

Nowoczesne metody oceny upowietrznienia płuc podczas wentylacji mechanicznej

Modern methods of assessment of lung aeration during mechanical ventilation

Wojciech Wierzejski¹, Jan Adamski², Wojciech Weigl¹, Anna Gereg³

¹*Oddział Anestezjologii i Intensywnej Terapii, Szpital Praski w Warszawie*

²*Oddział Anestezjologii i Intensywnej Terapii, Szpital Centralny Jyväskylä w Finlandii*

³*Instytut Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej w Warszawie*

Abstract

Despite the fact that several modes of ventilation are being used, it is not always possible to maintain adequate parameters of gas exchange. In order to provide proper ventilation, it is necessary to assess the lung function. The aim of this article is presentation of different methods of assesment of lung aerations including its advantages, disadvantages and possibilities for implementation in clinical practice. Computed tomography provides information regarding morphology and aeration of lung tissue, but has several limitations: necessity of patients transportation, it cannot be performed in a continuous manner, a quantitative assessment of picture seems to be rather complicated. Ultrasonography is widely used in intensive care and is a noninvasive and bedside method. It gives the opportunity to assess an investigated organ in real time. Its clinical utility in patients with ARDS was proved by Lichtenstein at.al. Another technology which has been implemented for the purpose of lungs visualization is electrobioimpedancy (EIT). This new method consists of continuous monitoring of chest electrobioimpedancy changes due to its air content. Unlike to techniques mentioned above, lung images generated with EIT do not provide any information about morphology of affected tissue. The method which indirectly describes the sum of lung interactions is the assessment of quasi-static P/V curve. This method provides information allowing to draw conclusions regarding the usefulness of recruitment maneuvers, but does not provide information regarding the nature of morphologic changes and their location. In the search for the ideal method of lung aeration assessment, it is necessary to define its characteristics, such as noninvasiveness, availability and visualization of tissue morphologic changes in real time.

Key words: mechanical ventilation; lung aeration, assessment; computed tomography; lung ultrasound; pressure/volume loop; electrical impedance tomography

Słowa kluczowe: wentylacja mechaniczna; upowietrznienie płuc, metody oceny; tomografia komputerowa, przezklatkowe badanie ultrasonograficzne płuc; pętla ciśnienie/objętość; tomografia elektroimpedancyjna

Anestezjologia Intensywna Terapia 2012, tom XLIV, nr 4, 253–258

Większość chorych leczonych na oddziale intensywnej terapii wymaga wentylacji mechanicznej, a prawidłowa wymiana gazowa jest niezbędna do optymalnego utlenowania krwi tętniczej. Czasami, pomimo stosowania różnych trybów wentylacji mechanicznej, nie udaje się zapewnić zadowalających parametrów utlenowania. W poszukiwaniu sposobów poprawy skuteczności prowadzonej wentylacji pomocna jest ocena upowietrzenia płuc. Podstawowymi sposobami klinicznej oceny czynności płuc oraz stopnia ich upowietrzenia są, z jednej strony, badanie przedmiotowe, polegające na osłuchiwaniu, z drugiej zaś, ocena radiologiczna. Ocena zjawisk akustycznych towarzyszących oddychaniu jest metodą subiektywną, obarczoną małą swoistością. Badanie radiologiczne w wielu sytuacjach klinicznych wykazuje niską czułość. Wskazane jest zatem poszukiwanie takich metod diagnostycznych, które w sposób obiektywny i bezpieczny pomogą klinicyście odpowiedzieć na pytanie, jaki jest patomechanizm upośledzający upowietrzenie płuc.

W przebiegu nasilonej niewydolności oddechowej wentylacja mechaniczna pozostaje podstawowym sposobem dostarczania tlenu i eliminacji dwutlenku węgla. Jest to metoda obarczona wieloma ograniczeniami, prowadząca zarówno do zmian morfologicznych, jak i zaburzeń funkcji płuc [1, 2]. Zmniejszenie niekorzystnego oddziaływania wentylacji mechanicznej poprzez stosowanie niskich wartości objętości oddechowej, ograniczanie ciśnienia *plateau* oraz unikanie cyklicznego otwierania i zamykania pęcherzyków płucnych pozwalają na zmniejszenie ryzyka powstania respiratorowego uszkodzenia płuc (VILI, *ventilator induced lung injury*). Wykazano to u chorych z zespołem ostrych zaburzeń oddechowych (ARDS, *acute respiratory distress syndrome*) [3, 4]. Pierwszym doniesieniem mówiącym o konieczności otwarcia pęcherzyków płucnych i utrzymywania ich w takim stanie przez cały cykl oddechowy była praca Lachmana z 1992 roku. Zaowocowała ona wprowadzeniem strategii wentylacji otwartych płuc oraz pojęcia manewru rekrutacji [5]. Wyniki badań wykorzystujących różne techniki rekrutacji płuc w przebiegu ARDS potwierdziły wpływ tych metod na poprawę utlenowania krwi, pozostawiając otwartą kwestię skrócenia czasu wentylacji oraz zmniejszenia śmiertelności [6]. Mając na względzie kliniczne znaczenie stosowania wentylacji mechanicznej opartej na strategii otwartych płuc, należy zwrócić szczególną uwagę na ocenę stopnia ich upowietrzenia. Uzyskanie prawidłowych parametrów wymiany gazowej w badaniu gazometrycznym krwi tętniczej może dawać zwodnicze poczucie prawidłowego prowadzenia wentylacji mechanicznej i prowadzić do nadmiernej wentylacji obszarów płuc o prawidłowej powietrznoci, kosztem obszarów gorzej upowietrzonych.

Celem niniejszej pracy jest omówienie współczesnych metod oceny upowietrzenia płuc, przedstawienie zalet,

wad i możliwości zastosowania tych metod w praktyce klinicznej.

Badaniem diagnostycznym, które zrewolucjonizowało ocenę morfologicznych struktur poszczególnych obszarów płuc jest tomografia komputerowa (CT, *computed tomography*). Technika ta wykorzystuje promieniowanie rentgenowskie (RTG) do obrazowania narządów wewnętrznych. Odbyna się to poprzez wykonanie serii skanów w jednej płaszczyźnie i uzyskaniu w ten sposób obrazu wielu warstw tkanek o określonej grubości. Przekształcony przez komputer rozkład osłabienia liniowego współczynnika promieniowania RTG (odpowiadający zmianom gęstości tkanek w obrębie każdej warstwy) jest wyrażony w formie dwuwymiarowego obrazu [7]. Określenie fizycznej gęstości płuc wykonuje się na podstawie pomiaru pochłaniania promieniowania emitowanego przez CT wyrażanego w jednostkach Hounsfield'a (HU, *Hounsfield units*), co pozwala na ilościową ocenę zmian śródmiąższowych w płucach. Wysoka rozdzielczość badania pozwala na uchwycenie heterogeniczności zmian, informując także o ich nasileniu i charakterze (zmiany zapalne oraz niedodmowe, włóknienie śródmiąższowe, obrzęk).

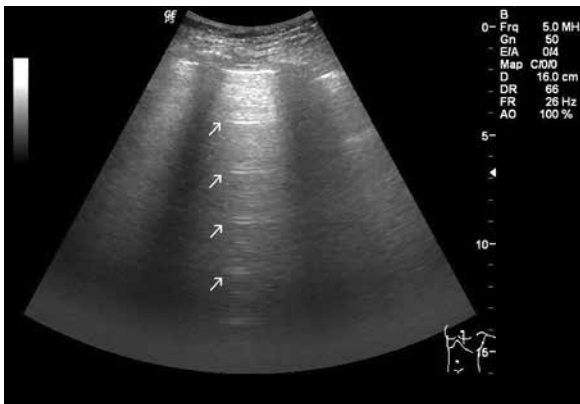
Przy wykorzystaniu opisanej wyżej metody CT znalazło zastosowanie w ocenie rozprężania płuc w wyniku wykonania manewru rekrutacyjnego [8]. Gattinoni [9] w swoim badaniu dotyczącym chorych leczonych z powodu ARDS badał skuteczność wykonania manewru rekrutacyjnego oraz wpływ różnego poziomu dodatniego ciśnienia końcowo-wydechowego (PEEP, *positive end-expiratory pressure*) na trwałość uzyskanej poprawy wymiany gazowej.

Chociaż CT zapewnia uzyskanie dokładnych informacji dotyczących upowietrzenia płuc, to metoda ta ma wiele ograniczeń. Badanie wymaga transportu chorego będącego w ciężkim stanie do pracowni CT, ponadto z racji wysokich dawek promieniowania uniemożliwia jego wykonanie w trybie ciągłym. Uzyskany obraz nie jest zatem dynamiczny ani nie ilustruje zmian upowietrzenia płuc w trakcie całego cyklu oddechowego. Sposób ilościowego określania stopnia upowietrzenia płuc jest skomplikowany i do tej pory był wykorzystywany jedynie w celach eksperymentalnych.

Techniką stosowaną od lat w codziennej praktyce klinicznej jest ultrasonografia (USG). Metoda ta znajduje szerokie zastosowanie w diagnostyce chorych leczonych na oddziale intensywnej terapii. Oprócz szerokiej gamy wskazań do zastosowania obrazowania USG, takich jak ocena czynności mięśnia sercowego, potwierdzenie lub wykluczenie obecności płynu w jamach opłucnowych, ocena nerek i układu moczowego i wielu innych, badanie USG może być także pomocne w ocenie płuc oraz w diagnozowaniu zaburzeń ich funkcjonowania. Wiadomo że obecność powietrza w płucach jest przeszkodą, która uniemożliwia ultradźwiękom penetrację w głąb tkanki, powodując ich



Rycina 1. Konsolidacje podopłucnowe — zapalenie płuc (w okręgu)



Rycina 2. Prawidłowy obraz płuc (linie A, strzałki)



Rycina 3. Zespół śródmiąższowy — obrzęk płuc (linia B, strzałki)

odbicie i rozproszenie. Wydawałoby się zatem, że ocena w USG prawidłowo powietrznej tkanki płucnej jest niemożliwa, jednak opisywana tu metoda opiera się na analizie artefaktów ultrasonograficznych. Natomiast w przypadku, gdy u chorego dochodzi do spadku upowietrznienia płuc z powodu pojawienia się obszarów niedodmy czy na przykład konsolidacji następuje uwidocznienie tkanki płuc w USG (*tissue pattern*) [10] (ryc. 1). Towarzyszy temu wiele charakterystycznych objawów ultrasonograficznych pozwalających na różnicowanie przyczyn istniejącej patologii.

W obrazie prawidłowo wentylowanych płuc występują poziome artefakty (linie A) (ryc. 2) powstające z linii opłucnej,

a będące wielokrotnym, w regularnych odstępach powtórzeniem tej linii w obrazie USG. Mogą one wskazywać zarówno na prawidłowe upowietrznienie płuc, jak i na obecność powietrza w jamie opłucnej. W celu różnicowania wykorzystuje się między innymi tak zwany objaw ślizgania (ruch opłucnej płucnej względem opłucnej ściennej). W przypadku odmy opłucnowej objaw ślizgania opłucnej nie występuje, a dodatkowym potwierdzeniem jest tak zwany *lung point* — miejsce na ścianie klatki piersiowej, gdzie ultrasonograficzny obraz odmy jest zastępowany przez rozprężające się przy wdechu płuco [11]. Wzrost zawartości wody w tkance płuc powoduje pojawienie się pionowych artefaktów (linii B) (ryc. 3) powstających w wyniku odbijania się ultradźwięków od płynu wypełniającego przestrzeń śródmiąższową i/lub pęcherzyki płucne. Stopień zagęszczenia tych linii informuje o ciężkości obrzęku śródmiąższowego [12].

Omawiając doświadczenia kliniczne związane z zastosowaniem USG w ocenie patologii płuc, należy wspomnieć o pracy Lichtensteina i wsp. [13], w której autorzy porównali czułość i swoistość osłuchiwania, zdjęcia radiologiczne i badania USG płuc u pacjentów z ARDS, weryfikując rozpoznanie badaniem CT klatki piersiowej. Wyniki okazały się zaskakujące. Ultrasonografia nie tylko przewyższyła skutecznością diagnostyczną osłuchiwanie płuc, ale także przyłożkowe badanie RTG klatki piersiowej. Skuteczność diagnostyczna różnych metod w zależności od patologii była zróżnicowana i wynosiła w przypadku obecności płynu w opłucnej w przypadku osłuchiwania — 61%, dla badania RTG — 47%, dla USG płuc — 93%, zaś w przypadku zmian zapalnych i obrzękowych wartości kształtowały się następująco: osłuchiwanie 36–55%, RTG — 72–75%, USG płuc — 95–97% [13]. Jak wykazały wyniki badania innych autorów, w przypadku konieczności identyfikacji odmy opłucnowej, badanie USG płuc wykazuje wyższą skuteczność od przyłożkowego badania RTG klatki piersiowej. Czułość wynosi odpowiednio 86,2% i 27,6%, swoistość: 97,2% i 100%, a skuteczność diagnostyczna: 94,8% i 84,4% [14].

Belaid i wsp. w swojej pracy wykazali, że badanie USG płuc umożliwia monitorowanie ustępowania zmian śródmiąższowych w przebiegu zapalenia płuc. Opisana metoda przewyższa tradycyjnie stosowane techniki RTG, gdyż wycofywanie się zmian radiologicznych zwykle następuje z pewnym opóźnieniem i nie zawsze koreluje ze stanem klinicznym pacjenta. Co więcej, autorzy uznali, że wynik badania USG może stanowić istotną wskazówkę w ocenie skuteczności antybiotykoterapii, oraz zasugerowali możliwość podejmowania decyzji terapeutycznych dotyczących konieczności zmiany antybiotykoterapii na podstawie wyniku tego badania [15].

Badanie USG płuc pozwala także na ocenę wpływu sposobu prowadzenia wentylacji mechanicznej na powietrzność płuc. Analizując w USG stopień upowietrznienia płuc

u pacjentów z ARDS, Konstantinos i wsp. [16] wykazali, że zwiększanie wartości PEEP od 5 do 15 cm H₂O prowadzi do zwiększenia regionalnego upowietrzenia płuc i koreluje z poprawą utlenowania krwi tętniczej.

Autorzy niniejszego artykułu zarejestrowali techniką cyfrową badanie USG wykonywane podczas torakopunkcji u pacjentki z płynem w jamie opłucnej. Zaobserwowano, że ewakuacji płynu towarzyszy ustępowanie niedodmy dolnego płata płuca i poprawa powietrzności płuca. Fakt ten silnie przemawia za możliwością monitorowania w czasie rzeczywistym zmian powietrzności płuc używając techniki USG.

Najnowszą technologią wykorzystywaną do obrazowania upowietrzenia płuc jest tomografia elektroimpedancyjna (EIT, *electric impedance tomography*). Przyłóżkowe urządzenie firmy Dräger (Pulmovista 500) zapewnia możliwość obserwacji zmieniającego się obrazu płuc w zależności od fazy cyklu oddechowego oraz stopnia powietrzności tkanki. Metoda wykorzystuje fakt, że opór wobec impulsu elektrycznego, jaki stawia tkanka płuca, rośnie wraz jej upowietrzeniem. Szesnaście par elektrod, rozmieszczonych na elastycznym pasie wokół klatki piersiowej, dokonuje pomiaru zmieniającej się impedancji klatki piersiowej w odpowiedzi na impuls elektryczny emitowany przez dwie kolejne elektrody. Emisja impulsu przesuwana jest w sposób ciągły wokół klatki piersiowej. Urządzenie dokonuje 50 pomiarów w ciągu sekundy, co w cyklu oddechowym trwającym 3 sekundy generuje 150 dynamicznie zmieniających się obrazów. Nasilenie zmian powietrzności danego obszaru płuca w określonej fazie cyklu oddechowego jest wyrażane na ekranie monitora kolorem. Kolor biały oznacza największe zmiany upowietrzenia danego obszaru płuc, kolor czarny to obszar niewentylowany, w którym nie zachodzą zmiany powietrzności [17]. W porównaniu z obrazem płuc uzyskiwanym w klasycznym badaniu CT, obraz wygenerowany przez EIT charakteryzuje się znacznie mniejszą rozdzielczością przestrzenną. Jest wizualizacją zmian impedancji klatki piersiowej i nie dostarcza informacji o charakterze zmian morfologicznych w obrębie płuc. W obrazowaniu tą metodą dany obszar w klatce piersiowej, o stałej względem czasu impedancji, będzie przedstawiany w ten sam sposób na monitorze, niezależnie od tego, czy powodem braku wentylacji tego obszaru jest niedodma, płyn w opłucnej czy odma [18]. Wysoka rozdzielczość czasowa pozwala z kolei na śledzenie zmian w czasie rzeczywistym. Ponadto, posługując się monitorem EIT, można różnicować poprawę całkowitej powietrzności płuc, będącej wynikiem otwarcia się obszarów niedodmy, od nadmiernego rozdęcia części płuc prawidłowo wentylowanych.

We wcześniejszych badaniach dotyczących EIT, przeprowadzonych na modelu zwierzęcym, potwierdzono powtarzalność wyniku oceny powietrzności różnych obszarów płuc dokonywanej w warunkach różnych wartości PEEP [19].

Wykazano również korelację metody z wynikiem badania CT oceniającym stopień rekrutacji pęcherzyków płucnych [20]. Zastosowanie EIT u chorych leczonych z powodu ostrego uszkodzenia płuc dało możliwość dobrania wartości PEEP, które pozwalały prowadzić wentylację mechaniczną, unikając nadmiernego rozdęcia jednych obszarów płuc i pozwalając jednocześnie na rozprężenie obszarów niedodmy w innych regionach [21].

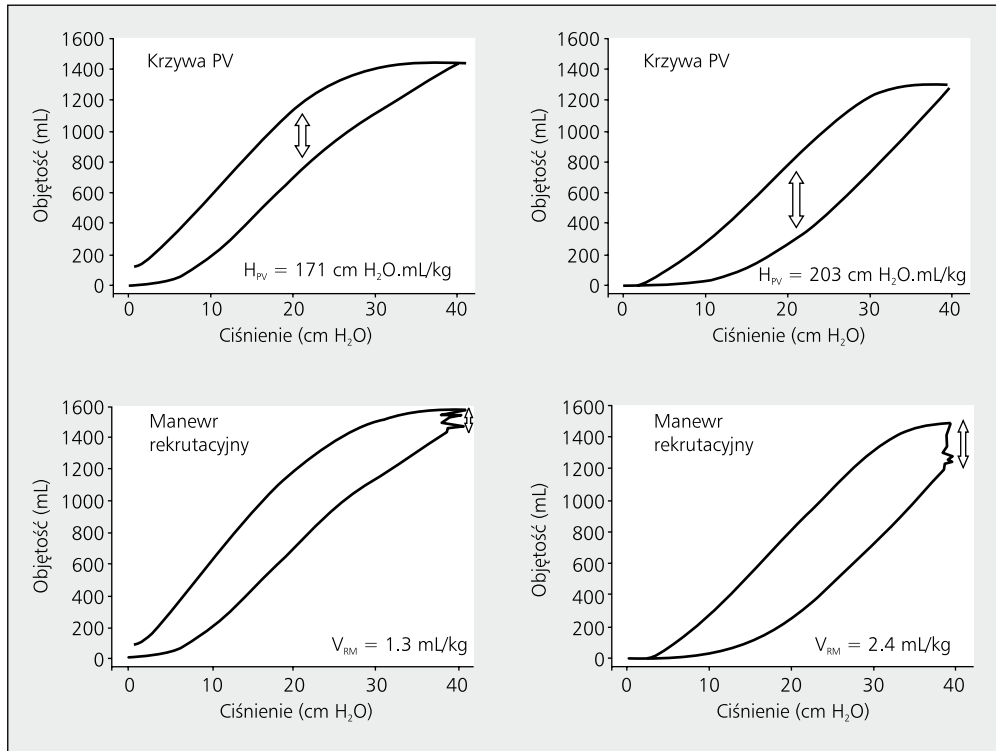
Pulmovista 500 jest pierwszym dostępnym komercyjnie urządzeniem monitorującym, które wykorzystuje technologię elektroimpedancji. Zarówno relatywnie niewielkie doświadczenie kliniczne związane z jego użyciem, jak i wysoka cena sprawiają, że przydatność tego urządzenia w codziennej praktyce klinicznej nie jest jeszcze dostatecznie poznana.

Kolejna z proponowanych metod, w przeciwieństwie do opisanych wcześniej, jest pośrednim sposobem opisującym sumę zjawisk zachodzących w płucach. Opiera się na wyznaczeniu quasi-statycznej krzywej ciśnienie/objętość (P/V) w fazie wdechu oraz wydechu i opisuje zależności między ciśnieniem, objętością i podatnością w drogach oddechowych według następującego równania:

$$C = \frac{P}{V}$$

Równanie 1 — równanie podatności w drogach oddechowych, gdzie: C — podatność układu oddechowego, P — ciśnienie gazu, V — objętość gazu

W układzie biologicznym nigdy jednak tak proste zależności nie zachodzą. Na ciśnienie w drogach oddechowych podczas oddechu spontanicznego czy wentylacji mechanicznej wpływ ma dodatkowo wiele czynników związanych z przepływem gazu, oporem dróg oddechowych i ciśnieniem wywieranym przez mięśnie oddechowe. Przy tak dużej ilości zmiennych trudno jest ocenić ich wzajemne współzależności. Oznaczenie statycznej krzywej P/V pozwala na wyeliminowanie wpływu tych dodatkowych czynników. Wygenerowanie prawdziwie statycznej krzywej P/V wymaga jednak całkowitego ustania przepływu w drogach oddechowych. Nie jest to możliwe ze względu na konieczność zapewnienia stałej wymiany gazowej u badanego pacjenta. Używa się zatem krzywej quasi-statycznej, której wykreślenie wykonuje się z zastosowaniem tak zwanej metody super strzykawki (metoda eksperymentalna, wymagająca odłączenia respiratora od chorego) lub metody bardzo niskiego przepływu gazów. Otrzymane krzywe — wdechowa i wydechowa, pozwalają na wyznaczenie histerezy, czyli opóźnienia pomiędzy tymi krzywymi. Histereza to zjawisko zachodzące w układzie zamkniętym, polegające na zmianie zapisu procesu (tutaj: cyklu oddechowego) w zależności od kierunku jego przebiegu. Na wykresie dwóch zależnych od siebie wielkości zjawisko histerezy ukazuje się najczę-



Rycina 4. Przykład ilustrujący zarejestrowaną krzywą ciśnienia i objętości od ZEEP (PEEP = 0 cm H₂O) do 40 cm H₂O (górne wykresy) i manewr rekrutacyjny z 10-sekundową przerwą na szczycie ciśnienia 40 cm H₂O (dolne wykresy) u reprezentatywnych pacjentów ukazujący małą histerezę (wykresy po stronie lewej) i dużą histerezę (wykresy po stronie prawej); H_{pv} — histereza krzywej P/V; V_{RM} — wzrost objętości podczas manewru rekrutacyjnego (źródło [23, za zgodą])

ściej jako pętla. W przypadku braku histerezy wykres jest pojedynczym łukiem krzywej. W przypadku kreślenia krzywej P/V, różnice zapisu części wdechowej i wydechowej są wynikiem opóźnienia w oddawaniu energii przez układ oddechowy, co na wykresie objawia się jako różnica objętości gazu w płucach przy tym samym ciśnieniu w drogach oddechowych zależnie od fazy oddechowej [22].

Według Demory'ego i wsp. wartość histerezy stanowi cenną wskazówkę w ocenie celowości podejmowania manewru rekrutacyjnego. U pacjentów z ARDS oznaczali oni histerezę krzywej P/V. U chorych z większą histerezą zauważyli większą możliwość rekrutacji płuc, mierzoną jako przyrost objętości na szczycie ciśnienia podczas manewru rekrutacyjnego [23] (ryc. 4).

Niektóre respiratory dostępne na rynku oferują możliwość wyznaczenia quasi-statycznej krzywej P/V, używając specjalnie do tego celu utworzonej aplikacji, na przykład P/V Tool (respiratory firmy Hamilton Medical, Szwajcaria). Za jej pomocą możliwe jest również wykonanie manewru rekrutacji. Aplikacja ta, w pełni automatyczna i powtarzalna, przeprowadza i rejestruje przy użyciu liniowego wzrostu ciśnienia krzywą P/V. Zarówno wyznaczenie krzywej P/V, jak i wykonanie manewru rekrutacji wymaga ustania spontanicznej aktywności oddechowej chorego. Niestety, pociąga

to za sobą konieczność jego zwiotczenia lub poddania głębokiej sedacji [24]. Przeprowadzając zabieg rekrutacji czy wykreślając krzywą P/V dostępna jest możliwość ustawienia ciśnienia końcowego, które jest następnie używane przez respirator jako PEEP do dalszej wentylacji. Istotną zaletą tej metody jest krótki czas trwania manewru rekrutacyjnego (≤ 1 min), co minimalnie wpływa na parametry hemodynamiczne pacjenta [25]. Daje ona ponadto możliwość powtórzenia procedury w przypadku rozszczelnienia układu oddechowego. Zabieg jest wykonywany bez odłączania respiratora od chorego, zaś wentylację mechaniczną kontynuuje się bezpośrednio po jego zakończeniu.

Opisany powyżej sposób opiera ocenę upowietrznienia płuc na krzywej P/V, która odzwierciedla sumę zjawisk w płucach, bez uwzględnienia różnic powietrzności poszczególnych ich regionów.

Spośród prezentowanych metod jedynie badanie CT płuc znalazło uznanie i zostało przyjęte, jako „złoty standard” oceny upowietrznienia płuc [26]. Pamiętając jednak o wszystkich ograniczeniach tej metody, wskazane jest dalsze poszukiwanie metody optymalnej, która, eliminując wspomniane wyżej wady, powinna oferować możliwość wykonania badania bez przerywania wentylacji, przy jednoczesnym zapewnieniu wizualizacji zmian mor-

fologicznych w objętych procesem chorobowym obszarach płuc w czasie rzeczywistym. Spośród omówionych w niniejszym artykule sposobów oceny upowietrzenia płuc metodą najbliższą ideału wydaje się być badanie USG wykonywane za pomocą ogólnie dostępnego sprzętu. Wdrożenie tej metody wymaga jednak z jednej strony przyswojenia wiedzy teoretycznej, z drugiej zdobycia umiejętności praktycznych.

Pozostałe prezentowane sposoby spełniają większość kryteriów metody optymalnej oceny upowietrzenia płuc, wykazując jednak dość istotną słabość. Wynik pomiaru histerezy krzywej P/V jest wypadkową patologii całych płuc i nie dostarcza informacji o lokalizacji zmian oraz ich etiologii. Ponadto tylko niektóre respiratory oferują możliwość wyznaczenia quasi-statycznej krzywej P/V i wykonania na jej podstawie manewru rekrutacyjnego.

Obraz na monitorze EIT jest wizualizacją zmian właściwości elektrycznych klatki piersiowej w zależności od zawartego w niej powietrza. Dzięki temu daje on możliwość monitorowania wentylacji mechanicznej, ukazując zmiany upowietrzenia w trakcie całego cyklu oddechowego zależnie od zastosowanego trybu wentylacji. Należy jednak pamiętać, że zmiany impedancji w klatce piersiowej mogą być spowodowane innymi przyczynami niż patologie śródmiąższowe płuc, a obraz przedstawiony na monitorze nie jest odzwierciedleniem budowy morfologicznej płuc.

Jak przedstawiono powyżej, istnieje wiele metod obrazowania patofizjologii płuc. Właściwa ocena upowietrzenia płuc w przebiegu terapii z zastosowaniem wentylacji mechanicznej wydaje się pomocna we właściwym ukierunkowaniu postępowania leczniczego. Szczególnie cenne są te metody, które poza oceną ilościową i jakościową upowietrzenia tkanki płucnej pozwalają także wskazać na możliwą lokalizację oraz etiologię zmian chorobowych.

Piśmiennictwo:

1. Laycock H, Rajah A: Acute Lung Injury and Acute respiratory Distress Syndrome. A review article, BJMP 2010; 3: 33–39.
2. Oeckler RA, Hubmayr RD: Ventilator-associated lung injury: a search for better therapeutic targets. Eur Respir J 2007; 30: 1216–1226.
3. Putensen C, Theuerkauf N, Zinserling J, Wrigge H, Pelosi P: Meta-analysis: ventilation strategies and outcomes of the acute respiratory distress syndrome and acute lung injury. Ann Intern Med 2009; 151: 566–576.
4. The Acute Respiratory Distress Syndrome Network. The Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. N Engl J Med 2000; 342: 1301–1308.
5. Lachmann B: Open up the lung and keep the lung open. Intensive Care Med 1992; 18: 319–321.
6. Pelosi P, Goldner M, McKibben A, et al.: Recruitment and derecruitment during acute respiratory failure: an experimental study. Am J Respir Crit Care Med 2001; 164: 122–130.
7. Walecki J, Ziemiański A: Rezonans magnetyczny i tomografia komputerowa w praktyce klinicznej. Springer PWN, Warszawa 1997: 12–13.

8. Pelosi P, Rocco PR, de Abreu MG: Use of computed tomography scanning to guide lung recruitment and adjust positive-end expiratory pressure. Curr Opin Crit Care 2011; 17: 268–274.
9. Gattinoni L, Caironi P, Cressoni M, et al.: Lung recruitment in patients with the acute respiratory distress syndrome. N Engl J Med 2006; 354: 1775–1786.
10. Kosiak W: Ultrasonograf stetoskopem w anestezjologii i medycynie ratunkowej: mit czy rzeczywistość? Część 1. Obraz prawidłowy i podstawy diagnostyki ultrasonograficznej płuc. Anest Ratow 2010; 4: 231–238.
11. Kosiak W: Ultrasonograf stetoskopem w anestezjologii i medycynie ratunkowej: mit czy rzeczywistość? Część 2. Możliwości wykorzystania przeklatkowego badania ultrasonograficznego płuc w diagnostyce odmy opłucnowej, obrzęku płuc, zatorowości płucnej i chorób zapalnych płuc w medycynie ratunkowej. Anest Ratow 2010; 4: 361–372.
12. Lichtenstein DA: Ultrasound examination of the lungs in the intensive care unit. Pediatr Crit Care Med 2009; 10: 693–698.
13. Lichtenstein D, Goldstein I, Mourgeon E, Cluzel P, Grenier P, Rouby JJ: Comparative diagnostic performances of auscultation, chest radiography, and lung ultrasonography in acute respiratory distress syndrome. Anesthesiology 2004; 100: 9–15.
14. Zhang M, Liu ZH, Yang JX, et al.: Rapid detection of pneumothorax by ultrasonography in patients with multiple trauma. Crit Care 2006; 10: R112.
15. Bouhmad B, Liu ZH, Arbelot C, et al.: Ultrasound assessment of antibiotic-induced pulmonary re-aeration in ventilator-associated pneumonia. Crit Care Med 2010; 38: 84–92.
16. Stefanidis K, Dimopoulos S, Tripodaki ES, et al.: Lung sonography and recruitment in patients with early acute respiratory distress syndrome: a pilot study. Crit Care 2011; 15: R185.
17. Gattinoni L, Caironi P, Cressoni M, et al.: Lung recruitment in patients with the acute respiratory distress syndrome. N Engl J Med 2006; 354: 1775–1786.
18. Teschner E, Imhoff M: Electrical Impedance Tomography: The realization of regional ventilation monitoring. Dräger Medical GmbH, 2010, www.draeger.com
19. Musch G, Venegas JG: Positron emission tomography imaging of regional lung function. Minerva Anestesiol 2006; 72: 363–367.
20. Frerichs I, Schmitz G, Pulletz S, et al.: Reproducibility of regional lung ventilation distribution determined by electrical impedance tomography during mechanical ventilation. Physiol Meas 2007; 28: S261–267.
21. Meier T, Luepschen H, Karsten J, Leibbecke T, Großherr M, Leonhardt S: Comparison of regional recruitment in electrical impedance tomograms and CT scans in experimental acute lung injury. Critical Care 2006, 10 (supl. 1): P8.
22. Harris RS: Pressure-volume curves of the respiratory system. Respir Care 2005; 50: 78–98; discussion 98–99.
23. Demory D, Arnal JM, Wysocki M, et al.: Recruitability of the lung estimated by the pressure volume curve hysteresis in ARDS patients. Intensive Care Med 2008; 34: 2019–2025.
24. Pasero D, Iotti GA, Belliato M: Respiratory system pressure-volume curve: Validation of a new, automatic, pressure ramp method of acquirement HAMILTON MEDICAL: White papers PN 689213 PV-Tool WP 01.
25. Arnal JM, Paquet J, Wysocki M, et al.: Optimal duration of a sustained inflation recruitment maneuver in ARDS patients. Intensive Care Med 2011; 37: 1588–1594.
26. Caironi P, Langer T, Gattinoni L: Acute lung injury/acute respiratory distress syndrome pathophysiology: what we have learned from computed tomography scanning. Curr Opin Crit Care 2008; 14: 64–69.

Adres do korespondencji:

lek. Wojciech Wierzejski
ul. Słomińskiego 5/25, 00–195 Warszawa
tel.: 605 295 726, faks: 22 555 10 65
e-mail: wierzej@gmail.com

Otrzymano: 18.04.2012 r.

Przyjęto: 31.07.2012 r.