

## High-frequency positive pressure ventilation with high positive end-expiratory pressure in the treatment of neonates with severe respiratory failure

Kovacikova L, Kunovsky P, Lakomy M, Skrak P, Csader M

### Vysokofrekvenčná tlakovo riadená ventilácia s vysokým pozitívnym koncovoexpiračným tlakom v liečbe respiračného zlyhania novorodencov

#### Abstract

**Kovacikova L, Kunovsky P, Lakomy M, Skrak P, Csader M: High-frequency positive pressure ventilation with high positive end-expiratory pressure in the treatment of neonates with severe respiratory failure**  
Bratisl Lek Listy 2001; 102 (3): 133–137

The authors present results of group of 13 neonates treated with high frequency positive pressure ventilation (HFPPV) with high positive end-expiratory pressure (PEEP) for severe respiratory failure. The ventilatory protocol was based on the following principles: a) higher mean airway pressure (MAP) to achieve adequate oxygenation, b) MAP titrated mainly with PEEP, c) fraction of inspired oxygen ( $\text{FiO}_2$ ) below 0.6, d) small tidal volumes 3–6 ml/kg, e) ventilatory rates to achieve normocapnia in newborns with persistent pulmonary hypertension and to allow permissive hypercapnia in others.

During HFPPV, the maximum values for respiratory rate, PEEP, MAP and peak inspiratory pressures (PIP), the incidence of airleak and the need for inotropic support were recorded. The values for arterial partial pressure of oxygen ( $\text{paO}_2$ ),  $\text{FiO}_2$ ,  $\text{paO}_2/\text{FiO}_2$  and MAP during conventional ventilation and 30 minutes after initiation of HFPPV were statistically analyzed.  $\text{paO}_2$  increased from 8.0 kPa (3.3–10.4) to 11.8 kPa (7.3–16.2,  $p<0.001$ ) and  $\text{paO}_2$  (torr)/ $\text{FiO}_2$  increased from 62.2 (24.7–101.2) to 157.5 (62.2–275.2,  $p<0.001$ ) 30 minutes after institution of HFPPV when MAP was increased from 11.8  $\text{cmH}_2\text{O}$  (9–13.8), to 17.2  $\text{H}_2\text{O}$  (14.8–22.2)  $p<0.001$ . This allowed turning down  $\text{FiO}_2$  from 1 (0.6–1) to 0.6 (0.4–1)  $p<0.001$ .

Maximal ventilatory rates used were in average 60/min (50–105), PEEP 8  $\text{cmH}_2\text{O}$  (6–10), PIP 30  $\text{cmH}_2\text{O}$  (26–45), MAP 18.8  $\text{cmH}_2\text{O}$  (14.8–22.2). Air leak did not occur in any patient. Catecholamines were used in 8 patients. The duration

#### Abstrakt

**Kováčiková L., Kunovský P., Lakomý M., Škrak P., Csáder M.: Vysokofrekvenčná tlakovo riadená ventilácia s vysokým pozitívnym koncovoexpiračným tlakom v liečbe respiračného zlyhania novorodencov**  
Bratisl. lek. Listy, 102, 2001, č. 3, s. 133–137

Autori uvádzajú súbor 13 novorodencov so závažným respiračným zlyhaním, u ktorých použili vysokofrekvenčnú tlakovo riadenú ventiláciu (HFPPV) s vysokým pozitívnym koncovoexpiračným tlakom (PEEP). Ventiláčny protokol sa opiera o nasledovné princípy: a) dosiahnutie adekvátnej oxygenácie zvyšovaním stredného tlaku v dýchacích cestách (MAP), b) ovplyvnenie MAP predovšetkým nastavením PEEP a frekvencie dychov, c) znižovanie frakcie inšpirovaného kyslíka ( $\text{FiO}_2$ ) pod 0,6, d) malé razové dychové objemy 3–6 ml/kg, e) zvýšenie frekvencie dychov tak, aby sa dosiahla normokapnia pri perzistujúcej pľúcnej hypertenzii novorodencov a permissívna hyperkapnia u ostatných novorodencov. V priebehu HFPPV sme zaznamenávali maximálne hodnoty frekvencie dychov, PEEP, špičkových tlakov (PIP) a MAP, výskyt „airleak“ syndrómu a potrebu podpory cirkulácie katecholamínmi. Štatisticky sme vyhodnotili arteriálny parciálny tlak kyslíka ( $\text{paO}_2$ ),  $\text{FiO}_2$ , hypoxemické skóre  $\text{paO}_2/\text{FiO}_2$  a MAP na konvenčnej ventilácii a 30 minút po zahájení HFPPV. 30 minút po zahájení HFPPV došlo pri použití vyšších hodnôt MAP 17,2  $\text{cmH}_2\text{O}$  (14,8–22,2) vs 11,8  $\text{cmH}_2\text{O}$  (9–13,8,  $p<0.001$ ), k vzostupu  $\text{paO}_2$  z 8,0 kPa (3,3–10,4) na 11,8 kPa (7,3–16,2,  $p<0.001$ ) a vzostupu  $\text{paO}_2$ (torr)/ $\text{FiO}_2$  zo 62,2 (24,7–101,2) na 157,5 (62,2–275,2,  $p<0.001$ ). To nám umožnilo znížiť  $\text{FiO}_2$  z 1 (0,6–1) na 0,6 (0,4–1,  $p<0.001$ ). Počas HFPPV boli maximálne hodnoty frekvencie dychov priemerne 60/min (50–105/min), PEEP 8  $\text{cmH}_2\text{O}$  (6–10), PIP 30  $\text{cmH}_2\text{O}$  (26–45), MAP 18,8  $\text{cmH}_2\text{O}$  (14,8–22,2). U žiadneho pacienta nedošlo k rozvoju „airleak syndrómu“. 8 pacienti vyžadovali podporu hemodynamiky katecholamínmi. Všetci pacienti boli extubovaní v priemere po 6 (2–

Cardiac Intensive Care Unit, Children's University Hospital, Bratislava.  
lubakov@ba.psg.sk

Ist Department of Pediatrics, Children's University Hospital, Bratislava  
Address for correspondence: L. Kovacikova, MD, Cardiac Intensive Care Unit, DFNSP, Limbova 1, SK-833 40 Bratislava 37, Slovakia.  
Phone: +421.7.5937 1729, Fax: 421.7.5477 1555

Detské kardiocentrum Detskej fakultnej nemocnice s poliklinikou v Bratislave a I. detská klinika Detskej fakultnej nemocnice s poliklinikou v Bratislave

Adresa: MUDr. E. Kováčiková, Detské kardiocentrum, DFNSP, Limbova 1, 833 40 Bratislava 37.

of ventilatory support lasted in average 6 days (2–18). All patients were successfully extubated. 5 of them required nasal continuous positive airway pressure (14 hours — 7 days). (Tab. 3, Fig. 3, Ref. 19.)

**Key words:** newborns, respiratory failure, high-frequency positive pressure ventilation.

#### Abbreviations:

FiO<sub>2</sub> — Fraction of inspired oxygen  
 HFPPV — High-frequency positive pressure ventilation  
 iNO — Inhaled nitric oxide  
 MAP — Mean airway pressure  
 OI — Oxygenation index  
 paO<sub>2</sub> — Arterial partial pressure of oxygen  
 PEEP — Positive end-expiratory airway pressure  
 PIP — Peak inspiratory pressure  
 VI — Ventilation index

Vysokofrekvenčná oscilačná ventilácia sa používa v liečbe závažného respiračného zlyhania novorodencov. Spočíva na princípe ventilácie s malými razovými dychovými objemami, nízkymi fázickými tlakovými amplitúdami a suprafyziologickou frekvenciou dychoch. Hlavnou indikáciou jej použitia je hypoxemické respiračné zlyhanie, pri ktorom sa zlepšenie oxygenácie dosiahne použitím vyšších stredných tlakov v dýchacích cestách (Arnold a spol., 1994).

V súčasnosti sa diskutuje aj o včasnom použití vysokofrekvenčnej ventilácie v liečbe respiračného zlyhania z dôvodu zníženia rizika sekundárneho poškodenia pľúc umelou pľúcnou ventiláciou (Clark, 1994; Lachmann, 1992; Marini, 1993).

Modifikovaným variantom vysokofrekvenčnej oscilačnej ventilácie je vysokofrekvenčná tlakovo riadená ventilácia, ktorej hlavným cieľom je znížiť iatrogénne poškodenie pľúc vznikajúce pri

18) dňoch umelej pľúcnou ventilácie. 5 z nich ešte vyžadovali nazálny kontinuálny tlak v dýchacích cestách (14 hodín — 7 dní).

Na základe našich skúseností sa domnievame, že HFPPV v liečbe závažného respiračného zlyhania novorodencov je pri správne vedenej ventilačnej stratégii účinnou a bezpečnou ventilačnou technikou. (Tab. 3, obr. 3, lit. 19.)

**Kľúčové slová:** novorodenci, respiračné zlyhanie, vysokofrekvenčná tlakovo riadená ventilácia.

#### Použité skratky:

FiO<sub>2</sub> — frakcia inšpirovaného kyslíka  
 HFPPV — vysokofrekvenčná tlakovo riadená ventilácia  
 iNO — inhalačný oxid dusnatý  
 MAP — stredný tlak v dýchacích cestách  
 OI — oxygenačný index  
 paO<sub>2</sub> — parciálny tlak kyslíka  
 PEEP — pozitívny koncový expiračný tlak  
 PIP — špičkový tlak v dýchacích cestách  
 VI — ventilačný index

klasickej mechanickej ventilácii a súčasne zlepšiť oxygenáciu u pacientov so závažným poškodením pľúc. Principiálne ide aj o „otvorenie pľúc“ a udržanie tohto stavu zvýšením PEEP, úpravou pomeru doby inšpiria k expíriu pri zvýšenej frekvencii dýchania, ktorá je potrebná na dostatočné odventilovanie oxidu uhličitého pri nízkych razových dychových objemoch. Týmto sa dosiahne zvýšenie MAP, čo umožní znížiť FiO<sub>2</sub> pod toxické koncentrácie.

Cieľom práce je prezentovať naše skúsenosti s týmto typom ventilácie u novorodencov so závažným respiračným zlyhaním rôznej etiológie, vyhodnotiť jej vplyv na výmenu plynov a posúdiť komplikácie tejto ventilačnej techniky.

#### Materiál a metodika

Od marca 1998 do marca 2000 sa na Oddelení anestéziológie a intenzívnej medicíny Detského kardiocentra a na Jednotke intenzívnej starostlivosti novorodeneckého oddelenia použila HFPPV v liečbe respiračného zlyhania u 13 novorodencov. Príčinami respiračného zlyhania boli adnatna pneumónia (n=5), choroba hyalínových membrán (n=4), aspirácia mekónia (n=2), diafragmatická hernia (n=1) a krvácanie do pľúc (n=1). Priemerný gestačný vek pacientov bol 38 (29–42) týždňov, priemerná pôrodná hmotnosť 2950 (1430–4200) g. Demografické údaje a etiológia respiračného zlyhania sú v tabuľke 1.

U všetkých novorodencov išlo o závažné formy respiračného zlyhania s OI 0,20 (0,1–0,49) a VI 62,9 (36,4–78,3). Princípy vysokofrekvenčnej ventilácie sme u nich uplatnili na režime časovo riadenej, tlakovo kontrolovanej mechanickej ventilácie (ventilátor Bird VIP). Ventilačná stratégia sa opierala o nasledovné princípy: a) dosiahnutie adekvátnej oxygenácie (saturácie kyslíka viac ako 90 %) zvyšovaním MAP, b) ovplyvnenie MAP predovšetkým nastavením PEEP a zvýšením pomeru inšpiria k expíriu na 1:1, c) FiO<sub>2</sub> menej ako 0,6 okrem krátkych období zhoršenia klinického stavu alebo počas odsávania z trachey, d) nastavenie PIP tak, aby razové dychové objemy boli v rozpätí 3–6 ml/kg, e) frekvencia dychoch s cieľom normokapnie pri perzistujúcej pľúcnou hypertonizii a permissívnej hyperkapnie u ostatných novorodencov.

Ventilačné parametre sme kontinuálne upravovali podľa a - sledkov krvných plynov. Pri nastavení hodnôt PEEP a PIP sme posudzovali aj tlakovo-objemovú slučku, jej tvar a inflexný bod.

**Tab. 1. Characteristics of patients.**

**Tab. 1. Charakteristika pacientov.**

Pt.	Gestational age (weeks)	Weight	Diagnosis		
Pac.	Gestačný vek (týždne)	Hmotnosť kg	Diagnóza	OI	VI
1	36	2950	adnatna pneumónia	0,20	62,9
2	42	3450	adnatna pneumónia	0,49	78,3
3	37	3500	adnatna pneumónia	0,27	42,7
4	40	2860	adnatna pneumónia	0,10	63,7
5	34	2000	adnatna pneumónia	0,16	38,4
6	33	2100	HMD	0,10	64,4
7	34	2260	HMD	0,17	36,4
8	29	1430	HMD	0,10	72,7
9	38	2650	HMD	0,16	66,9
10	41	4200	MAS	0,35	55,5
11	40	3560	MAS	0,33	51,6
12	42	3300	krvácanie do pľúc	0,22	66,6
13	40	3300	CDH	0,22	39,7

HMD — hyaline membrane disease, MAS — meconium aspiration syndrome, CDH — congenital diaphragmatic hernia, OI — oxygenation index, VI — ventilation index

HMD — choroba hyalinných membrán, MAS — aspirácia mekónia, OI — oxygenačný index, VI — ventilačný index, CDH — diafragm. hernia

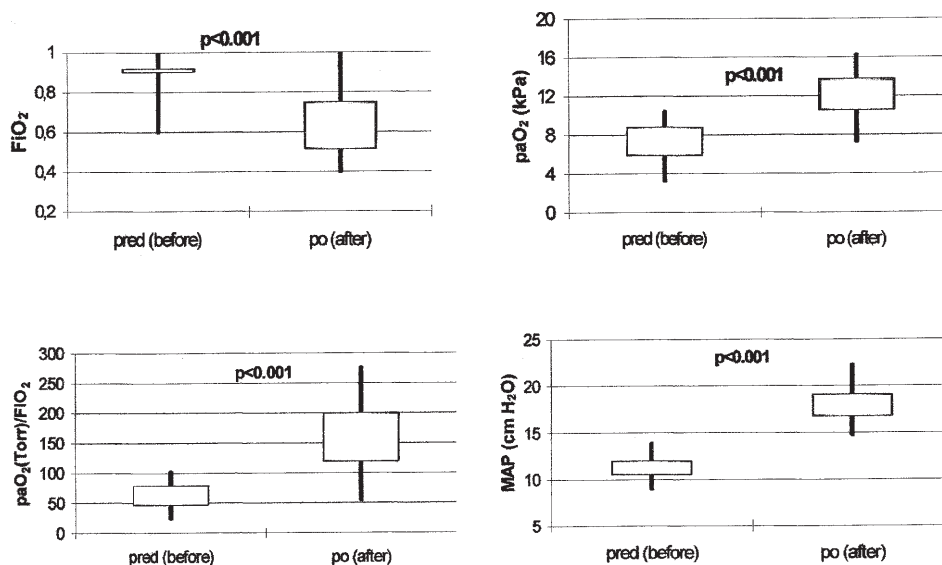


Fig. 1. Values of  $\text{FiO}_2$ , MAP,  $\text{paO}_2$  and  $\text{FiO}_2/\text{paO}_2$  before and 30 minutes after HFPPV (solid line represents range, box represents confidence interval for mean).

Obr. 1. Hodnoty  $\text{FiO}_2$ , MAP,  $\text{paO}_2$  a  $\text{FiO}_2/\text{paO}_2$  pred a 30 minút po začiatku HFPPV (plná čiara predstavuje rozsah, tieňovaný stĺpec interval spoľahlivosti pre priemer).

U novorodencov s perzistujúcou pľúcnou hypertenziou, u ktorých pri adekvátnej ventilácii pretrvávali zvýšené tlaky v pľúcnom riečiisku s pravo-lavými skratkami na foramen ovale a ductus arteriosus, sme začali podávať inhalačný oxid dusnatý (iNO). U pacientov, u ktorých ani po poklese pľúcnnej hypertenzie pri liečbe iNO nedošlo k adekvátnej úprave oxygenácie a ventilácie, sme predpokladali deficienciu surfaktantu a suplementovali sme ho.

Pri zlepšovaní oxygenačných a ventilačných parametrov sme postupne znižovali hodnoty MAP a PIP, frekvenciu dychov, s postupným prechodom na konvenčnú ventiláciu.

V priebehu HFPPV sme zaznamenávali maximálne hodnoty frekvencie dychov, PEEP, PIP a MAP, výskyt „airleak“ syndrómu a potrebu podpory cirkulácie katecholamínmi. Štatisticky sme vyhodnotili  $\text{paO}_2$ ,  $\text{FiO}_2$ ,  $\text{paO}_2/\text{FiO}_2$  a MAP na konvenčnej ventilácii a 30 minút po zahájení HFPPV.

#### Štatistické vyhodnotenie

Hodnoty kvantitatívnych parametrov sú vyjadrované ako medián (rozptyl). V štatistickej analýze sme použili Studentov t-test. Hodnoty  $p < 0,05$  sme považovali za štatisticky významné.

#### Výsledky

HFPPV sme použili u 13 novorodencov. Hodnoty  $\text{paO}_2$ ,  $\text{FiO}_2$ ,  $\text{paO}_2/\text{FiO}_2$  a MAP na konvenčnej ventilácii a 30 minút po zahájení HFPPV sú v tabuľke 3. 30 minút po zahájení HFPPV došlo pri použití vyšších hodnôt MAP 17,2  $\text{cmH}_2\text{O}$  (14,8–22,2) vs 11,8  $\text{cmH}_2\text{O}$  (9–13,8,  $p < 0,001$ ) k vzostupu  $\text{paO}_2$  z 8,0 kPa (3,3–10,4) na 11,8 kPa (7,3–16,2,  $p < 0,001$ ) a vzostupu  $\text{paO}_2(\text{torr})/\text{FiO}_2$  zo 62,2 (24,7–101,2) na 157,5 (62,2–275,2,  $p < 0,001$ ). To nám umožnilo znížiť  $\text{FiO}_2$  z 1 (0,6–1) na 0,6 (0,4–1,  $p < 0,001$ ). Tieto parametre poukazujú na zlepšenie oxygenácie krátko po zahájení HFPPV (obr. 1).

Počas HFPPV sme použili maximálne hodnoty frekvencie dychov v priemere 60/min (50–105/min), PEEP 8  $\text{cmH}_2\text{O}$  (6–10), PIP 30  $\text{cmH}_2\text{O}$  (26–45), MAP 18,8  $\text{cmH}_2\text{O}$  (14,8–22,2).

U 5 novorodencov sme po 2,5 hodinách (0,5–29) od nastavenia HFPPV započali liečbu iNO. iNO sme podávali 120 hodín (14 hodín – 7 dní), s maximálnou dávkou 24 ppm (20–60).

Tab. 2. Maximal values of used ventilatory parameters, use of iNO, N-CPAP and surfactant.

Tab. 2. Maximálne hodnoty použitých ventilačných parametrov, použitie iNO, N-CPAP a surfaktantu.

Pt. Pac.	RR n/min	PEEP $\text{cmH}_2\text{O}$	PIP $\text{cmH}_2\text{O}$	MAP $\text{cmH}_2\text{O}$	UPV/IMV dni/days	N-CPAP d/h*	NO d/h*	surfactant poč.dávkok/ No of doses
1	70	10	35	22,2	7	–	14 h	2
2	60	7	36	17,2	8	–	7 d	3
3	60	8	26	17,0	5	–	1 d	–
4	50	8	26	17,0	4	–	–	–
5	56	8	32	16,8	9	4 d	–	1
6	70	8	39	20,3	13	–	–	2
7	105	10	45	20,0	6	3 d	–	2
8	56	7	28	14,8	4	12 d	–	1
9	50	6	35	19,3	2	10 h	–	1
10	80	10	28	19,6	9	18 h	5 d	3
11	70	10	28	16,9	18	4 d	7 d	3
12	66	9	30	19,5	3	–	–	–
13	60	6	30	18,8	4	–	–	–

\*d: days (dni), h: hours (hodiny)

RR — respiratory rate, IMV — intermittent mandatory ventilation, N-CPAP — nasal continuous positive airway pressure

RR — počet dychov, UPV — umelá pľúčna ventilácia, N-CPAP — nazálny kontinuálny pozitívny tlak v dýchacích cestách

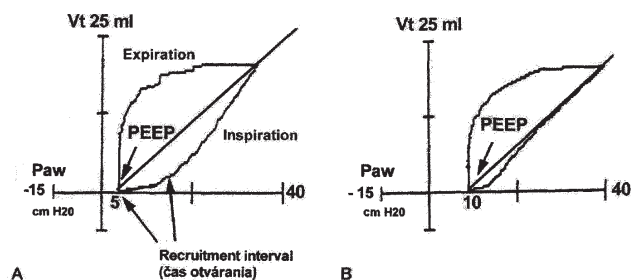


Fig. 2. Pressure volume loops indicating the optimization of PEEP. A represents PEEP below critical opening pressure, B represents optimal PEEP ( $P_{aw}$  — airway pressure,  $V_t$  — tidal volume).  
Obr. 2. Tlakovo-objemové slučky poukazujúce na optimalizáciu PEEP. V prípade A je PEEP pod hodnotou kritického otváracieho tlaku, v prípade B je PEEP adekvátny ( $P_{aw}$  — tlak v dýchacích cestách,  $V_t$  — dychový objem).

Pre primárny alebo suspektný sekundárny deficit surfaktantu sme 7 novorodencom 2 hodiny (0,5—3) po nastavení HFPPV podali exogénny surfaktant, pričom u 5 z nich bolo potrebné podania surfaktantu zopakovať. U 4 pacientov sme použili Exosurf v celkovej dávke 88,5 mg/kg (60—198) a u 3 pacientov Alveofact v celkovej dávke 120 mg/kg (60—176).

Počas HFPPV u žiadneho pacienta nedošlo k rozvoju „air leak“ syndrómu. 8 pacienti vyžadovali podporu hemodynamiky katecholamínmi. U 6 pacientov sme použili dopamín v dávke 5—10 mcg/kg/min a u 2 pacientov dobutamín v dávke 5 mcg/kg/min.

Pacienti boli extubovaní po 6 dňoch (2—18) umelej pľúcnej ventilácie. 5 z nich ešte vyžadovali N-CPAP (14 hodín — 7 dní) (tab. 2).

## Diskusia

HFPPV s malými razovými dychovými objemami a vysokým PEEP, podobne ako iné vysokofrekvenčné techniky, predstavuje ventiláciu s tzv. „ideálnym pľúcny objemom“ (Nichols, 1994). Jej cieľom je zlepšiť oxygenáciu a znížiť riziko sekundárneho poškodenia pľúc spôsobeného umelou pľúcnou ventiláciou (Paulson a spol., 1996; Thome, 1999).

Tab. 3.  $FiO_2$ ,  $paO_2$ ,  $paO_2/FiO_2$  and MAP before and 30 minutes after beginning of HFPPV.

Tab. 3.  $FiO_2$ ,  $paO_2$ ,  $paO_2/FiO_2$  a MAP pred a 30 minút po začiatku HFPPV.

Pt. Pac.	$FiO_2$		$paO_2$ (kPa)		$paO_2$ (Torr)/ $FiO_2$		MAP	
	before pred	after po	before pred	after po	before pred	after po	before pred	after po
1	1,0	0,8	8,9	16,2	66,8	152,2	13,8	22,2
2	1,0	1,0	3,3	8,3	24,7	62,2	12,2	17,2
3	1,0	0,8	4,8	9,7	36	90,75	9,9	17,0
4	0,6	0,6	8,1	15,9	101,2	198,7	10,3	16,5
5	0,8	0,4	7,8	12,0	72,7	225	11,8	16,8
6	0,8	0,6	10,3	13,9	96,7	174	10,2	20,3
7	1,0	0,4	8,2	14,7	61,5	275,2	10,0	16,0
8	0,6	0,5	8,0	10,5	99,7	157,5	9,9	14,8
9	1,0	0,6	10,4	10,7	78	133,5	12,6	19,3
10	1,0	1,0	4,9	7,3	36,7	54,75	12,0	18,6
11	1,0	0,6	4,8	11,8	36	147	12,3	16,9
12	1,0	0,5	8,3	15,4	62,2	231	13,7	19,5
13	1,0	0,5	5,4	11,8	40,5	177	9,0	18,8

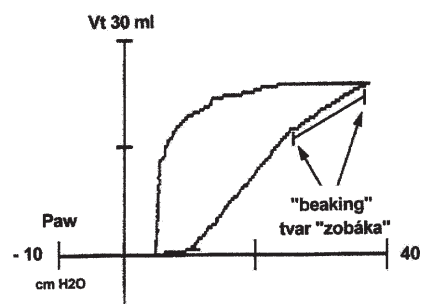


Fig. 3. Pressure-volume loop with “beaking” demonstrating the use of excessive PIP.

Obr. 3. Tlakovo-objemová slučka s tvarom „zobáka“ poukazuje na použitie zbytočne vysokého PIP.

Hlavným faktorom, ktorý určuje oxygenáciu, je MAP. Dá sa ovplyvniť typom inspiračnej krivky, zmenami pomeru inspiria k expírii, hodnotami PIP a PEEP.

PEEP je faktorom, ktorý udržiava určitý pľúcny objem počas celého respiračného cyklu, a tým zabraňuje kolapsu alveol. Zároveň redistribuuje alveolárnu tekutinu do interstícia, a tým zlepšuje kompliance pľúc a znižuje ventilačno-perfúzný nepomer. Pľúcne objemy, ktoré sa približujú funkčnej reziduálnej kapacite, sú spojené s najnižším výskytom pľúcnych skratov (Suter a spol., 1978; West, 1990). PEEP je najdôležitejším faktorom, ktorým ovplyvňujeme MAP. Zvýšenie MAP umožní zlepšiť oxygenáciu, a tým znížiť  $FiO_2$ . Snažíme sa dosiahnuť saturácie kyslíka viac ako 90 % pri  $FiO_2$  menej ako 0,60, keďže vyššie  $FiO_2$  vedie ku kyslíkovej toxicite prostredníctvom oxidatívneho poškodenia a tvorby absorpčných atelektáz (Notter, 1982). U našich pacientov sme dosiahli zlepšenie oxygenácie krátko po zahájení HFPPV. Napriek zníženiu  $FiO_2$  sme dosiahli signifikantne vyššie hodnoty  $paO_2$ . Hypoxemické skóre ( $paO_2/FiO_2$ ), ktoré je jedným z hlavných ukazovateľov oxygenácie, sa tiež signifikantne zvýšilo.

V prípade, že na HFPPV nedochádza k signifikantnému zlepšeniu oxygenácie a na ultrazvukovom vyšetrení sú prítomné známky pravo-ľavého skratu na foramen ovale a na otvorenom arteriálnom dukte, používame liečbu inhalačným oxidom dusnatým. Aj pre jeho efekt je dôležitá ventilačná stratégia, ktorá dosiahne otvorenie alveol, čím sa zlepši prístup iNO k pľúcnemu riečisku (McGettigan a spol., 1998; Spitzer a spol., 1996).

U novorodencov, u ktorých došlo len k čiastočnému zlepšeniu oxygenácie, sme predpokladali sekundárny deficit surfaktantu a podali sme exogénny surfaktant. Surfaktant sme použili aj u všetkých novorodencov s chorobou hyalínových membrán. Z experimentálnych štúdií je známe, že ventilačná stratégia ovplyvňuje efekt liečby surfaktantom (Froese a spol., 1993). Priaznivý vplyv vysokofrekvenčnej oscilačnej ventilácie na účinok surfaktantu súvisí so zníženým influxom proteínov do alveol, čím sa znižuje mechanizmus inaktívácie exogénneho surfaktantu (Gross, 1989; Imai a spol., 1994). Optimalizácia liečby exogénnym surfaktantom sa dá dosiahnuť aj pri tlakovo riadenej ventilácii, ktorá využíva vysoké hodnoty PEEP a malé tlakové amplitúdy (Verbrugge a spol., 1999). Účinok surfaktantu neovplyvňuje frekvencia dychov (Veldhuizen, 1996).

HFPPV okrem zlepšenia oxygenácie a zníženia kyslíkovej toxicity umožňuje znížiť sekundárne poškodenie pľúc spôsobené volutraumou. Použitie nízkych razových dychových objemov (3—6 ml/

kg) pri vysokých frekvenciách dychov zabraňuje nadmernému rozopnutiu alveol, a tým znižuje riziko volutraumy, ktorá sa v súčasnosti považuje za významnejší faktor poškodenia pľúc ako barotrauma (Sarnaik a spol., 1996). V našom súbore nedošlo k poškodeniu pľúc v zmysle rozvoja „air leak“ syndrómu u žiadneho pacienta.

Významnú úlohu v sekundárnom poškodení pľúc má nedostačujúca hodnota PEEP. Ak je hodnota PEEP pod kritickým otváracím tlakom, je potrebné použiť vyššie razové objemy a vyššie hodnoty PIP na rozvinutie alveol, ktoré kolabovali na konci expíria. Tým sa zvyšuje mechanické napätie, tzv. „shear stress“ na úrovni terminálnych bronchiolov a alveol (Paulson a spol., 1995). Nízke razové dychové objemy spolu s adekvátnou hodnotou PEEP môžu naopak mechanické napätie minimalizovať (Lachmann, 1992).

HFPPV umožňuje zlepšiť oxygenáciu a znížiť riziko sekundárneho poškodenia pľúc. Na druhej strane vysoké hodnoty PEEP a MAP môžu nepriaznivo ovplyvniť hemodynamiku. V dôsledku zvýšeného vnútrohrudného tlaku môže dôjsť k zníženiu venózneho návratu a poklesu srdcového výdaja. Nadmerné rozopnutie pľúc zvyšuje pľúcnu cievnú rezistenciu a pri zvýšenom PEEP tento lineárny vzťah sa mení až na exponenciálny (Cheifetz a spol., 1998). Takéto zvýšenie preťaženia pravej komory by mohlo kriticky znížiť jej funkciu. Musíme sa mu vyhnúť dôsledným grafickým monitorovaním ventilácie, ktorý je na rozdiel od vysokofrekvenčnej oscilačnej ventilácie pri HFPPV spoľahlivý a ľahko aplikovateľný pri rôznych typoch ventilátorov. V našom súbore pacientov bolo potrebné počas HFPPV podporiť hemodynamiku katecholamínami u 8 z 13 pacientov. Potreba zvýšenia inotropnej podpory však nemusela vyplývať len z hemodynamických dôsledkov ventiláčnej liečby, ale aj zo základného ochorenia (septický stav, dysfunkcia pravej komory). Negatívny vplyv HFPPV na respiračné funkcie predstavuje nebezpečenstvo inadvertného PEEP a „air trapping“. Nastavenie ventiláčnych parametrov pomáha optimalizovať monitorovanie razových dychových objemov a grafické monitorovanie respiračných funkcií (Martin a spol., 1996). Posúdenie tlakovo-objemovej slučky upozorňuje na nedostatočný PEEP, to znamená PEEP pod hodnotou kritického otváracieho tlaku (obr. 2). Tvar „zobáka“ svedčí o nadmernej distenzii pľúc, kde ďalšie zvyšovanie PIP už nevedie k zvýšeniu pľúcneho objemu (obr. 3). Sledovanie krivky expiračného prietoku v čase a jej návrat k nulovej hodnote nás informuje o dostatočnej dĺžke expiračnej doby, čo umožní predchádzať nebezpečnému „air trapping“.

## Záver

Na základe našich skúseností sa domnievame, že HFPPV je v liečbe závažného respiračného zlyhania novorodencov rôznej etiológie účinnou a bezpečnou ventiláčnou metódou. Výhodou je možnosť aplikácie tohto spôsobu ventilácie na väčšine konvenčných ventilátorov. Použitím sekvenčného prístupu, s postupným pridávaním iNO a surfaktantu podľa dosiahnutých výsledkov, HFPPV sa zdá spoľahlivou ventiláčnou technikou liečby tejto náročnej skupiny novorodencov. Používame ju nielen v „rescue“ indikácii, ale aj v prípade respiračného zlyhania, ktoré by vyžadovalo agresívnu konvenčnú ventiláciu.

## Literatúra

**Arnold J.H., Hanson J.H., Toro-Figuero L.O. et al.:** Prospective, randomized comparison of high-frequency oscillatory ventilation and con-

ventional mechanical ventilation in pediatric respiratory failure. *Crit. Care Med.*, 22, 1994, č. 10, s. 1530—1539.

**Clark R.H.:** High-frequency ventilation. *J. Pediatr.*, 124, 1994, č. 5, s. 661—671.

**Cheifetz M.I., Craig D.M., Quick G. et al.:** Increasing tidal volumes and pulmonary overdistension adversely affect pulmonary vascular mechanics and cardiac output in pediatric swine model. *Crit. Care Med.*, 26, 1998, č. 4, s. 710—716.

**Dreyfus D., Saumon G.:** Role of tidal volume FRC and end-inspiratory volumes in development of pulmonary edema following mechanical ventilation. *Amer. Rev. Resp. Dis.*, 148, 1993, č. 5, s. 1194—1203.

**Froese A.B., McCulloch P.R., Suguira M. et al.:** Optimizing alveolar expansion prolongs the effectiveness of exogenous surfactant therapy in the adult rabbit. *Amer. Rev. Resp. Dis.* 148, 1993, č. 3, s. 569—577.

**Gross N.J., Narine K.R.:** Surfactant subtypes of mice: Metabolic relationship and conversion in vitro. *J. Appl. Physiol.*, 67, 1989, č. 1, s. 414—421.

**Imai Y., Kawano T., Migasaka T., Takata M., Okuyama K.:** Inflammatory chemical mediators during conventional ventilation and during high frequency oscillatory ventilation. *Amer. J. Resp. Crit. Care. Med.*, 150, 1994, č. 6, s. 1550.

**Lachmann B.:** Open the lung and keep the lung open. *Intensive Care Med.*, 18, 1992, č. 6, s. 319—321.

**Marini J.J.:** New options for the ventilatory management of acute lung injury. *New Horizons*, 1, 1993, č. 4, s. 489—502.

**McGettigan M.C., Adolph V.R., Ginsberg H.G., Goldsmith J.P.:** New ways to ventilate newborns in acute respiratory failure, 45, 1998, č. 3, s. 475—508.

**Nichols D.G.:** Taming the technology for adult respiratory distress syndrome in children. *Crit. Care Med.*, 22, 1994, č. 10, s. 1521—1523.

**Notter R.H., Taubold R., Mavis R.D.:** Hysteresis in saturated phospholipid films and its potential relevance for lung surfactant function in vivo. *Exp. Lung. Res.*, 3, 1982, č. 2, s. 109—127.

**Paulson T.E., Spear R.M., Peterson B.M.:** New concepts in the treatment of children with acute respiratory distress syndrome. *J. Pediatr.*, 127, 1995, č. 2, s. 163—175.

**Paulson T.E., Spear R.M., Silva P.D., Peterson B.M.:** High-frequency pressure-control ventilation with high positive end-expiratory pressure in children with acute respiratory distress syndrome. *J. Pediatr.*, 129, 1996, č. 4, s. 566—573.

**Martin L.D., Bratton S.L., Walker L.K.:** Principles and practice of respiratory support and mechanical ventilation. In: Rogers M.D.: *Textbook of Pediatric Intensive Care*. 3rd ed. Baltimore, Williams and Wilkins 1996, s.1700 s.

**Sarnail A.P., Meert K.L., Pappas M.D., Simpson P.M., Lieh-Lai M.W., Heiderman S.M.:** Predicting outcome in children with severe acute respiratory failure treated with high-frequency ventilation. *Crit. Care Med.*, 24, 1993, č. 8, s. 272—278.

**Suter P.M., Fairley H.B., Isenberg M.D.:** Effect of tidal volume and PEEP on compliance during mechanical ventilation. *Chest*, 73, 1978, č. 2, s. 158—162.

**Thome U., Kossel H., Lipowsky G., Porz F., Furst H.O., Genzel-Boroviczevny O. et al.:** Randomized comparison with high-rate intermittent positive pressure ventilation in preterm infants with respiratory failure. *J. Pediatr.*, 135, 1999, č. 1, s. 39—46.

**Veldhuizen R.A.W., Marcou J., Yao L.J. et al.:** Alveolar surfactant aggregate conversion in ventilated normal and injured rabbits. *Amer. J. Physiol.*, 270, 1996, č. 1, s. 152—158.

**Verbrugge S.J.C., Gommers, Lachmann B.:** Conventional ventilation modes with small pressure amplitudes and high positive end-expiratory pressure levels optimize surfactant therapy. *Crit. Care Med.*, 27, 1999, č. 12, s. 2724—2727.

Received February 12, 2001.

Accepted February 24, 2001.