

Zastosowanie ultrasonografii w różnicowaniu chorób układu oddechowego i krążenia

Use of ultrasound in differentiation of respiratory and cardiovascular diseases

Ewa Czackowska, Andrzej Skrobowski, Piotr Kwiatkowski, Paweł Krześciński

Klinika Kardiologii i Chorób Wewnętrznych CSK MON WIM w Warszawie; kierownik: dr hab. n. med. Paweł Krześciński

Streszczenie. Ultrasonografia jest powszechnie stosowaną metodą diagnostyczną. Ma wiele zalet wynikających z jej dostępności, bezpieczeństwa i łatwości wykonania. Opracowano protokoły badań wykonywane w sytuacjach zagrożenia życia chorego, w tym protokół BLUE, pozwalający różnicować między innymi odmę opłucnową, płyn w jamie opłucnowej, obrzęk płuc, zatorowość płucną czy zapalenie płuc i zaostrzenie POChP. USG płuc umożliwia ponadto monitorowanie stanu chorego oraz jego gospodarki płynowej.

Słowa kluczowe: ultrasonografia płuc, protokół BLUE

Abstract. Ultrasonography is a commonly used diagnostic method. It has many advantages, like its availability, safety and user-friendliness. Research protocols were drawn up in life-threatening situations, including the BLUE-protocol allowing for differentiation of pleural pneumothorax, fluid in the pleural cavity, pulmonary edema, pulmonary embolism or pneumonia and exacerbation of COPD. Pulmonary ultrasound also enables monitoring of the patient's condition and the level of his fluid management.

Key words: BLUE-protocol, lung ultrasound

Nadesłano: 18.02.2019. Przyjęto do druku: 6.09.2019

Nie zgłoszono sprzeczności interesów.

Lek. Wojsk., 2019; 97 (4): 345–352

Copyright by Wojskowy Instytut Medyczny

Adres do korepondencji

lek. Ewa Czackowska

Klinika Kardiologii i Chorób Wewnętrznych CSK MON WIM

ul. Szaserów 128, 04-141 Warszawa

e-mail: eczaczkowska@wim.mil.pl

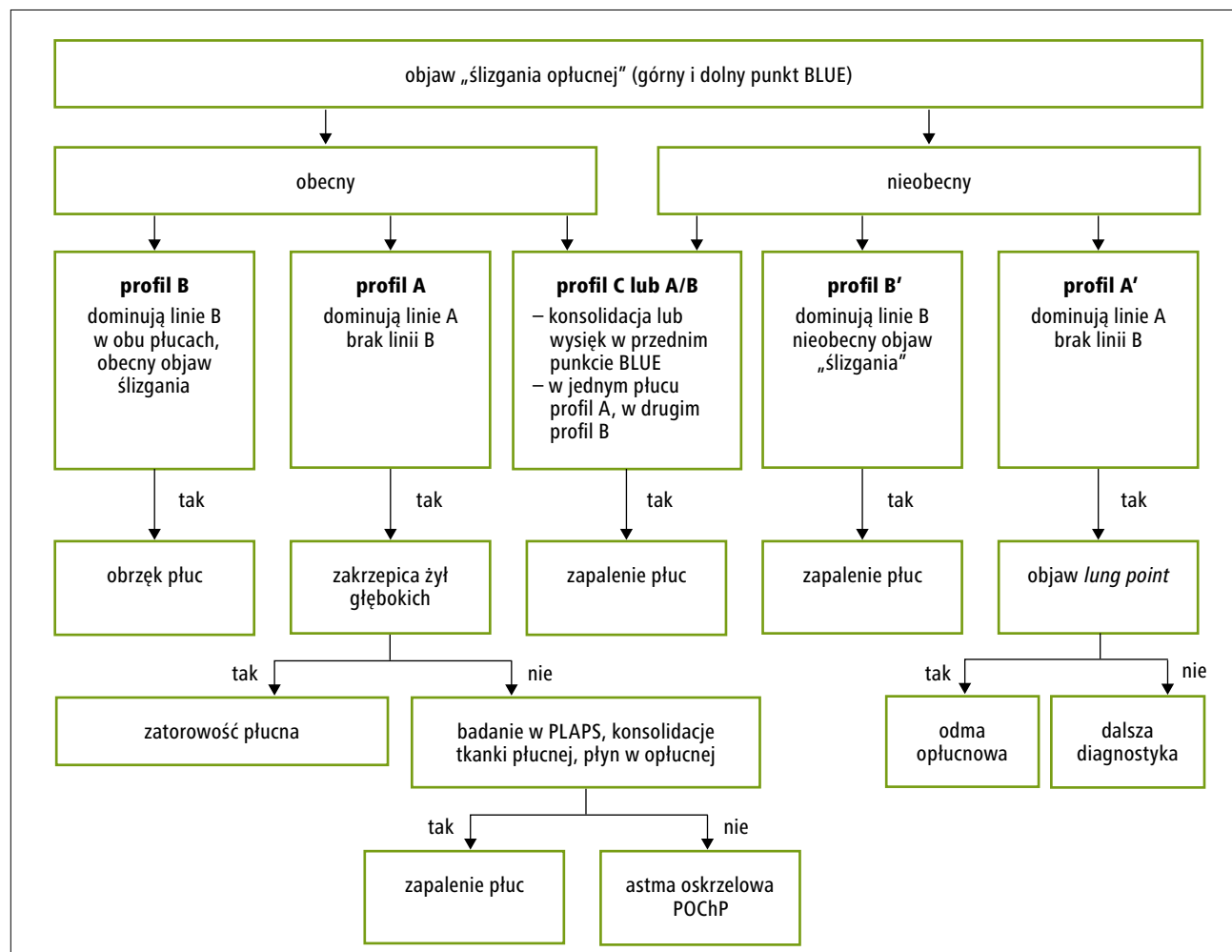
Wstęp

Ultrasonografia jest nieinwazyjną metodą diagnostyki obrazowej, pozwalającą na uzyskanie obrazu przekroju badanego obiektu. Charakteryzuje się dużą dokładnością, umożliwia wykrywanie w narządach zmian do 0,1 mm. Idea ultrasonografu powstała w dziedzinie innej niż medycyna, gdy w okresie I wojny światowej amerykańscy, rosyjscy oraz niemieccy inżynierowie pracowali nad sposobem wykrywania wad w metalach. Pierwsze doświadczenia z wykorzystaniem ultrasonografii w diagnostyce obrazowej prowadzone były w trakcie II wojny światowej, a ultrasonografy wprowadzone zostały do szpitali na przełomie lat 60. i 70. XX wieku.

Jednym z pierwszych klinicznych zastosowań ultrasonografii była diagnostyka płodu. W 1951 r. powstał pierwszy skaner obrazujący badane organy w prezentacji typu B. Zaczęto wtedy badać guzy sutków, kamienie

w pęcherzykach żółciowych oraz nerkach i wprowadzono diagnostykę ultrasonograficzną w położnictwie. Trzy lata później, w 1954 r., Szwedzi I. Edler oraz H. Hertz zbudowali pierwszy skaner ultrasonograficzny umożliwiający prezentację w trybie M, który umożliwiał zobrazowanie ruchu zastawek serca. Rok później w Japonii przeprowadzono pierwszą analizę ruchu zastawek serca, wykorzystując w badaniu efekt Dopplera [1].

Przez wiele lat panowało przekonanie o małej przydatności ultradźwięków w diagnostyce narządów powietrznych, takich jak płuca. W latach 90. pojawiły się prace opisujące obrazy ultrasonograficzne w zapaleniu płuc czy odmie opłucnowej. Metoda zyskała wielu zwolenników z kilku powodów: jest łatwo dostępna zarówno w warunkach pracowni, jak i przyłóżkowo, nie ma konieczności transportu chorego, pozwala na ustalenie w krótkim czasie wstępnego rozpoznania u pacjentów z ostrą niewydolnością oddechową jeszcze przed



Rycina 1. Protokół BLUE

Figure 1. BLUE-protocol

wykonaniem RTG klatki piersiowej, możliwe jest wielokrotne powtarzanie badania i monitorowanie efektów leczenia, nie niesie zagrożenia dla chorego i personelu.

Ultrasonografia jest metodą preferowaną w szybkiej wstępnej diagnostyce w stanach zagrożenia życia, stworzono protokoły badań typu FAST (Focused Assessment with Sonography in Trauma) oraz BLUE (Bedside Lung Ultrasonography in Emergency).

Wyposażenie

Ultrasonografy, zależnie od przeznaczenia, wyposażone są w głowicę sektorową, konweksową lub liniową. Każda z nich ma swoje zalety. Głowica liniowa o wysokiej częstotliwości fal ultradźwiękowych (8–11 MHz) lepiej obrazuje płytkie warstwy, toteż dokładniej oceni na przykład linię opłucnej i tzw. objaw ślizgania, wykluczający odmę

opłucnową. Głowice konweksowe (3,5–5 Mhz) i sektorowe stosuje się do głębszych warstw. Lepiej uwidoczniają płyn w opłucnej, linię B czy też obszary konsolidacji tkanki płucnej, jednak z mniejszą dokładnością zobrazują objaw ślizgania czy linię opłucnej. Głowice sektorowe kardiologiczne dobrze sprawdzają się na oddziałach intensywnej opieki kardiologicznej ze względu na niewielkie rozmiary, małą powierzchnię przyłożenia oraz łatwość manewrowania w przestrzeniach międzyżebrowych. Jeśli chodzi o ustawienia aparatu USG, przy zastosowaniu głowic konweksowych korzystamy z ustawień do badań jamy brzusznej, przy głowicach sektorowych korzystamy z ustawień do badań serca lub jamy brzusznej, zaś przy głowicach liniowych stosujemy ustawienia do badań narządów powierzchniowych.

Ultrasonografia płuc opiera się na ocenie artefaktów powstających na granicy ośrodków o różnej impedancji dla fal ultradźwiękowych. Współczesne aparaty USG

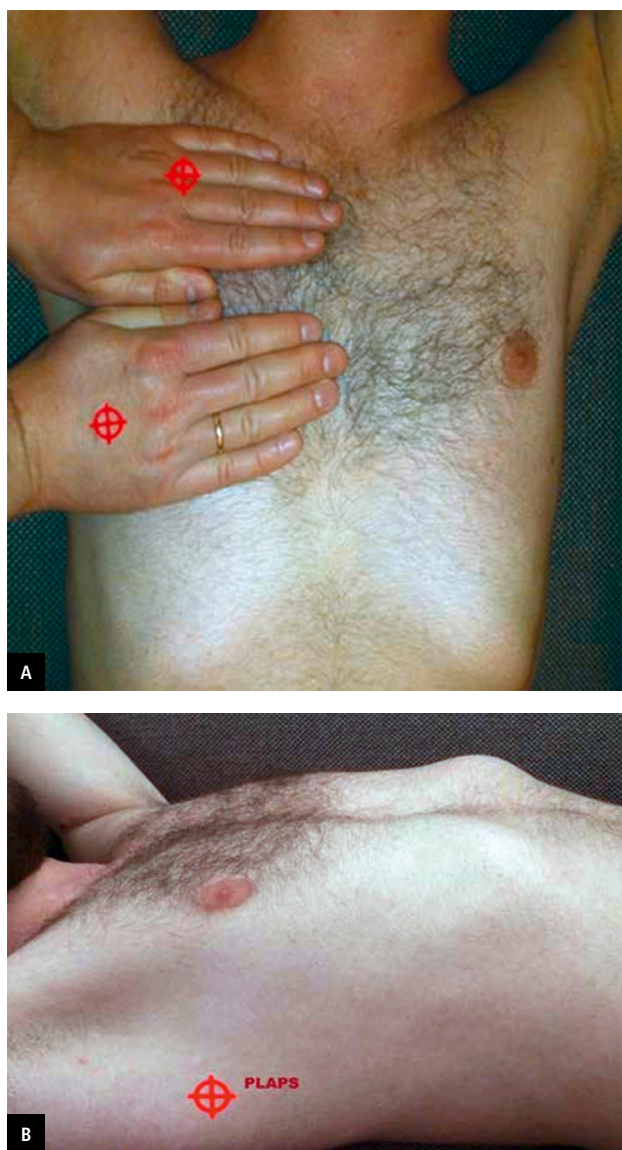
wyposażone są w zaawansowane technologie obrazowania, które redukują powstawanie artefaktów, dlatego też często zachodzi konieczność wyłączenia funkcji optymalizujących obraz [2,3].

Technika badania

Badanie ultrasonograficzne płuc może być wykonywane zarówno w pozycji leżącej, jak i stojącej czy siedzącej. Istnieją różne techniki badania, zależnie od sytuacji klinicznej. Badanie szczegółowe USG płuc przebiega podobnie do osłuchiwania stetoskopem. Ocenie podlegają kolejno wszystkie przestrzenie międzyżebrowe w linii przymostkowej, środkowoobojczykowej, pachowych przedniej, środkowej i tylnej, łopatkowej i przykręgosłupowej. Zmiany o charakterze rozlanym można lokalizować na klatce piersiowej, dzieląc ją na pole górne, znajdujące się między dołem nadobojczykowym a I żebrem, pole środkowe, znajdujące się między I a III żebrem, oraz pole dolne, zlokalizowane między IV żebrem a przeponą [5]. W sytuacji zagrożenia życia stosuje się przyłożenia głowicy według protokołu BLUE (ryc. 1.). Do wyznaczenia punktów używa się dwóch dłoni umieszczonych obok siebie na klatce piersiowej w ten sposób, by palec V górnej dłoni znajdował się pod obojczykiem, zaś czubki palców obu dłoni na linii pośrodkowej mostka. Tym sposobem otrzymujemy tzw. BLUE POINTS (ryc. 2A.): punkt górny przedni, znajdujący się w miejscu podstawy palców III/IV, punkt dolny przedni, znajdujący się w środkowej części dolnej dłoni, PLAPS (*posterolateral alveolar and/or pleural syndrom* [ryc. 2B.]), czyli trzeci punkt, będący miejscem prostopadłego skrzyżowania linii pachowej tylnej i linii przecinającej punkt dolny przedni [4].

Protokół BLUE pozwala na rozpoznanie najczęstszych przyczyn niewydolności oddechowej: obrzęku płuc, zapalenia płuc, zatorowości płucnej, zaostrzenia POChP lub astmy czy też odmy opłucnowej [6]. Jak pokazują najnowsze prospective badania autorstwa Bekoz B. [7], czułość i swoistość protokołu BLUE wynoszą odpowiednio 87,6% i 96,2% dla obrzęku płuc, 85,7% i 99% dla zapalenia płuc, 98,2% i 67,3% dla astmy/POChP, 46,2% i 100% dla zatorowości płucnej oraz 71,4% i 100% w przypadku odmy opłucnowej. W badaniu tym poddano również ocenie obecność płynu w osierdziu i opłucnej (stwierdzono u 21,4% chorych), który nie jest uwzględniony w protokole BLUE.

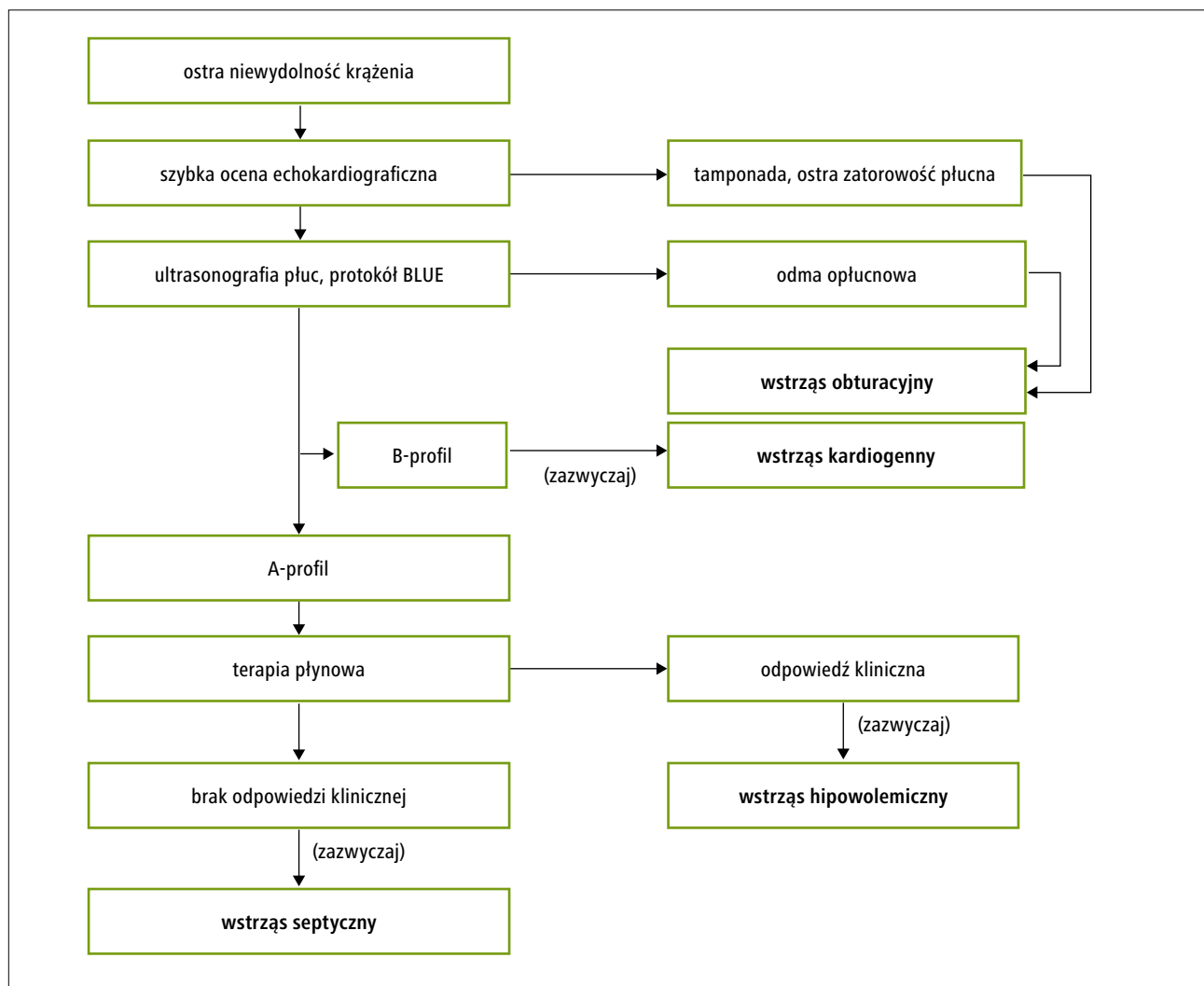
Podczas badania ultrasonograficznego według protokołu BLUE głowicę przykładamy podłużnie do osi długiej ciała w BLUE POINTS, tak by uwidocznic dwa sąsiadujące żebra i przestrzeń między nimi, uzyskując w ten sposób tzw. objaw nietoperza (*bat sign*). W pierwszej kolejności oceniamy, czy występuje objaw ślizgania (*lung sliding*). Jest on artefaktem powstałym na skutek przemieszczania opłucnej płucnej względem opłucnej



Rycina 2. Technika ultrasonografii płuc **A.** Punkty BLUE **B.** Punkt PLAPS (za zgodą prof. Wojciecha Kosiaka)

Figure 2. Lung ultrasound technique **A.** BLUE-points. **B.** PLAPS-point (photos with permission of prof. Wojciech Kosiak)

ściennej. W prezentacji *M-mode* objaw ten nazywany jest objawem plaży lub brzegu morskiego. Następnie przechodzimy do poszukiwania patologicznych artefaktów lub podopłucnowych konsolidacji i tym samym rozpoznania na przykład zapalenia płuc, obrzęku płuc czy odmy. Jeśli na tym etapie nie udaje się ustalić rozpoznania, przechodzimy do analizy naczyniowej, czyli testu uciskowego żył głębokich kończyn dolnych (udowe wspólne, udowe, piszczelowe tylne, strzałkowe). Dodatni test uciskowy kieruje do rozpoznania zatorowości płucnej, ujemny wykazuje 80% czułości i skłania do oceny płuc w punkcie PLAPS po obu stronach klatki



Rycina 3. Protokół FALLS

Figure 3. FALLS-protocol

piersiowej. Stwierdzenie płynu lub konsolidacji w tym punkcie nasuwa rozpoznanie zapalenia płuc, brak konsolidacji sugeruje zaostrzenie POChP lub astmy.

Technika badania według protokołu BLUE łącznie z analizą naczyniową zajmuje około 1–3 minuty [8].

Innym protokołem jest tzw. protokół FALLS (Fluid Administration Limited by Lung Sonography), dedykowany szybkiej diagnostyce przyczyn ostrej niewydolności krążenia [13]. Protokół FALLS (ryc. 3.) jest zgodny z klasyfikacją Weila dotyczącą wstrząsu i pomaga wykluczyć wstrząs obturacyjny, kardiogeny, hipowolemiczny i septyczny.

Pierwszym krokiem w tym protokole jest ocena wysięku osierdziowego, po którym następuje ocena przeciążenia prawej komory i odmy opłucnowej. Ten krok

wyklucza wstrząs obturacyjny. Następnym krokiem jest ustalenie obecności profilu B w celu wykluczenia wstrząsu kardiogenego. Po tym etapie wprowadzana jest terapia płynowa, która w sytuacji poprawy stanu klinicznego chorego potwierdza rozpoznanie wstrząsu hipowolemicznego. Jeśli pacjent nie wykazuje poprawy mimo zastosowanego leczenia, resuscytacja płynowa jest wstrzymywana i kontynuuje się analizę w celu określenia rodzaju wstrząsu.

Główne ograniczenia tego protokołu polegają na tym, że nie odnosi się on do całkowitej oceny hemodynamicznej pacjentów. Konieczne są dalsze badania kliniczne w celu określenia dokładności i skuteczności tego protokołu.

Rodzaje artefaktów

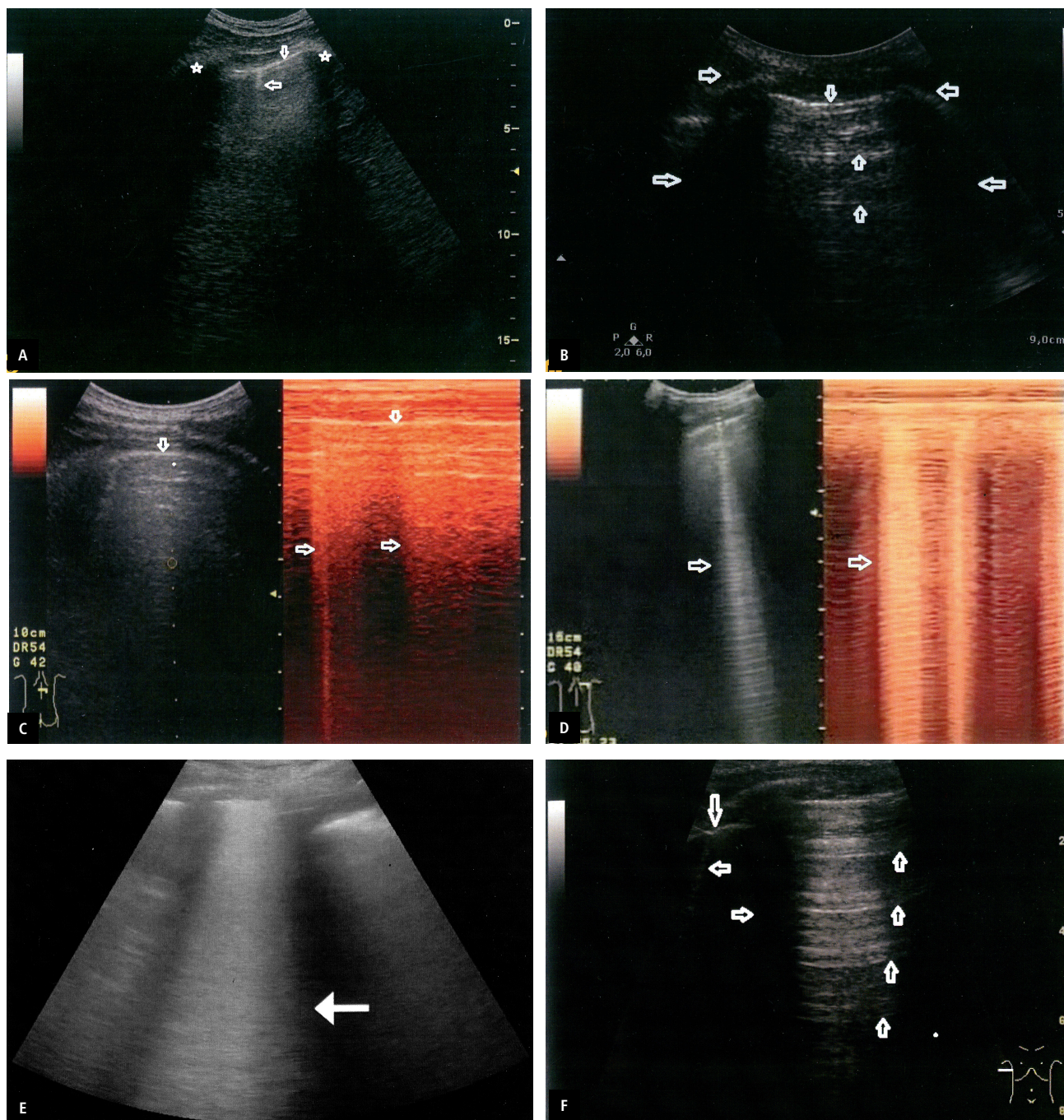
Na obraz ultrasonograficzny płuc wpływają zaburzenia równowagi w zakresie dwóch ośrodków: wody i powietrza. Płuco traci swą powietrzną w wyniku zmian zapalnych, zatorowości płucnej, niedodmy z ucisku, niedodmy resorpcyjnej i nacieków nowotworowych. Gdy dochodzi do zmiany warunków panujących w płucach, w USG obserwujemy artefakty i/lub zmiany podopłucnowe. Podstawowym artefaktem jest wspomniany wcześniej objaw nietoperza (ryc. 4A.), fizjologiczny objaw obrazujący cienie akustyczne dwóch sąsiednich żeber oraz linię optucnej między nimi, zaś w prezentacji *M-mode* zwany objawem plaży lub brzegu morskiego (ryc. 4C.). Gdy objaw plaży zanika, np. w niedodmie, pojawiają się linie T. W prawidłowych warunkach linia optucnej jest regularna, hiperechogenna, o grubości do 2 mm.

Kolejnym charakterystycznym objawem jest objaw ślizgania czyli ruch optucnej zgodnie z fazą oddechu. Zjawisko to jest bardziej wyrażone w dolnych obszarach płuc, całkowity brak objawu ślizgania charakterystyczny jest dla odmy optucnowej, zaś osłabiony jest w zapaleniu płuc, ARDS, włóknieniu płuc i zatorowości płucnej. Obszary bezpowietrzne, tzw. konsolidacje, w USG przypominają echostrukturę wątroby. Jednak uwidocznienie konsolidacji można jedynie wtedy, gdy kontaktują się bezpośrednio z optucną. Z obserwacji wynika, że 98% zmian konsolidacyjnych zlokalizowanych jest podopłucnowo [9,10]. Część artefaktów ma charakter rewerberacji, czyli wynikają z wielokrotnych odbić fal pomiędzy dwiema powierzchniami granicznymi. Przykładem są linie A (ryc. 4B.), czyli powtarzające się w tej samej odległości od siebie poziome hiperechogenne linie równoległe do linii optucnej. Ich liczba zależy od grubości tkanki podskórnej – u osób szczupłych jest ich około 6–7, a u otyłych około 2, jednakże ich liczba nie ma znaczenia klinicznego, są charakterystyczne dla prawidłowego obrazu płuc. Linie B (ryc. 4D.), odpowiadające radiologicznym liniom Kerleya, wychodzą z linii optucnej i biegną do dolnego brzegu ekranu, poruszają się wraz z linią optucnej, pojedyncze mogą występować w zdrowej tkance płucnej. Za patologiczną sytuację uznaje się, gdy w jednym skanie występuje >3 linii B. Ich zwiększona liczba koreluje z klasą NYHA, stężeniem NT-proBNP, wskazuje na zwiększenie ilości płynu w przegrodach międzypęcherzykowych, np. w obrzęku płuc, ARDS, chorobach śródmiąższowych płuc. Ich liczba maleje w wyniku zastosowania leczenia nerkozastępczego czy też moczopędnego [6]. Zlewające się linie B tworzą obraz „białego płuca”, charakterystyczny dla obrzęku płuc (ryc. 4E.). Też linie B są patognomoniczne dla płuc „mokrych”, zaś linie A dla płuc „suchych”. Ilościowa ocena linii B polega

na ich zsumowaniu symetrycznie po obu stronach klatki piersiowej w linii przymostkowej, środkowoobojczykowej oraz pachowej przedniej i środkowej w II–V przestrzeni międzyżebrowej. Oszacowano, iż całkowita liczba linii B <5 świadczy o braku przewodnienia tkanki płucnej, 6–15 linii koreluje z małą ilością pozanaczyniowej wody płuc, 16–30 linii świadczy o średniej ilości pozanaczyniowej wody, zaś liczba linii B >30 świadczy o dużej ilości pozanaczyniowej wody w płucach (tab. 1.). Na podstawie obserwacji i szacowania linii B możliwa jest kontrola ilościowa płynoterapii. Pomocny w tym jest również ultrasonograficzny wskaźnik, tzw. indeks IVC/AoB (iloraz średnicy żyły głównej dolnej i średnicy aorty brzusznej), który koreluje z ośrodkowym ciśnieniem żylnym. Jego norma wynosi 0,8–1,4. Linie Z mają również charakter rewerberacji, wychodzą z optucnej i biegną promieniście pionowo w dół, kończąc się w połowie ekranu. Nie mają znaczenia klinicznego. Podobnie linie J, które są jedynie krótsze od linii Z.

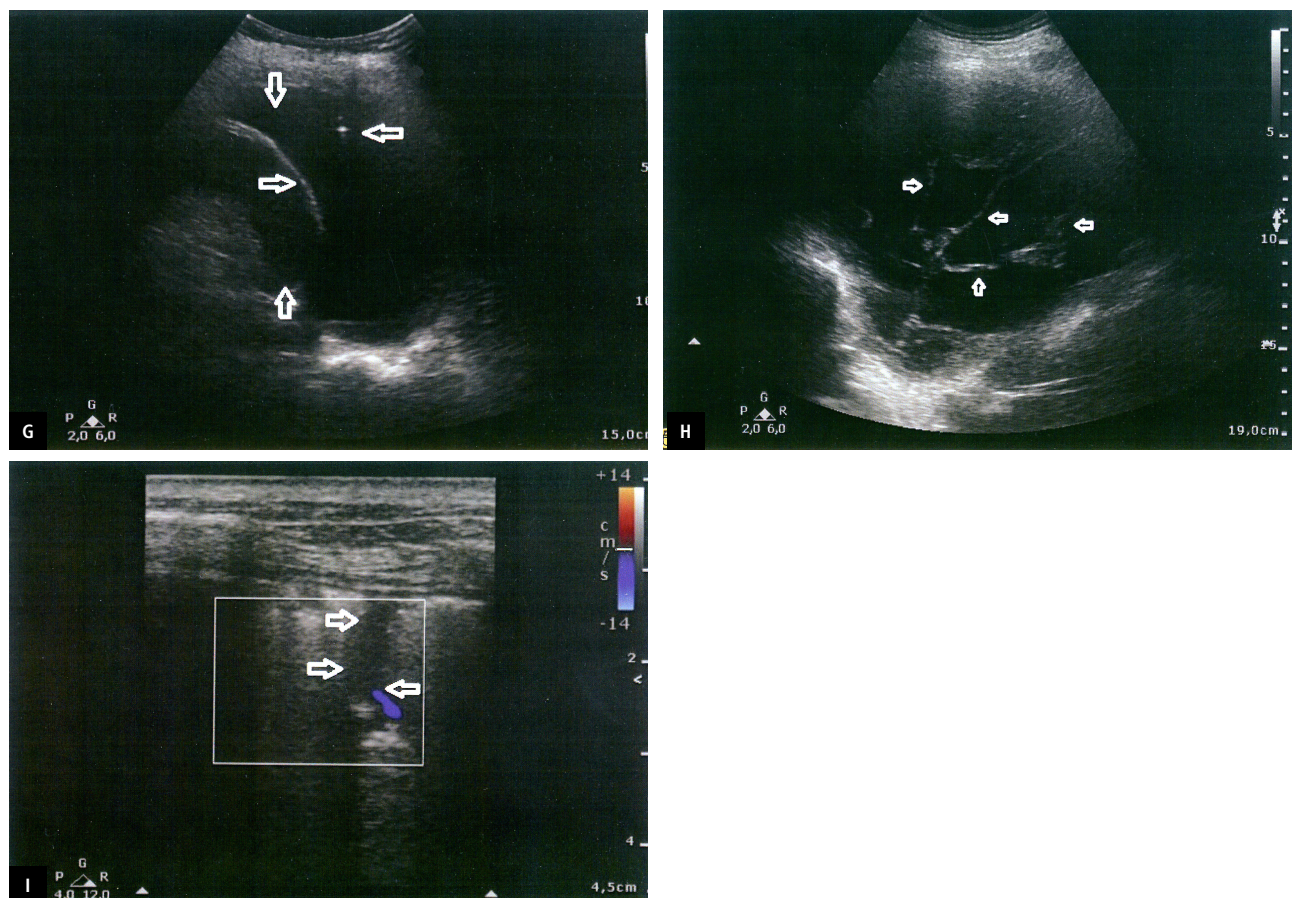
W przypadku odmy optucnowej powstaje tzw. *lung point* (ryc. 4F.), czyli linia graniczna pomiędzy prawidłowo powietrznym płucem a komorą odmy, oraz tzw. objaw stratosfery lub inaczej objaw kodu paskowego, gdy nie ma objawu ślizgania optucnej w obrazowaniu *M-mode*. Odmiennym artefaktem jest tzw. bronchogram powietrzny dynamiczny, czyli obecność ziarnistych hiperechogenych zmian poruszających się w czasie ruchów oddechowych. Jest on charakterystyczny dla zmian zapalnych i konsolidacji. Dla odmiany zmiany nowotworowe mają okrągły, nieregularny kształt i chaotyczne unaczynienie; często zajmują optucną, powodując jej fragmentaryczność. Dla rozedmy charakterystyczne są linie Am z jednoczesnym osłabieniem objawu ślizgania.

Ultrasonografia jest również bardzo pomocna w wykrywaniu i szacowaniu objętości płynu w optucnej. W RTG klatki piersiowej minimalna ilość płynu w optucnej, którą można uwidocznienie, to 200–300 ml w pozycji stojącej i około 300–500 ml w pozycji leżącej. W USG minimalna ilość to około 30 ml. Aby oszacować ilość płynu, można skorzystać ze wzoru $V(\text{ml}) = 20 \times \text{Sep}$ (maksymalna zmierzona separacja blaszek optucnej) lub ocenić grubość płynu w punkcie PLAPS (grubość płynu na ok. 10 mm odpowiada 75–100 ml, 20 mm odpowiada 300–600 ml, 35 mm odpowiada objętości płynu >1500 ml). Ponadto możliwa jest ocena charakteru płynu. Płyn bezechowy (ryc. 4G.) sugeruje prześiek, obecność nitkowatych cech świadczy najpewniej o wysięku (ryc. 4H.) [11]. W przypadku zatorowości płucnej charakterystyczny jest objaw *vascular sign* (ryc. 4I.), obrazujący amputację unaczynienia w opcji *color Doppler* oraz klinową konsolidację podopłucnową o jednorodnej echogeniczności i echostrukturze.



Rycina 4. Objawy i zjawiska obserwowane w ultrasonografii płuc **A.** Objaw nietoperza. **B.** Objaw brzegu morskiego. **C.** Linie A. **D.** Linie B. **E.** Objaw białego płuca. **F.** Odma opłucnowa – objaw *lung point* (za zgodą prof. Wojciecha Kosiaka)

Figure 4. Signs and phenomena observed in ultrasound of lungs. **A.** Bat sign. **B.** Seashore sign. **C.** A-lines. **D.** B-lines. **E.** White lung sign. **F.** Pneumothorax – lung point sign (photos with permission of prof. Wojciech Kosiak)



Rycina 4. Cd. **G.** Bezechowy płyn opłucnej **H.** Płyn w opłucnej z obecnością włókniaka. **I.** Zatorowość płucna, objaw *vascular sign* (za zgodą prof. Wojciecha Kosiaka)

Figure 4. **G.** Nonechogenic fluid in pleural cavity **H.** Fluid containing fibrin in pleural cavity **I.** Pulmonary embolism, vascular sign (photos with permission of prof. Wojciech Kosiak)

Tabela 1. Stopnie uwodnienia i ilość pozanaczyniowej wody płucnej (EVLW)

Table 1. Degrees of hydration and amount of extravascular lung water

	liczba linii B	ilość EVLW
0	≤5	brak
1	6–15	mała
2	16–30	średnia
3	>30	duża

Podsumowanie

Ultrasonografia jest powszechnym narzędziem, umożliwiającym diagnostykę oraz monitorowanie procesu leczenia. Pozwala na wgląd w patofizjologię układu oddechowego i krążenia. USG płuc jest bardzo pomocną

metodą do wykorzystania na oddziałach intensywnej terapii, tzw. LUCI (*lung ultrasound in the critically ill*). Ile razy na świecie wypowiedzane jest słowo „płuco” w warunkach intensywnej opieki medycznej, tyle razy ultradźwięki mogą być wykorzystywane przy łóżku pacjenta w celu rozwiązania problemów klinicznych. Dzięki tej metodzie zyskujemy szybką diagnozę, oszczędności finansowe oraz ograniczenie cierpienia chorego i narażenia personelu medycznego na niekorzystne działania promieniowania. W doświadczonych dłoniach ultradźwięki mogą zastąpić promieniowanie rentgenowskie w postaci RTG i niekiedy również CT. Zarówno przed klinicystami, jak i radiologami stoi wyzwanie w postaci zaakceptowania roli ultrasonografii płuc. W związku z tym potrzeba więcej wysiłków, aby ułatwić upowszechnienie ultrasonografii płuc w społeczności medycznej, która pozwala na szybkie ustalenie rozpoznania u pacjentów z ostrą dysfunkcją układu oddechowego i krążenia.

Piśmiennictwo

1. ECHOSON. Historia ultrasonografii. www.echoson.eu/historia-ultrasonografii/ (dostęp: 21.01.2019)
2. Nowicki A. Ultradźwięki w medycynie. Roztoczańska Szkoła Ultrasonografii, Warszawa 2010
3. Jakubowski W, ed. Standardy badań USG Polskiego Towarzystwa Ultrasonograficznego. Roztoczańska Szkoła Ultrasonografii, Warszawa 2008
4. Kosiak W. Chest ultrasound in the diagnosis of selected lung diseases in children. Rozprawa habilitacyjna Ann Acad Med Gedan, 2013; 43 (10): 1–165
5. Lichtenstein D, Mezière G. The BLUE-points: three standardized points used in the BLUE-protocol for ultrasound assessment of the lung in acute respiratory failure. Crit Ultrasound J, 2011; 3 (2): 109–110
6. Kosiak W. Ultrasound in diagnosis of infectious diseases of respiratory system. Part 1. Ultrasound image of normal lungs. First attempt to ultrasound examination of infectious diseases of respiratory system. Ultrasonografia, 2009; 37: 26–31
7. Bekgoz B, Kilicaslan I, Bildik F, et al. BLUE protocol ultrasonography in Emergency Department patients presenting with acute dyspnea. Am J Emerg Med, 2019; pii: S0735-6757(19)30112–3
8. Lichtenstein DA, Mailbrain MLNG. Lung ultrasound in the critically ill (LUCI): A translational discipline. Anaesthesiol Intensive Ther, 2017; 49 (5): 430–436
9. Kosiak W. Progress in lung ultrasound in the end of 2009. Ultrasonografia, 2009; 39: 57–61
10. Kosiak W. Ultrasound in diagnosis of infectious diseases of respiratory system. Part 2. Ultrasound images of pneumonia. Ultrasonografia, 2009; 37: 32–37
11. Lee J. Lung ultrasound in critically ill patients. Korean J Crit Care Med, 2016; 31 (1): 4–9
12. Gargani L. Lung ultrasound: a new tool for the cardiologist. Cardiovasc Ultrasound, 2011; 9: 6
13. Singh S, Kaur H, Singh S, Khawaja I. Basic Insights of Lung Ultrasonography in Critical Care Setting. Cureus, 2018; 10 (12): e3702