

HFOV – WENTYLACJA WYSOKIMI CZĘSTOTLIWOŚCIAMI – ZASTOSOWANIE W INTENSYWNEJ TERAPII NOWORODKÓW

HFOV – HIGH FREQUENCY VENTILATION – USE IN NEONATE INTENSIVE CARE UNIT

Agata Jankowska¹, Patrycja Kałużna¹, Beata Łoniewska¹

STRESZCZENIE

Wentylacja oscylacyjna wysokimi częstotliwościami (HFOV - high frequency oscillatory ventilation) jest typem wentylacji mechanicznej, która stosowana jest u noworodków z niewydolnością oddechową, przede wszystkim jako metoda ratunkowa, gdy konwencjonalna mechaniczna wentylacja zawodzi. Mała objętość oddechowa stosowana w tej metodzie zmniejsza ryzyko rozwoju powikłań mechanicznej wentylacji: uszkodzenia płuc, a w przyszłości przewlekłej choroby płuc (ang. chronic lung disease – CLD). Zastosowanie HFOV razem z gwarantowaną objętością (ang. volume guarantee – VG) umożliwia kontrolę średniego ciśnienia w drogach oddechowych i skuteczną wymianę gazową. Dzięki temu zmniejsza się liczba późnych powikłań mechanicznej wentylacji jak również skróceniu ulega czas jej trwania. Kontrolowane, automatyczne dozowanie tlenu (autoFiO₂), stosowane w tej oraz innych metodach wentylacji, zapobiega długotrwałemu narażeniu na niekorzystne działanie zarówno hypoksji, jak i hyperoksji.

SŁOWA KLUCZOWE: wentylacja oscylacyjna wysokimi częstotliwościami, autoFiO₂, gwarantowana objętość, wentylacja mechaniczna, noworodek

ABSTRACT

High frequency oscillatory ventilation (HFOV) is a type of mechanical ventilation, which is used in neonates with respiratory failure, especially as a rescue method, when conventional mechanical ventilation fails. Small respiratory volume used in this method makes the risk of development of mechanical ventilation complication such as lung injury, chronic lung disease in a future smaller. The use of HFOV together with volume guarantee (VG) helps to control mean airway pressure and efficient gas changing. Owing to this, the number of late complications of mechanical ventilation is reduced and the time of duration of invasive respiratory support is shorter. Controlled, automatic oxygen dosing (auto FiO₂) used in HFOV as well as in other ventilation methods, prevents long lasting harmful exposure to hypo- and hyperoxia.

KEY WORDS: high frequency oscillatory ventilation, autoFiO₂, volume guarantee, mechanical ventilation, newborn

WSTĘP

Niewydolność oddechowa to częsty problem noworodków, zwłaszcza urodzonych przedwcześnie. Przed wprowadzeniem mechanicznej wentylacji część pacjentów z zaburzeniami oddychania nie miała szans na przeżycie, szczególnie dotyczyło to skrajnych wcześniaków.

Od kiedy po raz pierwszy w 1960 roku zastosowano mechaniczną wentylację jako metodę ratunkową u noworodka z niewydolnością oddechową, przeżywalność tej grupy pacjentów znacznie się zwiększyła [1].

Inwazyjnego wsparcia oddechu po porodzie zwykle wymagają noworodki z zespołem zaburzeń oddychania, depresją ośrodka oddechowego, ciężkim zakażeniem, zespołem aspiracji smółki, pierwotnym nadciśnieniem płucnym, wrodzonymi wadami płuc czy serca, encefalopatią niedotlenieniowo-niedokrwienną, a także z innymi schorzeniami upośledzającymi wymianę gazową i prowadzącymi do kwasicy oddechowej lub mieszanej. Zastosowanie mechanicznej wentylacji umożliwia optymalną rekrutację pęcherzyków płucnych, poprawie ulega stosunek wentylacji do

perfuzji, a więc wymiana gazowa, lepsza jest wentylacja minutowa, a także obserwuje się mniejszy wysiłek oddechowy [1, 2, 3].

Wsparcia oddechowego wymagają noworodki urodzone przedwcześnie, których płuca jeszcze nie osiągnęły pełnej dojrzałości, a ich struktura jest bardzo delikatna. Należy pamiętać o tym, że mechaniczna wentylacja nie tylko ratuje życie, lecz również jest przyczyną powikłań. Najczęstszym powikłaniem obserwowanym u noworodków urodzonych przedwcześnie jest przewlekłe uszkodzenie płuc, prowadzące do dysplazji oskrzelowo-płucnej. Celem leczenia wspomagającego układ oddechowy jest umiejętne korzystanie z dostępnych trybów wentylacyjnych, dostosowanych do potrzeb noworodka, aby uniknąć lub zminimalizować uszkodzenie płuc. Obecnie wiadomo, że częstość i ciężkość powikłań ma związek z czasem stosowania mechanicznej wentylacji [1, 4]. Nie bez znaczenia jest także typ stosowanej wentylacji. Obecnie wyróżnia się dwa główne rodzaje wentylacji: wentylację konwencjonalną i wentylację wysokimi częstotliwościami.

¹ Klinika Patologii Noworodka SPSK2 PUM w Szczecinie

Adres do korespondencji: Agata Jankowska, Klinika Patologii Noworodka SPSK 2 PUM w Szczecinie, al. Powstańców Wielkopolskich 72, 70-111 Szczecin, e-mail: agatajankowska@hotmail.com, tel. 79 784 31 48

KONWENCJONALNA MECHANICZNA WENTYLACJA VS MECHANICZNA WENTYLACJA WYSOKIMI CZĘSTOTLIWOŚCIAMI

Konwencjonalna mechaniczna wentylacja (ang. conventional mechanical ventilation – CMV) zapewnia wymianę objętości gazów, zbliżoną do fizjologicznej objętości oddechowej (5–15 ml/kg), przepływ gazów jest niski, wydech jest bierny, wentylacja minutowa jest wynikiem częstości oddechów i objętości oddechowej. W zależności od tego, w jaki sposób będziemy regulować podawane objętości oddechowe, ten rodzaj wentylacji możemy dodatkowo podzielić na wentylację ciśnieniową i objętościową.

Wentylacja wysokimi częstotliwościami (ang. high frequency ventilation – HFV) dostarcza oddechy z częstotliwością od 300 do 1500 na minutę (5–25 Hz) [1, 5]. Zaletą tej metody jest podawanie bardzo małych objętości gazów, tak aby zmniejszyć ryzyko urazu objętościowego. Ciągłe wysokie ciśnienie w drogach oddechowych wraz z dużą częstotliwością oddechów ma na celu uniknięcie cykli „wdech-wydech”, które są traumatyzujące dla tkanki płucnej. Metoda ta jest stosowana jako terapia ratunkowa, jeśli wentylacja konwencjonalna jest niewystarczająca. Głównym wskazaniem do jej zastosowania są zespoły ucieczki powietrza: odma opłucnowa, śródpiersiowa, rozedma śródmiąższowa, przetoka oskrzelowo-płucna, rzadszym wskazaniem jest zespół aspiracji smółki (ang. meconium aspiration syndrome – MAS) czy nadciśnienie płucne [6]. Nie ma bezwzględnych przeciwwskazań do stosowania HFV, ale ta forma wentylacji może być mniej efektywna w przypadku chorób z wysokim ciśnieniem w klatce piersiowej i obniżonym oporem płucnym. Wówczas ten typ wentylacji może prowadzić do pułapki powietrznej i hyperinflacji, czyli nadmiernego upowietrzenia płuc, a w konsekwencji do barotraumy i zespołów ucieczki powietrza: odmy opłucnowej, rozedmy śródmiąższowej, odmy śródpiersiowej. Metody tej powinno się unikać również u pacjentów z krwawieniem dokomorowym (ang. intraventricular haemorrhage – IVH) czy ciężką sepsą [3, 7, 8].

Wentylacja wysokimi częstotliwościami może być użyta w dwojaki sposób, jako wentylacja oscylacyjna wysokimi częstotliwościami (HFOV - high frequency oscillatory ventilation) oraz wentylacja strumieniowa o wysokiej częstotliwości (HFJV - high frequency jet ventilation) [1].

HFOV dostarcza małe objętości oddechowe podczas drgania przepony lub tłoka urządzenia, z częstotliwością 600 do 900 na minutę (10-15 Hz), co powoduje oscylacyjny ruch dostarczanej mieszanki gazów. U noworodków donoszonych terapia rozpoczyna się zwykle od 8-10 Hz, natomiast u wcześniaków 12-15 Hz [6]. Ciśnienie w drogach oddechowych waha się w granicach nastawionego średniego ciśnienia w drogach oddechowych (MAP - mean airway pressure). Prowadzi to do rekrutacji pęcherzyków płucnych, pozwala uniknąć stosowania niskich ciśnień

końcowo-wydechowych oraz wysokich ciśnień szczytowo-wdechowych. Wyższe wartości MAP wiążą się z lepszym utlenowaniem krwi. Objętość oddechowa (nazywana również amplitudą) jest mała w trakcie terapii HFOV, zwykle mniejsza lub równa anatomicznej przestrzeni martwej płuc. Amplituda zależy od rozmiaru rurki intubacyjnej oraz częstości oddechów - mniejsza amplituda jest stosowana jeśli rozmiar rurki jest mały lub częstotliwość oddechów jest duża [5]. Istnieje możliwość ustawienia na aparacie amplitudy, częstotliwości drgań, średniego ciśnienia w drogach oddechowych, czasu wdechu oraz stężenia tlenu w mieszaninie gazowej (FiO₂). W tym trybie zarówno wdech, jak i wydech są procesami aktywnymi [1, 7, 9, 10].

HFJV jest stałym strumieniowym przepływem gazu, przerywanym dodatkowymi oddechami, które są podawane z częstotliwością 2–10 na minutę. Mają one na celu zapobieganie niedodmie u pacjenta, nazywane są również westchnieniami (ang. sigh breaths). W tej metodzie są stosowane specjalne rurki intubacyjne z cienkim przewodem, przez który jest podawany strumień wdechowy gazów. Możliwe jest ustawienie ciśnienia szczytowo-wdechowego (ang. peak inspiratory pressure – PIP) dla obu rodzajów wdechów, dodatniego ciśnienia końcowo-wdechowego (ang. positive end-expiratory pressure – PEEP), częstotliwości oddechów strumieniowych (zwykle 420 na minutę), czasu otwarcia zaworu strumienia wdechowego (zwykle 0,02 sekundy) oraz stężenia tlenu w mieszaninie oddechowej. Wydech, w przeciwieństwie do HFOV, jest bierny [1, 7].

U noworodków zwykle jest stosowany tryb HFOV. Tryb ten jest przydatny szczególnie u pacjentów z ciężką niewydolnością oddechową, która powoduje przewlekłe upośledzenie wymiany gazowej, w związku z tym wymagających wysokich ciśnień wdechowych (ang. positive inspiration pressure – PIP), wynoszących 28–30 cm H₂O, lub MAP przekraczającego 12 cm H₂O. Dzięki zastosowaniu wentylacji wysokimi częstotliwościami dochodzi do prawidłowej wentylacji pęcherzykowej przy małych objętościach oddechowych (2 ml/kg), co poprawia utlenowanie, a także zmniejsza uszkodzenie płuc [1, 9].

U bardziej niedojrzałych pacjentów konieczne jest stosowanie początkowo wyższych częstotliwości. Amplituda ustalana jest na podstawie obserwacji drgań klatki piersiowej - ich pojawienie się świadczy o prawidłowo dobranym parametrze [3, 7].

HFOV pomimo zalet nie jest metodą z wyboru. Ten typ wentylacji zwykle jest stosowany jako metoda ratunkowa, jeśli konwencjonalna wentylacja mechaniczna jest nieskuteczna. Obecnie są prowadzone liczne wielośrodkowe badania porównujące konwencjonalną metodę wentylacji z HFOV. W większości publikowanych prac skuteczność obu metod wentylacji jest porównywalna. Badania prowadzone w grupie noworodków urodzonych w 27–30 tygodniu ciąży z rozpoznaniem zespołem zaburzeń oddychania (ang. respiratory distress syndrome – RDS). Zarówno w grupie wentylowanej metodą CVM, jak i HFOV

liczba dzieci z rozpoznaną dysplazją oskrzelowo-płucną w 36 tygodniu życia skorygowanego oraz śmiertelność były podobne. Nie znaleziono również istotnych statystycznie różnic w występowaniu IVH III lub IV stopnia czy leukomalacji okołokomorowej. Występowanie poważnych powikłań neurologicznych było podobne w obu grupach [1, 2, 3, 9, 11].

Aby poprawić jakość HFOV, zaczęto poszukiwać metod, które usprawniłyby ten rodzaj wentylacji. Efektywna wymiana gazowa jest zależna od objętości oddechowej, która w HFOV jest równa lub mniejsza od przestrzeni martwej. Objętość oddechowa wydychana ma kluczowe znaczenie dla eliminacji dwutlenku węgla (CO_2). Jest ona zależna między innymi od średniego ciśnienia w drogach oddechowych jak również od częstotliwości oddechów. Nie bez znaczenia jest rozmiar rurki intubacyjnej lub tracheostomijnej oraz podatność płuc. Monitorowanie wielkości wydychanej objętości oddechowej jest bardzo pomocne w prognozowaniu eliminacji dwutlenku węgla. Ponieważ w niektórych nowszych respiratorach z opcją HFOV jest możliwość bezpośredniego ustawienia stałej objętości oddechowej, postanowiono to wykorzystać i zastosować HFOV z objętością gwarantowaną (ang. volume guarantee – VG) dla lepszej wymiany gazowej. W większości przeprowadzonych badań objętość oddechowa wynosiła 2 ml/kg [7, 12, 13]. Okazało się, że dzięki zastosowaniu metody wentylacji HFOV + VG zmniejszyła się ilość pCO_2 we krwi badanych pacjentów z jednoczesnym wzrostem zawartości CO_2 w wydychanym powietrzu. To umożliwiło modyfikację objętości oddechowej w zależności od stanu gazometrycznego pacjenta. Wiadomo, że hyperkapnia powoduje wzrost przepływu mózgowego z jednoczesnym większym ryzykiem krwawienia dokomorowego. Być może dzięki metodzie HFOV + VG uda się zmniejszyć występowanie tego powikłania, co z pewnością zmniejszy ryzyko powikłań neurologicznych. Ponadto wentylacja małymi objętościami zdecydowanie zmniejsza występowanie uszkodzenia płuc spowodowanego mechaniczną wentylacją, a tym samym ogranicza rozwój ciężkiej dysplazji oskrzelowo-płucnej w późniejszym czasie. Metoda ta jednak wymaga dalszych badań [7, 10].

Kolejną modyfikacją HFOV jest stosowanie tej metody z automatycznym dozowaniem tlenu (auto FiO_2). Dotychczas automatyczne dozowanie tlenu wykorzystane było w konwencjonalnych trybach wentylacji. Wiadomym jest, że zarówno hyperoksja jak i hypoksja wywierają niekorzystny wpływ na rozwijającego się noworodka. Urządzenia wyposażone w automatyczne dozowanie tlenu, odczytując aktualną saturację pozwalają na zwiększenie lub zmniejszenie dozowania tlenu w zależności od aktualnej wartości wysycenia tlenem krwi pacjenta. Najkorzystniejszy przedział utlenowania w trakcie wspomaganego oddechowego noworodka to saturacja w zakresie między 90-95%. Wartości poniżej 85%, a zwłaszcza poniżej 80% - ciężka hypoksja, związane są z częstszym występowaniem bradykardii, dysplazji oskrzelowo-

-płucnej, martwiczego zapalenia jelit (NEC - necrotizing enterocolitis), gorszym rozwojem neurologicznym noworodków i zwiększoną śmiertelnością. Wartości saturacji powyżej 95% (hyperoksja) związane są z częstszym występowaniem retinopatii wcześniczej (ROP- retinopathy of prematurity) i przewlekłą chorobą płuc (ang CLD - chronic lung disease). Jedynym mankamentem tej metody jest opóźniona reakcja na aktualny odczyt saturacji pacjenta, która może trwać nawet do 10 sekund. Skutkuje to przedłużonym narażeniem pacjenta na hypoksję lub hyperoksję oraz wystąpienie późnych powikłań [14].

PODSUMOWANIE

Wentylacja mechaniczna wysokimi częstotliwościami (HFOV) umożliwia wentylację małymi objętościami, co zapewnia prawidłową wentylację pęcherzykową, minimalizuje przy tym ryzyko uszkodzenia płuc. Jest metodą stosowaną jako metoda ratunkowa, jeśli inny typ wentylacji nie jest skuteczny, a nawet jako metoda pierwszego wyboru u skrajnych wcześniaków, u których płuca są bardzo niedojrzałe i delikatne.

Ostatnio opublikowane badania wykazały, że HFOV w porównaniu z klasycznymi trybami wentylacji efektywnie poprawia utlenowanie i zmniejsza śmiertelność krytycznie chorych dzieci z ostrym RDS przy jednoczesnym minimalnym negatywnym wpływie hemodynamicznym [9]. Stosowanie tej metody wentylacji na oddziałach intensywnej terapii noworodków jest szczególnie zalecane u pacjentów z MAS, wrodzoną przepukliną przeponową, ciężkim nadciśnieniem płucnym, a także u pacjentów z zespołami ucieczki powietrza.

Być może w przyszłości metoda HFOV w połączeniu z VG i auto FiO_2 umożliwi stosowanie tego typu wentylacji jako metody z wyboru u wszystkich noworodków z niewydolnością oddechową, wymagających mechanicznej wentylacji.

PIŚMIENNICTWO

1. Eichenwald EC, Martin R, Kim MS. Mechanical ventilation in neonates. UpToDate 2021.
2. Omer Erdeve, Emel Okulu, Gaffari Tunc i wsp. An observational, prospective, multi center study on rescue high-frequency oscillatory ventilation in neonates failing with conventional ventilation. Plos One Jun 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217768>
3. Kaizhen Jiu, Long Chen, Jing Xiong, Shuqin Xie, Yuan Hu, Yuan She. HFOV vs CMV for neonates with moderate-to-severe perinatal onset acute respiratory distress syndrome (NARDS): a propensity score analysis. European Journal of Ped. <https://doi.org/10.1007/s00431-021-03953-z>.
4. Kordek A. Stany nagłe. Neonatologia.
5. Hyzy RC, Parsons PE, Finlay G. High-frequency ventilation in adults. UpToDate 2021.
6. Piotrowski A. Niewydolność oddechowa noworodków. alfa medica press 2016:108–113.
7. Manuel Sanchez Luna, Martin Santos Gonzalez, Francisco Tendillo Cortijo. High frequency oscillatory ventilation combined with volume guarantee in a neonatal animal model of respiratory distress syndrome. Critical Care Res and Practice 2013, art ID 593915.
8. Pooja R. Murthy, Ajith Kumar AK. High frequency ventilation. UpToDate 2021.

9. Mei-Chin Yang, Jen-Fu Hsu, Hsiu-Feng Hsiao i wsp. Use of high frequency oscillatory ventilator in neonates with respiratory failure: the clinical practice in Taiwan and early multimodal outcome prediction. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63655-8>.
10. Lih-Ju Chen, Jia-Yuh Chen. Effect of high-frequency oscillatory ventilation combined with volume guaranteed preterm infants with hypoxic respiratory failure. *J Chin Med Assoc*: 861–864.
11. Meyers M, Rodrigues N, Ari A i wsp. High-frequency oscillatory ventilation: A narrative review. *Can J Respir Ther* Apr 2019;55:40–46.
12. Abhrajit Ganguly, Abhishek Makkar, Krishnamurthy Sekar. Volume target ventilation and high frequency ventilation as the primary modes of respiratory support for ELBW babies: What does the evidence say. *Frontiers in Bed* Feb 2020;8:Art 27.
13. Bogal J, Solevag AL, O'Reilly M, Lee Tze-Fun, Joint C, Hornberger LK, Schmolzer GM, Cheung Po-Yin. Hemodynamic effects of high frequency oscillatory ventilation with volume guarantee in a piglet model of respiratory distress syndrome. *Plos One* Feb 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246996>
14. Mitra S, Singh B, El-Naggar W, McMillan DD. Automated versus manual control of inspired oxygen to target oxygen saturation in preterm infants: a systemic review and metaanalysis. *Journal of Perinatology*. <http://doi.org/10.1038/s41372-017-0037-z>.

data przyjęcia pracy – 2.07.2021

data akceptacji – 22.07.2021