až do prechodu na režim pressure support (PS), kedy bol stav pacientov stabilizovaný a boli pripravovaní na odpojenie od UVP.

Po pripojení na UVP sa pohybovali hodnoty pľúcneho shuntu (Q_s/Q_t) okolo $50 \pm 5 \%$, ktoré klesli po 6 hodinách na $35 \pm 5 \%$ a po ďalších 6–12 hodinách pod 30% , čo sme považovali za dobrý výsledok.

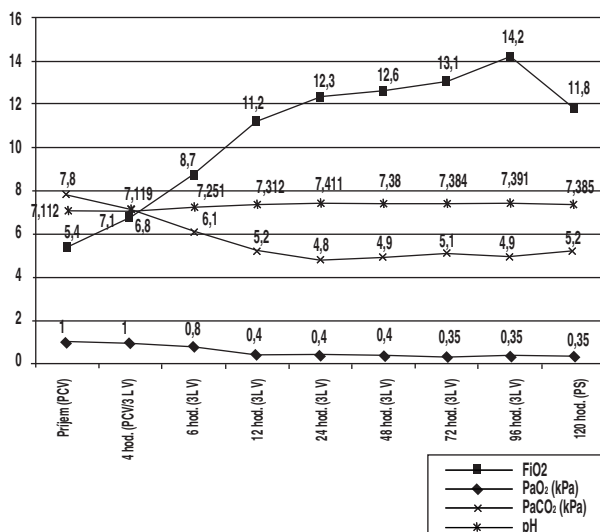
Monitorovali sme aplikované tlaky v okruhu ventilátora, ktoré sú znázornené na grafe 1.



Graf 1. Priemerné hodnoty tlakov aplikovaných v uvedených časových úsekoch počas ventilácie v režime PCV a počas trojhľadnovej ventilácie (n = 4)

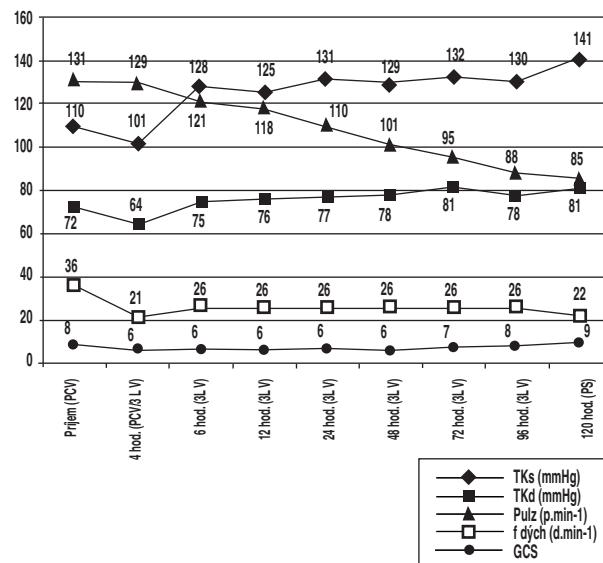
Z grafu je zjavné, že ak sme na začiatku UVP aplikovali relatívne vysoké špičkové tlaky (Paw okolo 4 kPa) pre dosiahnutie nevyhnutnej výmeny plynov, po niekoľkých hodinách 3LV sme mohli tlakové pomery podstatne viac optimalizovať na hodnoty okolo 3,5 kPa a nižšie.

Hodnoty výmeny plynov, pH a potrebnej FiO_2 v dýchacej zmesi pre primeranú oxygenáciu s $PaO_2 > 7$ kPa, sú na grafe 2.



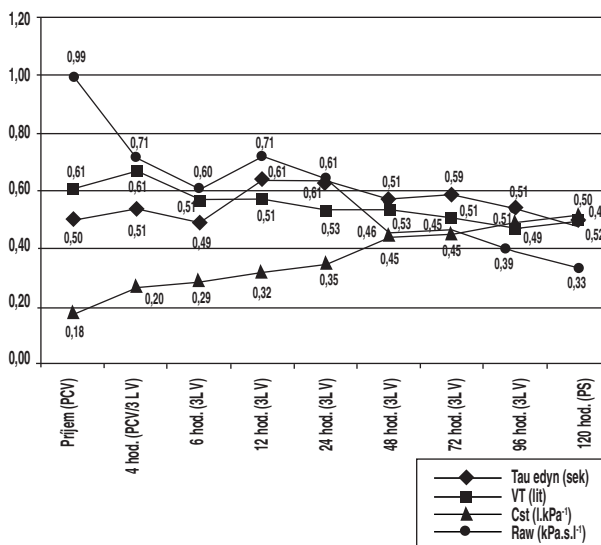
Graf 2. Trendy priemerných hodnôt krvných plynov, pH a aplikovanej koncentrácie O_2 v dýchacej zmesi (n = 4)

Z výsledkov je zjavné, že už po 2 hodinách 3LV sme zistili výrazné zlepšenie výmeny plynov a asi po 4–6 hodinách sme postupne mohli znížiť FiO_2 na 0,8–0,4, ($PaO_2/FiO_2 = 7,6–13$ kPa), čo považujeme z hľadiska rizík UVP s vysokým FiO_2 za zásadné. Hodnoty vitálnych funkcií sú zobrazené na grafe 3. Po zmene TK pri iniciálnom recruitmente, kedy výraznejšie poklesol, sa tlak krvi stabilizoval, určite aj zásluhou objemového doplnenia cievneho riečišťa a katecholamínov.



Graf 3. Trendy vitálnych funkcií (priemerné hodnoty) a úroveň sedácie pacientov (GCS skóre, n = 4)

Priebeh ventilácie a zmeny pľúcnej mechaniky sú znázornené na grafe 4.



Graf 4. Trendy (priemerné hodnoty) parametrov pľúcnej mechaniky a VT sledujúce postupné klinické zlepšovanie stavu pacientov (n = 4)

Z výsledkov je zjavné, že zásadným problémom bola aj veľmi nízka poddajnosť pľúc, ktorá sa začala upravovať po prvej fáze recruitmente a potom postup-

ne po 4–12 hodinách, kedy došlo aj k zmenšeniu rezistencie dýchacích ciest (Raw). Po zavedení režimu 3LV, aj napriek veľmi nízkej Cst a relatívne veľmi vysokému odporu Raw, došlo pomerne rýchlo k výraznému zlepšeniu výmeny plynov v pľúcach do niekoľkých desiatok minút až hodín.

Diskusia

Hľadanie spôsobov ventilácie pacientov s difúznym nehomogénnym poškodením pľúc pri zachovaní zásad „netraumatizujúcej ventilácie“ predstavuje problém, ktorý nebol doposiaľ adekvátne vyriešený [4]. Nehomogenita distribúcie plynov do oblastí rôzne postihnutých patologickým procesom s rozdielnymi časovými konštantami (τ_{dyn}) nemôže byť optimalizovaná konvenčnými ventilačnými postupmi [1, 5].

Aplikáciu 3LV môžeme dosiahnuť redistribúciu alebo zlepšenie distribúciu plynov z kompartmentov s krátkou časovou konštantou do oblastí s dlhšou časovou konštantou. Aj pri minimálnom alebo žiadnom zvýšení minútovej ventilácie sa 3LV prejavila znížením skratov a zlepšením oxygenácie i eliminácie CO₂ [1, 2].

Distribúcia ventilácie do oblastí s dlhou časovou konštantou, zvyčajne obštrukčných oblastí, môže viesť k zlepšeniu aerácie týchto partií, čo vedie k zlepšeniu výmeny plynov, ale môže podporovať recruitment pľúc práve v takto postihnutých kompartmentoch. Podobne pozitívny vplyv sa prejavil aj na znížení pľúcnych skratov, čo je pri zlepšení distribúcie plynov pochopiteľné [6].

Záver

Prvé klinické skúsenosti s trojhladinovou ventiláciou (3LV) predstavujú, aj to len do určitej miery, možnosti uvedeného spôsobu UVP, ktoré sme doposiaľ riešili v teoretickej rovine. Napriek tomu, že pre mini-

málny súbor pacientov sme štatistické vyhodnocovanie nerobili, trendy parametrov, ktoré sme merali a prezentujeme vo výsledkoch prinajmenšom podporujú výsledky teoretickej matematickej simulácie 3LV v matematickom a fyzikálnom modeli. Môžeme povedať, že 3LV zlepšila výmenu plynov v pľúcach v porovnaní s PCV aplikovanej počas prvých 2–4 hodín UVP a že môže byť nádejným spôsobom pre ventiláciu pľúc postihnutých difúznym nehomogénnym patologickým procesom. Je zrejmé, že až širšie klinické skúsenosti s vyšším počtom pacientov, ich porovnanie s klasickými spôsobmi UVP a štatistické hodnotenie môže priniesť potvrdenie výsledkov, ktoré boli na-
značené.

Literatúra

1. **Török, P.** Teória a matematický model viachladinovej umelej ventilácie pľúc. *Anest. intenziv. Med.*, 2008, 19, 2, s. 96–103.
2. Chirana, s. r. o., Stará Turá *Návod na obsluhu servoventilátora Chirolog SV ALFA+C*. 2006.
3. **Török, P., Májek, M., Kolník, J.** Je časová konštanta Tau (τ) pri umelej ventilácii pľúc konštantou? Teoretický a fyzikálny model. *Anest. neodklad. Péče*, 2001, 12, s. 291–297.
4. **Gattinoni, L. et al.** Lung structure and function in different stages of severe ARDS. *J. Amer. Med. Assoc.*, 1994, 271, p.1772–1779.
5. **Török, P.** Multilevel ventilation. In *Zborník z konferencie Ruskej akadémie vied – Akútne zlyhanie pľúc*. Piešťany-Moskva 30. 9.–3. 10. 2006, 187 s.
6. **Oczenski, W. et al.** Breathing and mechanical support. Blackwell Science : Vienna 1997, s. 236.

Došlo 14. 2. 2007.

Prijato 6. 1. 2008.

Adresa pro korespondenci:
h. Doc. MUDr. Pavol Török, CSc.
E. Urxa 14
093 01 Vranov n/Topľou
Slovensko
e-mail: torokp@t-zones.sk