

# Dodatnie ciśnienie końcowo-wydechowe podczas wentylacji mechanicznej i wsparcia oddechu własnego noworodków i dzieci

## Positive end-expiratory pressure during mechanical ventilation and noninvasive respiratory support in newborns and children

Iwona Dąbrowska-Wójciak, Andrzej Piotrowski

Oddział Kliniczny Intensywnej Terapii i Anestezjologii Uniwersytetu Medycznego w Łodzi

### ABSTRACT

Positive end-expiratory pressure (PEEP) is used during non-invasive and invasive ventilation of newborns, infants and children. PEEP improves gas exchange by increasing the functional residual capacity, reduces the respiratory effort, lowers requirements for respiratory mixture oxygen, and enables to decrease the peak inspiratory pressure (PIP) without decreasing the mean airway pressure. Its effects on the cardiovascular system appear to be insignificant, particularly in patients with severe respiratory failure that is not accompanied by circulatory insufficiency. The value of PEEP enabling to provide the optimal conditions for improvement of gas exchange should be tailored individually for each patient under control of blood gas analysis, PIP and  $FiO_2$ . This strategy minimises ventilator-induced lung injury and prevents the development of circulatory failure associated with ventilation. Nasal continuous positive airway pressure (NCPAP) used with various PEEP values is a recognised treatment method of respiratory failure in newborns, especially in preterm infants.

**Key words:** mechanical ventilation, positive end-expiratory pressure, newborns, children

**Słowa kluczowe:** wentylacja mechaniczna, dodatnie ciśnienie końcowo-wydechowe, noworodki, dzieci

Anestezjologia Intensywna Terapia 2013, tom XLV, nr 2, 116–120

Wentylacja mechaniczna płuc służy do leczenia niewydolności oddechowej i ma na celu zapewnienie prawidłowej wymiany gazowej. Stosując tę metodę u noworodków i dzieci, należy zwracać szczególną uwagę na zminimalizowanie uszkodzenia płuc i zmniejszenie nasilenia reakcji zapalnej związanej z jej stosowaniem.

Dodatnie ciśnienie końcowo-wydechowe (PEEP, *positive end-expiratory pressure*), a więc ciśnienie rozprężające (*distending pressure*), nie dopuszcza do nadmiernego opróżnienia płuc z powietrza podczas wydechu i jest składową zarówno konwencjonalnej wentylacji mechanicznej, jak i nosowej wentylacji nieinwazyjnej, a także wsparcia oddechu własnego chorego za pomocą CPAP (*continuous positive airway*

*pressure*). Technika CPAP ma na celu zapobieganie i leczenie niedodmy, a także bezdechów zaporowych (*obstructive apnea*) i została wprowadzona przez Gregory'ego jako forma „usprawnionego” stękania wydechowego noworodków [1]. Metoda ta stanowi szeroko stosowaną formę leczenia zespołu zaburzeń oddychania (RDS, *respiratory distress syndrome*). Wartość CPAP jest praktycznie równoznaczna z ciśnieniem PEEP i średnim ciśnieniem w drogach oddechowych (MAP, *mean airway pressure*) podczas spontanicznego oddechu pacjenta wspomaganego tą techniką. Wartość nastawionego PEEP stosowanego podczas nosowego CPAP (*nasal continuous positive airway pressure*) i nieinwazyjnej wentylacji może znacznie różnić się od wartości rzeczy-

wistych, obecnych w układzie oddechowym i wahać się w zależności od tego, czy wykonuje on wdech, czy wydech, czy układ oddechowy jest szczelny oraz czy nie występuje ucieczka powietrza, na przykład przez otwarte usta. Wahania PEEP związane ze zmianą przepływu powietrza w zależności od fazy oddechowej mogą zostać zminimalizowane dzięki tak zwanemu zmienno-przepływowemu systemowi CPAP, na przykład Infant Flow SiPAP (Carefusion, San Diego, USA). W czasie wydechu, w specjalnie zbudowanej głowicy, powietrze płynące od dziecka zmienia kierunek napływu gazów tak, że nie dochodzi do wzrostu oporu wydechowego. Dzięki temu zminimalizowane są wahania CPAP/PEEP podczas całego cyklu oddechowego.

Osoba, która oddycha całkowicie samodzielnie, także wytwarza dodatnie ciśnienie końcowo-wydechowe, tak zwane „auto-PEEP”. Jest ono zwiększone u chorych z obturacją dróg oddechowych i prowadzi do zwiększenia oporów zarówno podczas wdechu, jak i wydechu. Chorzy z niewydolnością oddechową, u których słyszalne jest stękanie wydechowe, generują auto-PEEP. Gaz pozostający w pęcherzykach płucnych z jednej strony zapobiega zapadaniu się ich w czasie wydechu, pozwala utrzymać FRC i zmniejszyć pracę oddechową, ale z drugiej — zmniejsza gradient ciśnień między szparą głośni i pęcherzykami płucnymi.

Prawidłowa wymiana gazowa zależy od częstości oddechów, objętości oddechowej, oraz FRC, a więc tej części powietrza, która pozostaje w płucach po wykonaniu normalnego wydechu. U chorych leczonych za pomocą respiratora, FRC zależy od wartości MAP. To ciśnienie z kolei jest pochodną szczytowego ciśnienia wdechowego, ciśnienia PEEP, czasu wdechu i częstości oddechów. Dodatkowo ciśnienie końcowo-wydechowe jest najmniejszą wartością dodatknych ciśnień w drogach oddechowych występującą w chwili zakończenia wydechu przez chorego, ale przed rozpoczęciem kolejnego wdechu mechanicznego.

Wartości PEEP stosowanego podczas wentylacji mechanicznej są zazwyczaj dokładnie ustawiane i mierzone za pomocą respiratora. Czasami na te wartości PEEP może dodatkowo nałożyć się wartość PEEP niezamierzonego przez operatora — auto-PEEP. Proces ten nie zawsze jest dobrze widoczny. Nowoczesne respiratory pokazują rzeczywistą i nastawioną wartość tego parametru w postaci liczbowej lub w postaci krzywej oddechowej. Dodatkowo ciśnienie końcowo-wydechowe ma duże znaczenie w procesie leczenia chorych z niedodmą płuc. Bierze także udział w „otworzeniu” obszarów płuc objętych niedodmą, poprawia nieprawidłowy stosunek wentylacji do perfuzji, a więc polepsza wymianę gazową, co jest widoczne głównie pod postacią wzrostu prężności tlenu. Efekt ten jest lepiej widoczny, gdy zmienia na jest pozycja ciała chorego. Powinien być on układany na boku, z gorzej upowietrzonym płucem skierowanym do

góry. Dzięki temu jest ono lepiej wentylowane, co prowadzi do zmniejszenia obszarów niedodmy [2].

Nasuwa się pytanie, czy stopniowe zwiększanie PEEP w celu poprawy utlenowania krwi tętniczej jest lepszym rozwiązaniem niż zwiększanie PIP (*peak inspiratory pressure*) lub TV (*tidal volume*), czy postępowanie takie jest bezpieczne oraz czy lepiej zapobiega uszkodzeniu płuc związanemu z wentylacją mechaniczną zwłaszcza najmłodszych pacjentów.

Dodatnie ciśnienie końcowo-wydechowe ma wpływ nie tylko na wymianę gazową, ale również na układ krążenia. Wykazano, że jeżeli zwiększano PEEP > 10 cm H<sub>2</sub>O (0,98 kPa), w krótkim czasie (30 min), dochodziło do zmniejszenia wartości indeksu sercowego, chociaż wcześniej nie obserwowano cech niewydolności krążenia [3]. Spadek CI jest tym większy, im większe są wartości MAP.

U dzieci z ostrą niewydolnością oddechową, bez niewydolności krążenia nie wykazano korelacji między zwiększeniem wartości PEEP w zakresie 0–15 cm H<sub>2</sub>O (0–1,47 kPa) a średnią wartością indeksu sercowego, częstością tętna, ciśnieniem tętniczym, oporem naczyń obwodowych, obciążeniem następczego prawej komory [4–7].

Jeżeli stosowane są duże wartości PEEP, zmiany indeksu sercowego zależą także od objętości krwi krążącej oraz od pojemności łożyska naczyniowego [8, 9]. U chorych z hipowolemią i małym oporem naczyniowym, na przykład we wstrząsie septycznym, należy spodziewać się gwałtownego obniżania wartości CI, jeżeli zastosuje się duże wartości PEEP, zwłaszcza w połączeniu z dużymi wartościami PIP. U pacjentów, u których wypełniono łożysko naczyniowe masywnymi przetoczeniami płynów, stosowanie dużych parametrów wentylacji jest często konieczne z powodu rozwoju obrzęku płuc. Jednak u chorych z niestabilnym krążeniem, duże wartości PEEP powinny być stosowane ostrożnie, aby dodatkowo nie nasiliły niewydolności krążenia. Dodatkowo ciśnienie końcowo-wydechowe rzędu 15 cm H<sub>2</sub>O (1,47 kPa) i więcej może powodować nadmierne rozdęcie płuc i zmniejszyć rzut serca ze względu na utrudniony przepływ krwi w mikrokrążeniu płucnym, a ponadto wpływa niekorzystnie na eliminację dwutlenku węgla i nawet na utlenowanie krwi [10].

Jest niewiele prac analizujących wpływ wielkości wartości PEEP na hemodynamikę u noworodków. Wykazano zmiany pojemności minutowej serca u wcześniaków z urodzeniową masą ciała < 1500 g, u których stosowano nosowy CPAP o wartości 4,4 ± 0,9 cm H<sub>2</sub>O (0,43 ± 0,09 kPa) [11].

Dodatnie ciśnienie końcowo-wydechowe powinno być stosowane u wszystkich noworodków i dzieci, które wymagają wentylacji mechanicznej płuc. Wartości PEEP dobiera się u nich indywidualnie. Żeby ustalić optymalny PEEP podczas wentylacji mechanicznej, należy go stopniowo zwiększać o 2 cm H<sub>2</sub>O (0,2 kPa), począwszy od 5 cm

H<sub>2</sub>O (0,49 kPa). W doborze optymalnych wartości PEEP należy kierować się zmianą wartości F<sub>I</sub>O<sub>2</sub> koniecznego do uzyskania prawidłowego utlenowania krwi oraz zmianami PaCO<sub>2</sub> lub E<sub>T</sub>CO<sub>2</sub>. Najprostszą regułą jest ustalanie PEEP na poziomie 1/10 zapotrzebowania pacjenta na tlen w procentach (np. PEEP = 8 cm H<sub>2</sub>O [0,78 kPa] przy F<sub>I</sub>O<sub>2</sub> = 0,8).

U dzieci znieczulanych ogólnie, zwłaszcza gdy istnieje konieczność stosowania wysokich stężeń tlenu w mieszaninie oddechowej, powinno być używane PEEP, co zapobiega zmniejszaniu się FRC. Obniżenie FRC i powstawanie obszarów niedodmy ma związek ze zwiększoną szybkością resorpcji tlenu w pęcherzykach płucnych. W związku z tym podczas wentylacji dużymi stężeniami tlenu stopniowo narasta przeciek płucny, co pociąga za sobą ryzyko desaturacji. Powstające obszary niedodmy są dobrze widoczne na obrazach CT klatki piersiowej. Podczas znieczulenia chorych przy F<sub>I</sub>O<sub>2</sub> = 1,0 zjawisku temu zapobiega stosowanie PEEP o wartości 6 cm H<sub>2</sub>O (0,59 kPa), w przeciwieństwie do PEEP o wartości 3 cm H<sub>2</sub>O (0,29 kPa). Dodatkowo ciśnienie końcowo-wydechowe równe 5 cm H<sub>2</sub>O (0,49 kPa) jest wystarczające, jeżeli stosuje się F<sub>I</sub>O<sub>2</sub> = 0,4 w mieszaninie wdechowej, a PEEP = 3 cm H<sub>2</sub>O (0,29 kPa), jeżeli stosuje się F<sub>I</sub>O<sub>2</sub> = 0,3 [12].

W celu wyznaczenia optymalnych wartości PEEP można również posłużyć się krzywą ciśnienia i objętości, która jest wykreślana przez niektóre respiratory. Na części zstępującej tej krzywej odczytuje się ciśnienie, poniżej którego dochodzi do zapadania się pęcherzyków płucnych. Minimalna wartość PEEP nie powinna znajdować się poniżej tego punktu. Metoda ta jest jednak mało przydatna w codziennej praktyce klinicznej. Innymi sposobami optymalizacji wartości PEEP są wymuszane oscylacje oraz tomografia impedancyjna. Pierwszy z nich polega na dołączeniu specjalnego głośnika do części wdechowej respiratora i pomiarze tak zwanej podatności oscylacyjnej przy generowanym dźwięku o częstotliwości 5 Hz [13]. Tomografia impedancyjna jest nieinwazyjna, możliwa do zastosowania przy łóżku chorego za pomocą przenośnego aparatu do monitorowania i wizualizacji wentylacji oraz perfuzji różnych części płuc [14, 15].

W badaniu Saharan i wsp. [16] ustalono strategię wentylacji płuc dzieci z ARDS (*acute respiratory distress syndrome*) polegającą na zwiększaniu PEEP od 5 cm H<sub>2</sub>O (0,49 kPa) o 2–3 cm H<sub>2</sub>O (0,2–0,29 kPa) do 20 cm H<sub>2</sub>O (1,96 kPa), dążąc do uzyskania prawidłowego utlenowania krwi i wzrostu SpO<sub>2</sub> do wartości 90–95%, stosując F<sub>I</sub>O<sub>2</sub> < 0,6 oraz TV ≤ 6 mL kg<sup>-1</sup> i wartości PIP < 30 cm H<sub>2</sub>O (2,94 kPa). U chorych z ARDS, PEEP powinien być utrzymywany między 8 a 20 cm H<sub>2</sub>O (0,78–1,96 kPa). U dzieci leczonych z powodu ARDS za pomocą respiratora z zastosowaniem bardzo dużych wartości parametrów wentylacji (PIP = 72 ± 17 cm H<sub>2</sub>O (7,06 ± 1,67 kPa), MAP = 46 ± 8 cm H<sub>2</sub>O (4,5 ± 0,78 kPa), PEEP = 20 ± 5 cm H<sub>2</sub>O (1,96 ± 0,49 kPa) w porównaniu ze strategią wentylacji oszczędzającej płuca: PIP = 42 ± 2 cm H<sub>2</sub>O (4,1 ± 0,2 kPa),

MAP = 30 ± 6 cm H<sub>2</sub>O (2,94 ± 0,59 kPa), PEEP = 14 ± 2 cm H<sub>2</sub>O (1,37 ± 0,2 kPa), notowano istotnie częstsze występowanie odmy opłucnowej [17]. W grupie wentylacji oszczędzającej płuca istotnie częściej stosowano HFOV (*high frequency oscillatory ventilation*) w celu uzyskania prawidłowej wymiany gazowej. Śmiertelność była porównywalna w obu grupach [17]. Badano wpływ różnych wartości PEEP na śmiertelność wśród dorosłych z ARDS. Średnia wartość PEEP w grupie mniejszego PEEP wynosiła 8,3 cm H<sub>2</sub>O (0,81 kPa), w grupie większego — 13,2 cm H<sub>2</sub>O (1,29 kPa). W obu grupach śmiertelność była zbliżona (24,9% v. 27,5%). Między grupami nie było różnic w częstości występowania odmy opłucnowej [18]. Analizując obie prace, wydaje się, że czynnikiem zwiększającym częstość tego powikłania jest raczej PIP, a w mniejszym stopniu PEEP.

Duże wartości PEEP wpływają również na translokację bakterii. Wykazano, że szybkość i wielkość translokacji paciorkowców z grupy B z płuc do krwioobiegu u noworodków świni zmieniają się wraz z wartościami PEEP stosowanego podczas wentylacji mechanicznej oraz strategią wentylacji [19]. U zwierząt wentylowanych mechanicznie z PEEP = 15 cm H<sub>2</sub>O (1,47 kPa) bakteriami występowała średnio w ciągu 83 min, w grupie z PEEP = 5 cm H<sub>2</sub>O (0,49 kPa) bakteriami dotyczyła 90%, a średni czas, po którym doszło do translokacji, wynosił 102 min. Gdy stosowano wentylację według strategii OLC (*open lung concept*) polegającą na stopniowym zwiększaniu PEEP od 2 do 10 cm H<sub>2</sub>O (0,02–0,98 kPa) — bakteriami dotyczyła tylko 60% badanych zwierząt i występowała najpóźniej, średnio po 210 min [19].

U noworodków urodzonych przedwcześnie jednym z głównych czynników rozwoju dysplazji oskrzelowo-płucnej (BPD, *bronchopulmonary dysplasia*) jest wentylacja mechaniczna, zwłaszcza, gdy stosuje się ją od urodzenia. Dlatego z coraz większym zainteresowaniem spotyka się zastosowanie u tych chorych nieinwazyjnych metod wentylacji/wsparcia oddechu własnego. Najszerszej stosowaną metodą wsparcia oddechu własnego jest nosowy CPAP. Znalazł on szerokie zastosowanie w leczeniu wcześniaków. Stosowany jest bezpośrednio po porodzie, w zapobieganiu i terapii niewydolności oddechowej w przebiegu RDS, w zapobieganiu niewydolności oddechowej po ekstubacji i jest metodą leczenia bezdechów wcześniaczych. Leczenie ciągłym dodatnim ciśnieniem w drogach oddechowych zmniejsza zapotrzebowanie na surfaktant i częstość przekazywania pacjentów do ośrodków o wyższym stopniu referencyjności [20]. Jednak największą korzyścią jego stosowania jest zmniejszenie częstości występowania ciężkiej postaci BPD [21, 22]. Poprawia ono również przemieszczanie się płynu pęcherzykowego wytwarzanego w czasie życia płodowego ze światła pęcherzyków do przestrzeni międzypęcherzykowych, dlatego nosowy CPAP znalazł zastosowanie

w leczeniu zespołu przejściowego *tachypnoe* u donoszonych noworodków.

W pracach porównujących różne sposoby stosowania nosowego CPAP (z respiratora konwencjonalnego, za pomocą systemu Infant Flow, lub metodą *bubble* CPAP) nie wykazano przewagi żadnego z nich. W niektórych pracach pisze się o tym, że szczególnie skutecznym sposobem uzyskiwania NCPAP u wcześniaków jest stosowanie *bubble* CPAP, co wiąże się z tym, że na dodatknią wartość PEEP dodatkowo nakłada się ruch powietrza związany z bulgotaniem wody, który ma częstość 15–30 Hz, jak w pudle rezonansowym, co poprawia podatność płuc oraz wentylację [22].

Zastosowanie NCPAP z PEEP = 5 cm H<sub>2</sub>O (0,49 kPa) bezpośrednio po ekstubacji wcześniaków zmniejsza częstość występowania późnej niewydolności oddechowej, częstość ponownej intubacji oraz BPD [22]. Dwie krótkie rurki umieszczone w przewodach nosowych są skuteczniejsze niż pojedyncza rurka nosowo-gardłowa [23].

Kwestią otwartą pozostaje nadal wielkość stosowanego PEEP podczas CPAP. W badaniu COIN, do którego zakwalifikowane zostały wcześniaki urodzone w Australii między 25. a 28. tygodniem ciąży, z cechami niewydolności oddechowej, na sali porodowej stosowano nosowy CPAP o wartości PEEP 8 cm H<sub>2</sub>O (0,78 kPa). Wśród tych pacjentów stwierdzono istotnie częstsze występowania odmy opłucnowej, w porównaniu z leczonymi respiratorem, ale rzadziej występowały łącznie zgon noworodków i BPD definiowana jako zapotrzebowanie na tlen w 28. dobie [24]. Dlatego wydaje się, że wartość PEEP u wcześniaków nie powinna wynosić więcej niż 7 cm H<sub>2</sub>O (0,07 kPa). W Wielkiej Brytanii zalecana wartość PEEP stosowanego bezpośrednio po porodzie u wcześniaków mających niewydolność oddechową wynosi 4–9 cm H<sub>2</sub>O (0,39–0,88 kPa), także wtedy, gdy stosowana jest wentylacja przez nos [22]. Wykazano zmniejszenie częstości intubacji, skrócenie czasu mechanicznej wentylacji, czasu stosowania NCPAP, redukcję występowania odmy opłucnowej oraz BPD u wcześniaków, u których stosowano bezpośrednio po porodzie przez 10 s NCPAP o wartości aż 20 cm H<sub>2</sub>O (1,96 kPa), przez rurkę nosowo-gardłową, w porównaniu z grupą, w której wentylację prowadzono za pomocą aparatu AMBU [25].

Wytyczne europejskie dotyczące leczenia RDS oraz wytyczne Europejskiej Rady Resuscytacji wskazują, że podczas resuscytacji na sali porodowej należy stosować zastawkę PEEP podczas wentylacji płuc za pomocą worka AMBU i aparatu Neopuff. Optymalne wartości PEEP wynoszą od 5–7 cm H<sub>2</sub>O (0,49–0,69 kPa) [21, 22]. Stwierdzono również, że wentylacja wcześniaków 100% tlenem w porównaniu z wentylacją powietrzem zmniejsza o 20% przepływ mózgowy i gradient tlenu między pęcherzykiem płucnym i tętnicą. Stąd, zaleca się obecnie rozpoczęcie resuscytacji noworodków donoszonych tlenem 21%, a wcześniaków tlenem 30%.

Ciekawą odmianą CPAP jest stały przepływ mieszaniny tlenu i powietrza z maksymalną prędkością 2 L min<sup>-1</sup> (tzw. *high-flow*) przez dwie krótkie kaniule nosowe o średnicy 3 mm, co wytwarza PEEP o średniej wartości aż 9,8 cm H<sub>2</sub>O (0,96 kPa) [26]. Bezpieczeństwo tej metody nie jest jeszcze w pełni udowodnione [26, 27].

Reasumując, PEEP jest nieodłączną składową wentylacji przyrządowej stosowanej podczas resuscytacji, nieinwazyjnego wsparcia oddechowego oraz wentylacji nieinwazyjnej i inwazyjnej u dzieci, w tym także noworodków i wcześniaków. Wysokość PEEP nie powinna być niższa niż 5 cm H<sub>2</sub>O (0,05 kPa), a optymalna wartość PEEP — ustalana indywidualnie u każdego chorego przy uwzględnieniu nie tylko stopnia ciężkości patologii płucnej, ale również wydolności układu krążenia [28]. Aby zmniejszyć ryzyko powikłań, wartości PEEP powinny być stale mierzone.

#### Piśmiennictwo:

1. Gregory GA, Kitterman JA, Phibbs RH, Tooley WH, Hamilton WK: Treatment of the idiopathic respiratory-distress syndrome with continuous positive airway pressure. *N Engl J Med* 1971; 284: 1333–1340.
2. Falke JK, Pontoppidan H, Kumar A, Leith DE, Geffin B, Laver MB: Ventilation with end-expiratory pressure in acute lung disease. *J Clin Invest* 1972; 51: 2315–2323.
3. Kumar A, Falke KJ, Geffin B, et al.: Continuous positive pressure ventilation in acute respiratory failure. Effects on hemodynamics and lung function. *N Engl J Med* 1970; 283: 1430.
4. Saharan S, Lodha R, Kumar Kabra S: Management of acute lung injury/ARDS. *Indian J Pediatr* 2010; 77: 1296–1302.
5. Kardos A, Vereczkey G, Szentirmai C: Hemodynamic changes during positive-pressure ventilation in children. *Acta Anaesthesiol Scand* 2005; 49: 649–653.
6. Miranda DR, Gommers D, Struijs A, et al.: The open lung concept: effects on right ventricular afterload after cardiac surgery. *Br J Anesth* 2004; 93: 327–333.
7. Bruhn A, Hernandez G, Bugedo G, Castillo L: Effects of positive end-expiratory pressure on gastric mucosal perfusion in acute respiratory distress syndrome. *Crit Care* 2004; 8: R306–311.
8. Uzawa T, Ashbaugh G: continuous positive-pressure breathing in acute hemorrhagic pulmonary edema. *J Appl Physiol* 1969; 26: 427.
9. Cheney FW, Martin WE: Effects of continuous positive-pressure ventilation on gas exchange in acute pulmonary edema. *J Appl Physiol* 1971; 30: 378.
10. Sundaresan A, Chase JG, Shaw GM, Chiew YS, Desai T: Model-based optimal PEEP in mechanically ventilated ARDS patients in the Intensive Care Unit. *BioMedical Engineering OnLine* 2011; 10: 64.
11. Moritz B, Fritz M, Mann C, Simma B: Nasal continuous positive airway pressure (n-CPAP) does not change cardiac output in preterm infants. *Am J Perinatol* 2008; 25: 105–109.
12. Von Ungern-Sternberg BS, Regli A, Schibler A, Hammer J, Frei FJ, Erb TO: The impact of positive end-expiratory pressure on functional residual capacity and ventilation homogeneity impairment in anesthetized children exposed to high levels of inspired oxygen. *Anesth Analg* 2007; 104: 1364–1368.
13. Kostic P, Zannin E, Andersson Olerud M, et al.: Positive end-expiratory pressure optimization with forced oscillation technique reduces ventilator induced lung injury: a controlled experimental study in pigs with saline lavage lung injury. *Crit Care* 2011; 15: R126.
14. Riera J, Riu PJ, Casan P, Masclans JR: Electrical impedance tomography in acute lung injury. *Med Intensiva* 2011; 35: 509–517.
15. Bikker IG, Preis C, Egal M, Bakker J, Gommers D: Electrical impedance tomography measured at two thoracic levels can visualize the ventilation distribution changes at the bedside during a decremental positive end-expiratory lung pressure trial. *Crit Care* 2011; 15: R193.
16. Saharan S, Lodha R, Kabra SK: Management of acute lung injury/ARDS. *Indian J Pediatr* 2010; 77: 1296–1302.

17. Miller MP, Sagy M: Pressure characteristics of mechanical ventilation and incidence of pneumothorax before and after the implementation of protective lung strategies in the management of pediatric patients with severe ARDS. *Chest* 2008; 134: 969–973.
18. The national Heart, Lung, and Blood Institute ARDS Clinical Trials Network. Higher versus lower positive end-expiratory pressures in patients with the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 2004; 22: 327–336.
19. Lachmann RA, Kaam AH, Haitsma JJ, Lachmann B: High positive end-expiratory pressure levels promote bacterial translocation in experimental pneumonia. *Intensive Care Med* 2007; 33: 1800–1804.
20. De Winter JP, de Vries MAG, Zimmermann LJI: Noninvasive respiratory support in newborns. *Eur J Pediatr* 2010; 169: 777–782.
21. Sweet DG, Carnielli V, Greisen G, et al.: European consensus guidelines on the management of neonatal respiratory distress syndrome in preterm infants — 2010 Update. *Neonatology* 2010; 97: 402–417.
22. Davis PG, Morley CJ, Owen LS: Non-invasive respiratory support of preterm neonates with respiratory distress: Continuous positive airway pressure and nasal intermittent positive pressure ventilation. *Semin Fetal Neonatal Med* 2009; 14: 14–20.
23. Davis P, Davies M, Faber B: A randomized controlled trial of two methods of delivering nasal continuous positive airway pressure after extubation to infants weighing less than 1000 g: binasal (Hudson) versus single nasal prongs. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2001; 85: F82–F85.
24. Morley CJ, Davis PG, Doyle LW, Brion LP, Hascoet JM, Carlin JB: Nasal CPAP or intubation at birth for very preterm infants. *N Engl J Med* 2008; 358: 700–708.
25. tePas AB, Walther FJ: A randomized, controlled trial of delivery-room respiratory management in very preterm infants. *Pediatrics* 2007; 120: 322–329.
26. Campbell DM, Shah PS, Shah V, Kelly EN: Nasal continuous positive airway pressure from high flow cannula versus infant flow for preterm infants. *J Perinatol* 2006; 26: 546–547.
27. Locke RG, Wolfson MR, Shaffer TH, Rubenstein SD, Greenspan JS: Inadvertent administration of positive end-expiratory pressure during nasal cannula flow. *Pediatrics* 1993; 91: 135–138.
28. Ramanathan R: Optimal Ventilatory strategies and surfactant to protect the preterm lungs. *Neonatology* 2008; 93: 302–308.

**Adres do korespondencji:**

dr n. med. Iwona Dąbrowska-Wójciak  
Oddział Kliniczny Intensywnej Terapii  
i Anestezjologii UM  
ul. Sporna 36/50, 91–738 Łódź  
tel: 42 61 77 740  
faks: 42 61 77 989  
e-mail: iwonadw@wp.pl

Otrzymano: 23.03.2012 r.  
Zaakceptowano: 28.01.2013 r.