

Wpływ jednostronnego PEEP na biomechanikę obu płuc podczas niezależnej wentylacji u chorych znieczulanych do zabiegów torakochirurgicznych

Effects of unilateral PEEP on biomechanics of both lungs during independent lung ventilation in patients anaesthetised for thoracic surgery

Katarzyna Trela-Stachurska, Andrzej Nestorowicz, Edyta Kotlińska-Hasiec, Sławomir Sawulski, Wojciech Dąbrowski

Katedra i i Klinika Anestezjologii i Intensywnej Terapii Uniwersytetu Medycznego w Lublinie

Abstract

Background: Synchronous independent lung ventilation (ILV) is the treatment of choice for unilateral pathology of lung parenchyma. Numerous studies have documented the improved blood oxygenation and clinical efficacy of this procedure. The aim of the present study was to evaluate the effects of ILV on the selected biomechanical parameters of the lungs.

Method: The study involved ASA I-II patients undergoing thoracic surgery in the lateral decubitus position under the standard conditions of general anaesthesia with the thoracic cavity closed. ILV with equal separation of the tidal volume was performed with a prototype volume separator, using incremental a PEEP of 0–15 cm H₂O in the dependent lung. Peak pressures, dynamic compliance and airway resistance of both lungs were evaluated.

Results: The study included 36 patients. In all of the patients, a PEEP of 5–15 cm H₂O in one lung increased its peak pressures, dynamic compliance and resistances, and variably affected the biomechanical parameters of the other lung. Irrespective of patient positioning on the right or left side, the highest compliance was recorded at a PEEP of 10 cm H₂O.

Conclusions: In ILV, peak pressures and airway resistances are higher in the dependent lung compared to compliances in the non-dependent lung. ILV with a PEEP of 5–15 cm H₂O increases the biomechanical parameters of the dependent lung while variably influencing the parameters in the non-dependent lung.

Key words: lung ventilation, independent, biomechanics; lung ventilation, independent, PEEP; anaesthesia, thoracic surgery

Słowa kluczowe: wentylacja płuc, niezależna, biomechanika; wentylacja płuc, niezależna, PEEP; znieczulenie, torakochirurgia

Anestezjologia Intensywna Terapia 2015, tom XLVII, nr 1, 1–7

Należy cytować angielską wersję:

Trela-Stachurska K, Nestorowicz A, Kotlińska-Hasiec E, Sawulski S, Dąbrowski W: Effects of unilateral PEEP on biomechanics of both lungs during independent lung ventilation in patients anaesthetised for thoracic surgery. Anaesthesiol Intensive Ther 2015; 47: 1–6.

Sztuczna wentylacja płuc jest często najważniejszą formą leczenia, ratującą życie. Pomimo niezaprzeczalnych korzyści, jakie niesie, jest ona również przyczyną wielu efektów niepożądanych, zarówno ogólnoustrojowych, jak i miejscowych — płucnych [1, 2].

Jednym z miejscowych skutków nieprawidłowo dobranej sztucznej wentylacji może być niedodma płuc. Jest ona częstym i szkodliwym zjawiskiem występującym zarówno u chorych poddanych znieczuleniu, jak i wymagających intensywnej terapii [1, 3–6]. Stosowane sposoby jej leczenia, takie jak popularne manewry rekrutacyjne z udziałem dodatniego ciśnienia końcowo-wydechowego (PEEP, *positive end-expiration pressure*), poprzez zwiększenie czynnościowej pojemności zalegającej (FRC, *functional residual capacity*), upowietrzają zapadnięte pęcherzyki i korzystnie wpływają na wymianę gazową w płucach, poprawiając utlenowanie krwi. Stosowanie PEEP, samo przez się, zapobiega licznym reakcjom niepożądanym, u podłoża których leży niedodma pęcherzykowa.

Niedodma płuc nie zawsze ma charakter symetryczny. Zdarza się, że patologia ta dotyczy tylko jednego płuca lub jego części, jak na przykład w przypadku ARDS (*acute respiratory distress syndrome*), nowotworów płuc, jednostronnego urazu klatki piersiowej lub przetoki oskrzelowo-opłucnowej. Występuje też, prawie zawsze, podczas wykonywania znieczuleń do zabiegów torakochirurgicznych. Jej efektem są niejednorodność czynnościowa oraz morfologiczna układu oddechowego. Lateralizacja uszkodzenia mięszu płucnego powoduje odmienną podatność oraz zróżnicowanie oporu dróg oddechowych obu płuc. Dystrybucja gazów oddechowych jest w tym przypadku niesymetryczna, a konwencjonalna wentylacja nie może rozprężyć obszarów niedodmowych, powoduje natomiast nadmierne rozdęcie zdrowego fragmentu mięszu z jego następczym uszkodzeniem, co w efekcie prowadzi do pogorszenia wymiany gazowej w płucach [7]. Dodatkowo, przepływ warstwowy gazów zmienia się na mniej efektywny przepływ turbulentny [7, 8]. Nasila się różnica pomiędzy siłami retrakcji a siłami utrzymującymi powietrzość pęcherzyków płucnych, co wpływa niekorzystnie na tworzenie surfaktantu przez pneumocyty II rzędu. Pozycja na plecach pogarsza przepływ gazów oddechowych i pogłębia istniejącą niedodmę poprzez niekorzystny wpływ ciśnienia śródbrzusznego czy grawitacyjnego oddziaływania poszczególnych stref mięszu płucnego [9, 10].

Sposobem leczenia w takich stanach jest niezależna wentylacja płuc (ILV, *independent lung ventilation*), która polega na odrębnym upowietrzaniu każdego płuca parametrami oddechowymi przystosowanymi do ich aktualnej kondycji. Wymaga ona wykonania intubacji dooskrzelowej i jest zazwyczaj stosowana za pomocą dwóch respiratorów pracujących w trybie synchronicznym lub asynchronicznym.

Inna metoda polega na wykorzystaniu jednego respiratora oraz rozdzielnika objętości oddechowej. Strumień objętości oddechowej poprzez dwa oddzielne układy oddechowe dociera do płuc, a gazy wydechowe są z nich ewakuowane poprzez niezależne układy wydechowe. Rozdzielnik jest wyposażony w zastawki PEEP, dzięki czemu można stosować różne wartości ciśnienia końcowo-wydechowego dla każdego płuca z osobna [11–13].

Poprawa utlenowania krwi w trakcie ILV z użyciem PEEP, jest szeroko udokumentowana licznymi badaniami, brak natomiast analiz oceniających jej wpływ na biomechanikę układu oddechowego. Podjęte badania miały na celu ustalenie wpływu niezależnej synchronicznej wentylacji płuc z zastosowaniem wzrastających wartości dodatniego ciśnienia końcowo-wydechowego w płucu nieoperowanym na wybrane parametry biomechaniczne płuc u chorych poddawanych zabiegom torakochirurgicznym.

METODYKA

Po uzyskaniu zgody Komisji Bioetycznej przy Uniwersytecie Medycznym w Lublinie, badaniami objęto chorych poddanych planowym operacjom płuc w znieczuleniu ogólnym dooskrzelowym. Z badań wykluczono osoby z obciążeniami ze strony układu sercowo-naczyniowego, z przewlekłą obturacyjną chorobą płuc (POChP), szczególnie ze współistniejącą rozedmą, po wcześniejszych torakotomiach oraz w przypadku niemożliwego lub przewidywanego trudnego rozdziału wentylacji.

Wszystkich chorych premedykowano doustnie diazepamem w dawce 10 mg, godzinę przed planowanym zabiegiem. Przed indukcją znieczulenia stosowano preoksygenację, podawano 5 $\mu\text{g kg}^{-1}$ fentanylu oraz 0,5 mg atropiny. Indukcję znieczulenia prowadzono przy użyciu propofolu 1 mg kg^{-1} oraz suksametonium 1 mg kg^{-1} , następnie tchawicę intubowano rurkami dwuświatłowymi Robertshawa, odpowiednio przeciwstawnymi do strony operowanej. Ich prawidłowe położenie weryfikowano fiberoskopem.

Wentylację płuc prowadzono metodą IPPV (*intermittent positive pressure ventilation*) w trybie kontrolowanym objętością, respiratorem anestetycznym aparatu do znieczulenia Primus (Dräger, Niemcy). W czasie wykonywania badań stosowano następujące parametry wentylacji: VT 6–8 ml kg^{-1} , f 12–15 min^{-1} i $F_{\text{I}}\text{O}_2$ 0,35. Znieczulenie podtrzymywano dawkami frakcjonowanymi fentanylu 0,001 mg kg^{-1} oraz sewofluranem w stężeniu 1–2 vol%, a zwiotczenie mięśni podażą wekuronium 0,1 mg kg^{-1} .

W czasie trwania operacji monitorowaniem ciągłym objęto EKG, HR, SpO_2 , ETCO_2 oraz co 5 minut SAP i DAP — mierzone metodą nieinwazyjną.

Niezależną, synchroniczną wentylację płuc z równym rozdziałem objętości oddechowej w stosunku 1:1 prowadzono przy użyciu rozdzielnika objętości konstrukcji Instytutu

Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej Polskiej Akademii Nauk (IBiB PAN).

Pomiary miały charakter sekwencyjny i wykonywano je u chorych przed rozpoczęciem operacji, przy zamkniętej klatce piersiowej. Rejestracji danych dokonywano w ułożeniu chorych na boku lewym lub prawym, gdzie płucem zależnym było płuco dolne (nieoperowane), czyli to, w którym stosowano PEEP.

Według przyjętego algorytmu badań, pomiary rozpoczynano podczas wentylacji bez dodatniego ciśnienia końcowo-wydechowego, a następnie przy wartości PEEP 5, 10, 15 cm H₂O. Ocenie poddano ciśnienie szczytowe, podatność dynamiczną oraz opór w obu płucach. Rejestracji danych dokonano przy udziale analizatora Florian (Acutronic, Niemcy) po upływie 10 minut od wdrożenia kolejnego etapu badań.

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej. Parametry biomechaniczne zostały scharakteryzowane za pomocą mediany, średniej, kwartyla górnego, dolnego z podaniem zakresu zmienności oraz odchylenia standardowego. Ze względu na skośny rozkład danych, potwierdzony testem Shapiro-Wilka oraz niejednorodność wariancji, ocenianej testem F-Fishera, do analiz różnic pomiędzy grupami zastosowano testy nieparametryczne. Do porównania dwóch grup niezależnych użyto testu *U* Manna-Whitneya, natomiast do porównania dwóch grup zależnych użyto testu kolejności par Wilcoxon. Przyjęto 5% błąd wnioskowania i związany z nim poziom istotności $p < 0,05$.

WYNIKI

Badaniami objęto 36 chorych (7 kobiet i 29 mężczyzn). Średnia wieku chorych wynosiła $50,2 \pm 12,9$ roku, masa ciała $79,5 \pm 11,2$ kg, wzrost $168,8 \pm 12,5$ cm, a wskaźnik masy ciała (BMI, *body mass index*) $27,8 \pm 0,75$ kg m⁻². Ocena stanu klinicznego chorych przed znieczuleniem przy użyciu skali ASA, ujawniła 11 osób ASA I i 25 osób ASA II.

Ocena układu oddechowego dokonana na podstawie parametrów równowagi kwasowo-zasadowej krwi tętniczej wykonana u chorych w czasie spontanicznego oddychania powietrzem atmosferycznym w dniu poprzedzającym operację wykazała: pO_2 — $80,0 \pm 15,0$ mm Hg, pCO_2 — $35,2 \pm 3,7$ mm Hg. Podstawowe parametry spirometryczne wynosiły odpowiednio: FVC (*forced vital capacity*) — 3970 ± 858 ml, co stanowiło $108,1 \pm 11,9$ % normy należnej, a FEV₁ (*forced expiratory volume in one second*) — 2980 ± 715 ml s⁻¹, czyli $82,6 \pm 6,4$ % wartości należnej.

W grupie 36 badanych chorych, 18 osób zostało zakwalifikowanych do operacji prawego płuca i 18 do torakotomii lewostronnej. U 8 chorych zastosowano dwuświatłową rurkę intubacyjną nr 37, u 17 nr 39, a u 11 nr 41.

Najczęściej wykonywaną operacją była lobektomia (16 przypadków) następnie resekcja klinowa guza (6 przy-

padków), torakotomia zwiadowcza (5 przypadków), pneumonektomia (5 przypadków), wideotorakoskopia (4 przypadki). U wszystkich badanych przebieg znieczulenia i operacji był niepowikłany. Po zakończeniu zabiegu i rutynowym wyprowadzeniu chorych ze stanu znieczulenia, transportowano ich na oddział pooperacyjny w celu kontynuacji leczenia.

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że podczas niezależnej wentylacji płuc w ułożeniu chorych na boku wartości ciśnień szczytowych oraz oporów dróg oddechowych były większe, a podatności dynamicznej mniejsze w płucu zależnym. Zastosowanie PEEP 5–10–15 cm H₂O w jednym płucu powodowało zwiększenie w nim ciśnień szczytowych, podatności oraz oporów przy jednoczesnym zróżnicowanym wpływie na parametry biomechaniczne drugiego płuca. Niezależnie od ułożenia chorego na boku prawym czy lewym, największe wartości podatności dynamicznej w płucu zależnym rejestrowano przy zastosowaniu PEEP 10 cm H₂O. W porównaniu z drugim płucem, opór dróg oddechowych w płucu zależnym zwiększał się, spaktakularnie zwłaszcza w przypadku płuca prawego. Szczegółowe dane dotyczące badanych parametrów biomechanicznych płuc zestawiono w tabelach 1 i 2.

DYSKUSJA

Powikłania płucne wynikające ze stosowania różnorodnych trybów konwencjonalnej wentylacji wiążą się często ze specyficzną dla każdej metody mechaniką oddychania — stosunkowo dobrze poznaną. Podobna wiedza w odniesieniu do niezależnej wentylacji płuc jest natomiast znacznie ograniczona. Uzasadniało to podjęcie badań własnych, które z uwagi na potencjalną przydatność tej metody postępowania w warunkach znieczulenia ogólnego do zabiegów torakochirurgicznych wykonano u chorych w ułożeniu bocznym, przy zamkniętej klatce piersiowej.

W dostępnej literaturze występują jedynie pojedyncze doniesienia, gdzie badano wpływ ułożenia chorego na wybrane parametry mechaniki układu oddechowego. Cytowane publikacje nie są zgodne, wyniki przedstawionych badań niejednoznaczne, a niekiedy nawet odmienne [14, 15].

Wentylacja płuc w pozycji bocznej to złożony problem. Płuco dolne poddane prawom grawitacji charakteryzuje lepsza perfuzja, ale gorsza wentylacja, co w efekcie powoduje przeciek krwi nieutlenowanej [1, 2]. Zjawisko to może niwelować niezależna wentylacja płuc, która przyczynia się do lepszego upowietrzenia płuca dolnego.

Badania własne wykazały w tych warunkach większe wartości ciśnień szczytowych w płucu zależnym. Co więcej, zastosowanie PEEP 5–15 cm H₂O w tym płucu powodowało zwiększenie w nim ciśnień szczytowych, co generowało istotną różnicę wartości badanego parametru pomiędzy oboma płucami. Odmienne obserwacje pochodzą z pracy

Tabela 1. Wartości badanych parametrów biomechanicznych płuc w ułożeniu chorych na boku prawym

Dodatknie ciśnienie końcowo-wydechowe (cm H ₂ O)		Mediana	25%	75%	Zakres	p
Ciężenie szczytowe (cm H₂O)						
0	Z	15,5	15	16	14–19	0,0117
	N	15	15	16	13–17	
5	Z	16	16	17	15–18	0,0006
	N	15	15	16	13–17	
10	Z	18	17	20	16–24	0,0001
	N	15	15	16	13–17	
15	Z	20	19	10	17–27	0,0001
	N	15	15	16	13–17	
Podatność dynamiczna (ml cm H₂O⁻¹)						
0	Z	23	22	25,2	19–32,2	0,0030
	N	24,5	23,6	25,9	20,5–33,2	
5	Z	23,6	22,6	26	20–33,2	0,0069
	N	24,85	23,6	26,7	20,5–40,0	
10	Z	26,35	21,9	35	23,1–28	0,0428
	N	24,7	23,6	26,7	20,9–33,4	
15	Z	24	23,1	28,1	20,8–36,2	0,6359
	N	24,45	22,8	25,9	20–33,4	
Opór (cm H₂O l⁻¹ s⁻¹)						
0	Z	42,5	40	45	30–68	0,0009
	N	40	35	43	30–59	
5	Z	43,5	41	46	31–70	0,0001
	N	40	36	43	30–60	
10	Z	44,5	42	45	30–70	0,0010
	N	40,5	38	43	30–60	
15	Z	45	43	48	31–70	0,0009
	N	40,5	38	43	21–60	

Z — płuco zależne, N — płuco niezależne

opublikowanej w 2010 roku, w której stwierdzono zmniejszenie ciśnienia szczytowego w płucu zależnym wraz ze zwiększeniem wartości PEEP, przy czym autorzy publikacji odnoszą wyniki swych badań do wentylacji jednego płuca w sposób ciśnieniowo-kontrolowany [16].

Obserwacje własne potwierdzają, że dodatnie ciśnienie w końcowej fazie wydechu w sposób istotny przyczynia się do poprawy podatności mięszu płucnego [17]. Według najnowszego piśmiennictwa użycie w terapii PEEP rzędu już 5 cm H₂O powoduje 20% zwiększenie podatności, a rekomendowany według Walleta i wsp. PEEP u chorych z ARDS to 15 cm H₂O [18]. W przypadku patologii płucnej ze współistniejącym nadciśnieniem śródbrzusznym korzystny efekt w tym zakresie notowany jest niezależnie od sposobu stosowania PEEP [19]. U chorych z nadciśnieniem brzuszkiem wywołanym odmą otrzewnową do operacji laparoskopowo-

wych nawet niewielkie wartości PEEP przyczyniają się do poprawy elastancji płuc, a tym samym ich podatności [20]. Podobne spostrzeżenia dotyczą osób poddawanych zabiegom torakochirurgicznym z wentylacją obejmującą tylko jedno płuco [21, 22].

Zastosowanie PEEP podczas sztucznej wentylacji zwiększa końcowo-wydechową objętość płuc proporcjonalnie do wartości użytych ciśnień, zarówno w płucach zdrowych, jak i uszkodzonych, co może skutkować korzystnym efektem poprawy ich podatności [23]. Badania wykonane u chorych podczas znieczulenia ogólnego do zabiegów torakochirurgicznych z udziałem oszczędzającej wentylacji jednego płuca i objętości oddechowych 6 ml kg⁻¹ oraz PEEP 5 cm H₂O wykazały istotną poprawę podatności tego płuca, w porównaniu z wentylacją tradycyjną, podczas której objętości oddechowe wynosiły 10 ml⁻¹ kg, a PEEP nie był stosowany [24].

Tabela 2. Wartości badanych parametrów biomechanicznych płuc w ułożeniu chorych na boku lewym

Dodatknie ciśnienie końcowo-wydechowe (cm H ₂ O)		Mediana	25%	75%	Zakres	p
Cięśnienie szczytowe (cm H₂O)						
0	Z	16	15	18	14–19	0,0431
	N	15	14	18	13–18	
5	Z	17	16	18	15–20	0,0184
	N	16	14	18	13–18	
10	Z	19	18	20	16–28	0,0002
	N	15	15	18	13–19	
15	Z	20	19	24	17–33	0,0001
	N	16	15	18	13–19	
Podatność dynamiczna (ml cm H₂O⁻¹)						
0	Z	25	21	27	14–29	0,0079
	N	26,1	21	27,2	16,4–30,4	
5	Z	26,1	23	28	15–32	0,5712
	N	26,1	20,5	27,2	16,5–30,4	
10	Z	29,9	25,8	32,3	16,9–36,1	0,0005
	N	26,1	20,5	27,4	17–30,4	
15	Z	28,2	24,1	30,2	16,4–36,3	0,0235
	N	26,2	20,5	27,2	17–30,4	
Opór (cm H₂O l⁻¹ s⁻¹)						
0	Z	40	39	42	29–59	0,0013
	N	40	36	40	27–49	
5	Z	41	40	43	32–59	0,0011
	N	40	36	40	27–49	
10	Z	40	39	44	30–62	0,0053
	N	40	37	40	27–49	
15	Z	41	39	44	31–63	0,0032
	N	40	37	41	28–49	

Z — płuco zależne, N — płuco niezależne

Jako kontrowersyjne i wymagające dodatkowych ocen należy więc uznać pojedyncze doniesienia o lepszych wartościach podatności płucnej podczas stosowania tradycyjnych, dużych objętości oddechowych bez dodatniego ciśnienia końcowo-wydechowego, w identycznych okolicznościach klinicznych [25].

Badania własne potwierdzają też zwiększenie podatności płuca zależnego wraz ze wzrastającymi w nim wartościami PEEP, niezależnie od ocenianej strony oraz pozycji chorego. Największą podatność odnotowano przy wartości PEEP 10 cm H₂O, podobnie do danych przedstawionych przez Schumanna i wsp. [17]. W pracy własnej przy ciśnieniu PEEP 15 cm H₂O podatność dynamiczna płuca ulegała pogorszeniu, inaczej niż w badaniach Kingstedta i wsp., którzy stosowali PEEP 16 cm H₂O [12]. Na podstawie dostępnych piśmiennictwo można przyjąć, że zmniejszenie

podatności płuca zależnego przy PEEP 15 cm H₂O wynikało z nadmiernego jego rozdęcia (*overdistention*) [26, 27]. Zwiększanie czynnościowej pojemności zalegającej płuca wraz ze zwiększaniem wartości PEEP ma bowiem swoje granice [28]. Z tych powodów przyjmuje się obecnie wartości PEEP 5–10 cm H₂O jako najlepsze w aspekcie utrzymywania optymalnej podatności płuc, sprzyjającej właściwemu ich upowietrzeniu, bez ryzyka nadmiernego rozdęcia [29].

Udokumentowana zależność pomiędzy dodatnim ciśnieniem końcowo-wydechowym a podatnością sprzyja też badaniom nad optymalizacją PEEP na podstawie wartości podatności płuc. Eksperymenty na zwierzętach wykazały jednoznaczny związek pomiędzy aktualną wartością podatności dynamicznej a zakresem stwierdzanej niedodmy oraz możliwość ustalenia na tej podstawie wartości PEEP, przy której ma miejsce jej optymalna rekrutacja [30]. Biorąc

pod uwagę fakt, że coraz więcej nowoczesnych respiratorów umożliwia przyłóżkową ocenę podatności płuc leczonych chorych, postępowanie takie może mieć znaczącą wartość kliniczną i zmienić dotychczasową rutynę ustalania parametrów sztucznej wentylacji płuc na podstawie badań gazometrycznych krwi tętniczej na rzecz nieinwazyjnej oceny parametrów biomechanicznych płuc [28].

W specyficznych warunkach znieczulenia do zabiegów torakochirurgicznych istotnym zmianom ulega nie tylko podatność płuc, ale i opór dróg oddechowych. Jako ważny czynnik warunkujący prawidłową wentylację płuc, podlega on znacznemu różnicowaniu między innymi pod wpływem anestezji, instrumentacji dróg oddechowych czy też ułożenia chorego. Niekorzystny efekt zwiększenia oporu dróg oddechowych podczas znieczulenia ogólnego, wynikający ze zmniejszenia wszystkich składowych objętości płuc, a tym samym zmniejszenia średnicy dróg oddechowych jest powszechnie znany. W świetle praw fizyki nie podlega też dyskusji fakt niekorzystnego oddziaływania intubacji tchawicy czy też głównych oskrzeli na opór dróg oddechowych, zgodnie z regułą Hagena-Poiseuilla [30, 31].

Wyniki badań własnych wykazały, że u chorych w ułożeniu na boku, poddanych niezależnej wentylacji płuc z równym rozdziałem objętości oddechowej, opór dróg oddechowych w płucu w którym zastosowano PEEP 5–15 cm H₂O jest większy niż w płucu niezależnym. Interpretacja tych zmian, na podstawie dostępnego piśmiennictwa nie jest łatwa. Wykazano bowiem, że w warunkach znieczulenia ogólnego i intubacji tchawicy, dodatnie ciśnienie końcowo-wydechowe, poprzez poprawę podatności płuc, sprzyja zmniejszeniu oporu dróg oddechowych, niezależnie od rodzaju wykonywanej operacji [32–35]. Być może otrzymane wartości oporów wynikały ze stosowania rurek dwuświatłowych o węższym świetle niż intubacyjne oraz z gromadzenia w nich wydzieliny [36].

Przydatność niezależnej wentylacji płuc dokumentują zarówno doniesienia kazuistyczne i prace zbiorcze [37–41]. Prawie wszystkie one opierają się na obserwacjach klinicznych leczonych chorych i nie uwzględniają złożonych i nie znanych dotąd problemów biomechaniki płuc w tym modelu sztucznej wentylacji. Badania własne są pod tym względem oryginalne w wymiarze nie tylko krajowym, co nie ułatwia jednoznacznej interpretacji uzyskanych wyników.

Przyszłe, planowane badania winny wyjaśnić mechanizm odpowiedzialny za zmiany badanych parametrów biomechanicznych płuca niezależnego podczas wentylacji z dodatnim ciśnieniem końcowo-wydechowym w płucu zależnym. Hipoteza robocza przyjęta w niniejszych badaniach zakładała istnienie takiego oddziaływania. W świetle uzyskanych wyników znajduje ona swoje potwierdzenie.

WNIOSKI

Podczas niezależnej synchronicznej wentylacji płuc chorych poddawanych znieczuleniu ogólnemu w pozycji bocznej wartości ciśnień szczytowych i oporu dróg oddechowych są większe w płucu zależnym a podatności dynamicznej w płucu niezależnym.

W warunkach niezależnej synchronicznej wentylacji płuc z udziałem dodatniego ciśnienia końcowo-wydechowego w płucu zależnym, wartości parametrów biomechanicznych tego płuca ulegają zwiększeniu i są większe aniżeli drugiego płuca, w którym ulegają one zróżnicowanym zmianom.

PODZIĘKOWANIA

1. Praca nie była finansowana.
2. Autorzy deklarują brak konfliktu interesów.

Piśmiennictwo:

1. *Oceñski A, Werba A, Andel H*: Podstawy wentylacji mechanicznej. a-medica press Bielsko-Biała 2003; 27–301.
2. *Rybicki Z*: Intensywna terapia dorosłych. Makmed, Lublin 2009; 485–563.
3. *Graf J, Santos A, Dries D, Adams AB, Marini JJ*: Agreement between functional residual capacity estimated via automatem gas dilution versus via computed tomography in a pleural effusion model. *Resp Care* 2010; 55: 1464–1468.
4. *Dellamonica J, Lerdle N, Sargentini C et al.*: PEEP-induced changes in lung volume in acute respiratory distress syndrome. Two methods to estimate alveolar recruitment. *Intensive Care Med* 2011; 37: 1595–1604.
5. *Heinze H, Eichler W*: Measurements of functional residual capacity during intensive care treatment: the technical aspects and its possible clinical applications. *Acta Anaesthesiol Scand* 2009; 53: 1121–1130. doi: 10.1111/j.1399-6576.2009.02076.x.
6. *Hedenstierna G*: Airway closure, atelectasis and gas exchange during anaesthesia. *Minerva Anesthesiol* 2002; 68: 332–336.
7. *Yusim Y, Berkenstadt H, Keidan I*: Malignant hyperinflation of the nondependent lung during chest surgery. *Eur J Anaesthesiol* 2001; 18: 774–777.
8. *Branson RD, Hurst JM*: Różnicowa wentylacja płuc. In: *Stock MCh, Perel A (ed.)*: Wentylacja mechaniczna i wspomaganie oddechu. a-medica-press, Bielsko-Biała 1997: 195–204.
9. *Blanch L, Aguilar JL, Villagrà A*: Unilateral lung injury. *Curr Opin Crit Care* 2003; 9: 33–38.
10. *Blanch L, Murias G, Nahum A*: Lung recruitment in localized lung injury. *Yearbook of Intensive Care and Emergency Medicine*. Springer Verlag, Berlin 2002: 313–319.
11. *Baehrendtz S, Santesson J, Bindslev L, Hedenstierna G, Matell G*: Differential ventilation in acute bilateral lung disease. Influence on gas exchange and central haemodynamics. *Acta Anaesthesiol Scand* 1983; 27: 270–277.
12. *Klingstedt C, Baehrendtz S, Bindslev L*: Lung and chest wall mechanics during differential ventilation with selective PEEP. *Acta Anaesthesiol Scand* 1985; 29: 716–721.
13. *Sawulski S*: Wpływ niezależnej wentylacji płuc na dystrybucję objętości oddechowej i wybrane wskaźniki biomechaniczne układu oddechowego. Rozprawa doktorska UM Lublin 2011.
14. *Taccone P, Pesenti A, Latini R et al.; Prone-Supine II Study Group*: Prone positioning in patients with moderate and severe acute respiratory distress syndrome: a randomized controlled trial. *JAMA* 2009; 302: 1977–1984. doi: 10.1001/jama.2009.1614.
15. *Gattinoni L, Carlesso E, Taccone P*: Prone positioning improves survival in severe ARDS: a pathophysiologic review and individual patient meta-analysis. *Minerva Anesthesiol* 2010; 76: 448–454.
16. *Roze H, Laferque M, Betoz H, Picat MQ, Perez P, Quattera A, Janvier G*: Pressure-controlled ventilation and intrabronchial pressure during one-lung-ventilation. *Br J Anaesth* 2010; 105: 377–381. doi: 10.1093/bja/aeq130.

17. Schumann S, Vimlati L, Kawati R, Guttman J, Lichtwarck-Aschoff M: Analysis of dynamic intratidal compliance in lung collapse model. *Anesthesiology* 2011; 114: 1111–1117. doi: 10.1097/ALN.0b013e-31820ad41b.
18. Wallet F, Delannoy B, Haquin A et al.: Evaluation of recruited lung volume at inspiratory plateau pressure with PEEP using bedside digital chest X-ray in patients with acute lung injury/ARDS. *Resp Care* 2013; 58: 416–423.
19. Yang Y, Yang L, Huang Y, Guo F, Qiu H: Positive end expiratory pressure titrated by transpulmonary pressure improved oxygenation and respiratory mechanics in acute respiratory distress syndrome patients with intra-abdominal hypertension. *Chin Med J* 2013; 126: 3234–3239.
20. Cinnella G, Grasso S, Spadaro S et al.: Effects of recruitment maneuver and positive end-expiratory pressure on respiratory mechanics and transpulmonary pressure during laparoscopic surgery. *Anesthesiology* 2013; 118: 114–122. doi: 10.1097/ALN.0b013e3182746a10.
21. Cinnella G, Grasso S, Natale C et al.: Physiological effects of a lung-recruiting strategy applied during one-lung ventilation. *Acta Anaesthesiol Scand* 2008; 52: 766–775. doi: 10.1111/j.1399-6576.2008.01652.x.
22. Klapka J: Strategies for success in one-lung anesthesia. American Society of Anesthesiologists 2013 Refresher Course, San Francisco 2013; 236: 1–8.
23. Bikker JG, van Bommel J, Reis Miranda D, Bakker J, Gommers D: End-expiratory lung volume during mechanical ventilation: a comparison with reference values and the effect of positive end-expiratory pressure in intensive care unit patients with different lung conditions. *Crit Care* 2008; 12: R145. doi: 10.1186/cc7125.
24. Yang M, Ahn HJ, Kim K, Kim JA, Yi CA, Kim MJ, Kim HJ: Does a protective ventilation strategy reduce the risk of pulmonary complications after lung cancer surgery? A randomized controlled trial. *Chest* 2011; 139: 530–537. doi: 10.1378/chest.09-2293.
25. Maslow AD, Stafford TS, Davignon KR, Ng T: A randomized comparison of different ventilator strategies during thoracotomy for pulmonary resection. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2013; 146: 38–44. doi: 10.1016/j.jtcvs.2013.01.021.
26. Zick G, Elke G, Becher T et al.: Effects of PEEP and tidal volume on ventilation distribution and end-expiratory lung volume; a prospective experimental animal and pilot clinical study. *PLoS One* 2013 8: e72675. doi: 10.1371/journal.pone.0072675.
27. Michelet P, Roch A, Brousse D et al.: Effects of PEEP on oxygenation and respiratory mechanics during one-lung ventilation. *Br J Anaesth* 2005; 95: 267–273.
28. Heinze H, Sedmund-Adib B, Heringlake M, Meier T, Eichler W: Relationship between functional residual capacity, respiratory compliance and oxygenation in patients ventilated after cardiac surgery. *Resp Care* 2010; 55: 589–594.
29. Dresse C, Joris J, Hans G: Mechanical ventilation during anaesthesia: Pathophysiology and clinical implications. *Trends in Anaesthesia and Critical Care* 2012; 2: 71–75.
30. Suarez-Sipmann F, Böhm S, Tusman G et al.: Use of dynamic compliance for open lung positive end-expiratory pressure titration in an experimental study. *Crit Care Med* 2007; 35: 214–221.
31. Tsuzaki K: Intraoperative risk management during thoracic procedures. *Masui* 2009; 58: 566–571.
32. Babik B, Csorba Z, Czövek D, Mayr P, Bogáts G, Peták F: Effects of respiratory mechanics on the capnogram phases: importance of dynamic compliance of the respiratory system. *Crit Care* 2012; 16: R177. doi: 10.1186/cc11659.
33. Weingarten TN, Whalen FX, Warner DO et al.: Comparison of two ventilatory strategies in elderly patients undergoing major abdominal surgery. *Br J Anaesth* 2010; 104: 16–22. doi: 10.1093/bja/aep319.
34. Lloréns J, Ballester M, Tusman G et al.: Adaptive support ventilation for gynaecological laparoscopic surgery in Trendelenburg position: bringing ICU modes of mechanical ventilation to the operating room. *Eur J Anaesthesiol* 2009; 26: 135–139. doi: 10.1097/EJA.0b013e31832831aed42.
35. Maracajá-Neto LF, Vercosa N, Roncally AC, Giannella A, Bozza FA, Lessa MA: Beneficial effects of high positive end-expiratory pressure in lung respiratory mechanics during laparoscopic surgery. *Acta Anaesthesiol Scand* 2009; 53: 210–217. doi: 10.1111/j.1399-6576.2008.01826.x.
36. Al-Rawas N, Banner MJ, Euliano NR, Tams CG, Brown J, Martin AD, Gabrielli A: Expiratory time constant for determinations of plateau pressure, respiratory system compliance and total resistance. *Crit Care* 2013; 17: R23. doi: 10.1186/cc12500.
37. Bigatello LM, Davignon KR, Stelfox HT: Respiratory mechanics and ventilator waveforms in the patient with acute lung injury. *Resp Care* 2005; 50: 235–245.
38. Shekar K, Foot CL, Fraser JF: Independent lung ventilation in the intensive care unit: desperate measure or viable treatment option? *Crit Care Resusc* 2008; 10: 144–148.
39. Cho SR, Lee JS, Kim MS: New treatment method for reexpansion pulmonary edema: differential lung ventilation. *Ann Thorac Surg* 2005; 80: 1933–1934.
40. Cheatman ML, Promes JT: Independent lung ventilation in the management of traumatic bronchopreural fistula. *Am Surg* 2006; 72: 530–533.
41. Garlick J, Maxson T, Imamura M, Green J, Prodham P: Differential lung ventilation and venovenous extracorporeal membrane oxygenation for traumatic bronchopreural fistula. *Ann Thorac Surg* 2013; 96: 1859–1860. doi: 10.1016/j.

Adres do korespondencji:

dr n. med. Katarzyna Trela-Stachurska
Katedra i I Klinika Anestezjologii i Intensywnej Terapii
Uniwersytetu Medycznego w Lublinie
ul. Jaczewskiego 8, 20–950 Lublin
e-mail: anest@umlub.pl

Otrzymano: 15.10.2014 r.

Zaakceptowano: 22.11.2014 r.