

Otrzymano:
04.11.2018
Zaakceptowano:
21.01.2019
Opublikowano:
29.03.2019

Przydatność ultrasonograficznej oceny układu oddechowego w modyfikacji algorytmu fizjoterapii u dzieci po operacjach wad wrodzonych serca

The usefulness of respiratory ultrasound assessment for modifying the physiotherapeutic algorithm in children after congenital heart defect surgeries

Marcin Myszkowski

Klinika Kardiologii i Chirurgii Ogólnej Dzieci, Warszawski Uniwersytet Medyczny, Warszawa, Polska

Adres do korespondencji: Marcin Myszkowski, Klinika Kardiologii i Chirurgii Ogólnej Dzieci, Warszawski Uniwersytet Medyczny, ul. Żwirki i Wigury 63A, 02-091 Warszawa; e-mail: marcinmy@wp.pl

DOI: 10.15557/JoU.2019.0003

Słowa kluczowe

ultrasonografia,
układ oddechowy,
fizjoterapia,
wrodzona wada serca

Keywords

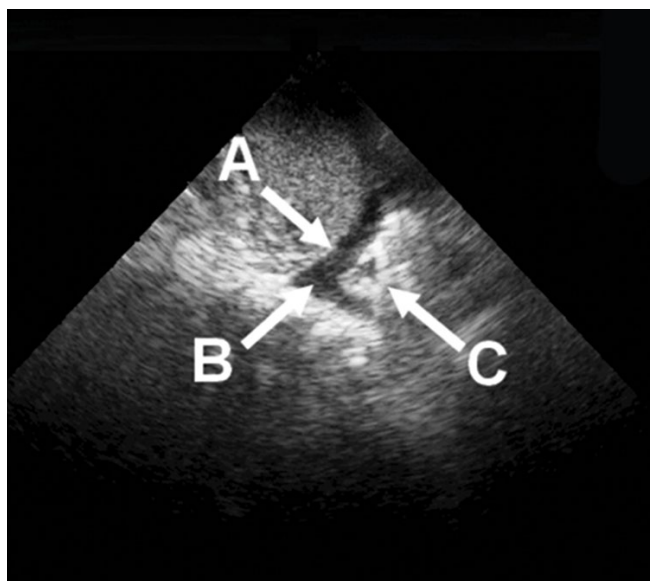
ultrasound
assessment,
respiratory system,
physiotherapy,
congenital heart
defect

Abstract

Background: The aim of the study was to assess the effectiveness and the possible use of diagnostic transthoracic ultrasound of the respiratory tract to qualify patients for therapy and to monitor the effectiveness of physiotherapy in children after cardiac surgeries. **Materials and methods:** A total of 103 patients aged between 1 and 12 months who underwent a series of congenital heart surgeries using cardiopulmonary bypass were qualified for the prospective analysis. Point-of-care respiratory ultrasound imaging was performed according to a tailored protocol during the patient's stay in the intensive care unit. In order to evaluate the method, the obtained findings were subject to comparative analysis against the available radiographic findings with a division into sectors. **Results:** The comparative analysis of ultrasonographic and radiographic findings with a division into sectors showed the highest concordance rate (89.6%) for S1L (the apex of the left lung) and the lowest concordance rate (57.0%) for S2L (pericardial region). The highest discordance rate, i.e. when a lesion was detected in radiography (X-ray = 1), but was not confirmed by ultrasound (US = 0), was reported for sectors S1P (right lung apex) – 26.1%, and S2L – 40.0%, whereas the lowest discordance rate was reported for S1L – 7.0%. The highest discordance rate, i.e. when a lesion was shown in ultrasound (US = 1), but was not confirmed by radiography (X-ray = 0) was reported for S3P (the base of the right lung) and S3L (base of the right lung) – 28.3% and 26.1%, respectively. **Conclusions:** The author's protocol for ultrasonographic assessment of the respiratory tract is an optimal tool for determining therapeutic goals, as well as for the assessment of the efficacy of pulmonary physiotherapy. The diagnostic value of ultrasonographic assessment of the respiratory tract and standard radiography in the study group depends on the location of the investigated lung segment.

Wstęp

Powikłania ze strony układu oddechowego w populacji pediatrycznej po korekcjach kardiochirurgicznych z zastosowaniem krążenia pozaustrojowego, występujące we wczesnym okresie pooperacyjnym, istotnie wpływają na wydłużenie czasu mechanicznej wentylacji i długość pobytu na oddziale intensywnej terapii, zwiększają śmiertelność oraz negatywnie oddziałują na końcowy wynik leczenia^(1,2). Dominującymi objawami klinicznymi są zmiany powietrzności mięszu płucnego w postaci niedodmy, występujące u 12–42% pacjentów niezaintubowanych i 68–100% pacjentów zaintubowanych, oraz gromadzenie się płynu w przestrzeniach opłucnowych, stwierdzone u 11–39% pacjentów pediatrycznych we wczesnym okresie pooperacyjnym^(3,4) (Ryc. 1).



Ryc. 1. Ultrasonograficzny obraz struktur: A – przepona; B – płyn w jamie opłucnej; C – zagęszczenia mięszu płucnego w tkance płucnej

Dziedzina fizjoterapii oddechowej w kardiochirurgii pediatrycznej, pomimo istnienia wielu koncepcji postępowania leczniczego, nie dysponuje skutecznymi metodami wyznaczania celów terapeutycznych oraz narzędziami wymiernej oceny wyników terapii⁽⁵⁾. Obecnie podstawowe źródło informacji dla fizjoterapeuty o lokalizacji i nasileniu patologii płucnej stanowi standardowe badanie rentgenowskie klatki piersiowej (RTG). Szereg ograniczeń tej metody, takich jak: obraz jednowymiarowy i trudny w interpretacji, metoda statyczna, ryzyko powikłań związanych z promieniowaniem jonizującym, uniemożliwia jej szerokie zastosowanie w fizjoterapii^(6,7).

Specyfika kardiochirurgii pediatrycznej sprawia, że przyłóżkowe badanie ultrasonograficzne (USG), ze względu na dostępność, możliwość wielokrotnego powtarzania i nieinwazyjność metody, stanowi potencjalnie atrakcyjne narzędzie do monitorowania stanu układu oddechowego.

Cel pracy

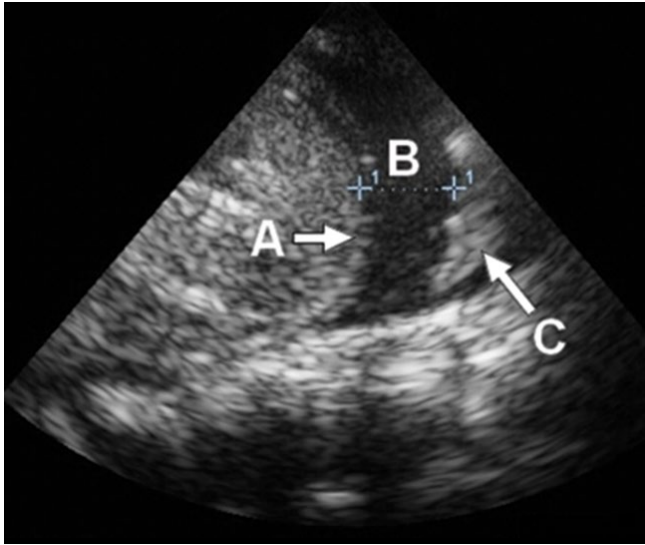
Celem pracy była ocena efektywności i możliwości zastosowania przezklatkowej ultrasonograficznej diagnostyki układu oddechowego w kwalifikacji do terapii oraz w monitorowaniu skuteczności postępowania fizjoterapeutycznego u dzieci po operacjach kardiochirurgicznych.

Materiał i metoda

Do analizy prospektywnej zakwalifikowano 103 pacjentów poddanych sukcesywnym operacjom wrodzonych wad serca z użyciem krążenia pozaustrojowego w Klinice Kardiochirurgii i Chirurgii Ogólnej Dzieci WUM. Wiek pacjentów zawierał się w przedziale 1–12 miesięcy życia (wartość średnia 5,24 miesiąca, SD \pm 2,94). W badanej grupie określono cztery główne rozpoznania echokardiograficzne, definiujące morfologię wady ASD (*atrial septal defect* – ubytek przegrody międzyprzedsionkowej) – 8 pacjentów; VSD (*ventricular septal defect* – ubytek przegrody międzykomorowej) – 51 pacjentów; F4 (tetralogia Fallota) – 19 pacjentów; AVSD (*atrioventricular septal defect* – wspólny kanał przedsionkowo-komorowy) – 25 pacjentów. Liczba pacjentów z zespołem Downa w badanej grupie wynosiła 24 niemowląt. Mediana długości okresu krążenia pozaustrojowego (*cardiopulmonary bypass* – CPB) wynosiła 78 minut (56–95 minut), a mediana długości okresu zakleszczenia aorty (*aorta cross-clamping*, AoCC) – 43 minuty (26–52 minuty).

Ultrasonograficzna ocena układu oddechowego dla potrzeb fizjoterapii u dzieci po operacjach kardiochirurgicznych wymagała stworzenia odpowiedniego protokołu badania. Obszar badania na ścianie bocznej i przedniej klatki piersiowej w protokole podzielono po stronie lewej i prawej na trzy orientacyjne sektory, w płaszczyźnie czołowej (sektor 1 – górny, sektor 2 – środkowy i sektor 3 – dolny) oraz analogicznie w płaszczyźnie poprzecznej. Graficzna forma protokołu umożliwia rejestrację lokalizacji, typu oraz nasilenia patologii płucnych uwidocznionych w badaniu USG.

Ultrasonograficzna ocena układu oddechowego, według autorskiego protokołu, wykonywana była przyłóżkowo, codziennie w czasie całego pobytu pacjenta na oddziale intensywnej terapii, przez jednego badacza (W.M.), aparatem GE VIVID 3 (GE Medical Systems, Waukesha, WI, USA) wyposażonym w głowicę sektorową typu convex (o częstotliwościach od 2,5 do 7 MHz) oraz głowicę liniową (3–12 MHz). Badanie USG płuc wykonywano w pozycji leżenia tyłem, ze względu na stan pacjentów we wczesnym okresie po operacji. Ocenie poddano poszczególne segmenty płuca lewego i prawego, przemieszczając głowicę wzdłuż przestrzeni międzyżebrowych (tworzących fizjologiczne okno akustyczne) na przedniej oraz bocznej powierzchni klatki piersiowej. Badanie szczytów płuc wykonano z dostępu nadobojczykowego, natomiast obrazowanie podstawy płuc, zachyłka przeponowo-żebrowego oraz przepony wykonywane było z dostępu przez nadbrzusze i powłoki brzuszne.



Ryc. 2. Ultrasonograficzny obraz struktur: A – przepona; B – płyn w jamie opłucnej (z pomiarem grubości warstwy płynu); C – zagęszczenia miększu płucnego w tkance płucnej

Głównym trybem badania, który został zastosowany, była projekcja B-mode, a w przypadku wątpliwości co do obrazowanych zmian wykorzystywano również projekcję M-mode. Oceny miększu płucnego oraz opłucnej dokonywano w czasie minimum 3 cykli oddechowych (spontanicznych lub wywołanych mechanicznie). Podczas badania oceniano artefakty i objawy widoczne w obrazie ultrasonograficznym, definiujące prawidłowy obraz płuc oraz stanowiące cechy nieprawidłowego obrazu, zgodnie z wyznacznikami opisanymi przez Lichtensteina i wsp.⁽⁸⁻¹⁰⁾ Uzyskane wyniki badań zapisywano w formacie cyfrowym oraz odnotowywano w czasie rzeczywistym na autorskim protokole graficznym. W badaniu uwzględniono główne powikłania płucne występujące w populacji pediatrycznej po operacji kardiochirurgicznej: zaburzenia powietrzności miększu płucnego oraz obecność nadmiaru płynu w jamie opłucnej^(3,4) (Ryc. 2).

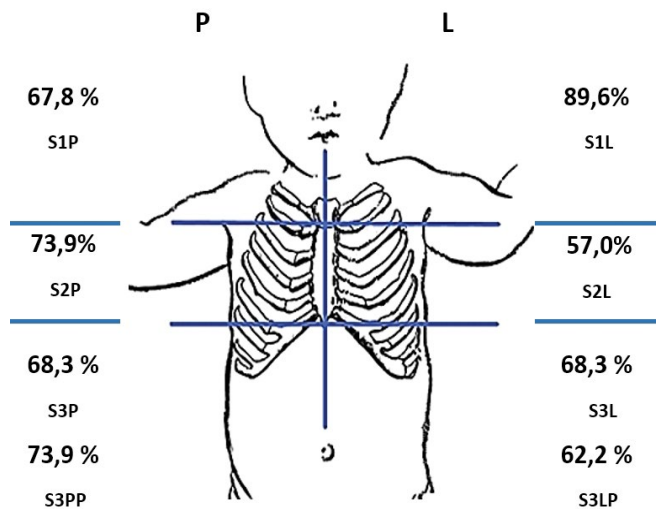
W celu weryfikacji efektywności protokołu ultrasonograficznej oceny układu oddechowego wyniki zostały porównane z badaniem radiologicznym klatki piersiowej, wykonanym zgodnie ze standardami oraz potrzebami klinicznymi procesu opieki pooperacyjnej.

Analizie porównawczej poddano 230 obserwacji, w których u poszczególnych pacjentów wykonano ultrasonograficzną ocenę układu oddechowego oraz standardowe badanie rentgenowskie w odstępie czasowym nie większym niż 3 godziny danego dnia. Obecność zmian w uzyskanym obrazie (RTG = 1 lub/i USG = 1) odnotowywano analogicznie w jednym z trzech sektorów po stronie lewej oraz prawej. Sektory, w których nie stwierdzano zmian, analogicznie oznaczano jako RTG = 0 lub/i USG = 0. Tożsamy wynik w poszczególnych sektorach określono jako zgodność, różny – jako niezgodność. Dodatkowo w sektorze trzecim odnotowywano obecność nadmiaru płynu w jamie opłucnej o określonej w protokole lokalizacji.

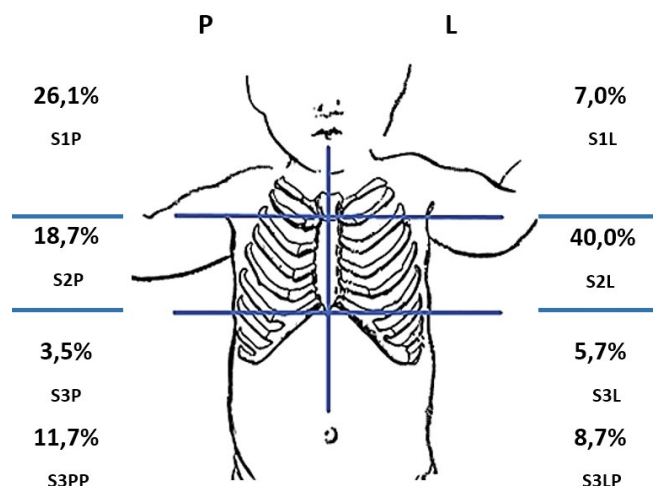
Wyniki

Najwyższy współczynnik zgodności, tj. gdy wynik badania USG w określonym sektorze pokrywał się z wynikiem badania RTG analogicznego obszaru, odnotowano w sektorze 1 po stronie lewej – S1L (szczyt płuca lewego) 89,6% – 206 przypadków, najniższy dla sektora 2 strony lewej – S2L (okolica przysercowa) 57,0% – 131 przypadków. Współczynnik zgodności dla obecności płynu w jamie opłucnej wynosił 73,9% – 170 przypadków w sektorze S3PP po stronie prawej oraz 62,2% – 143 przypadki w sektorze S3LP po stronie lewej (Ryc. 3).

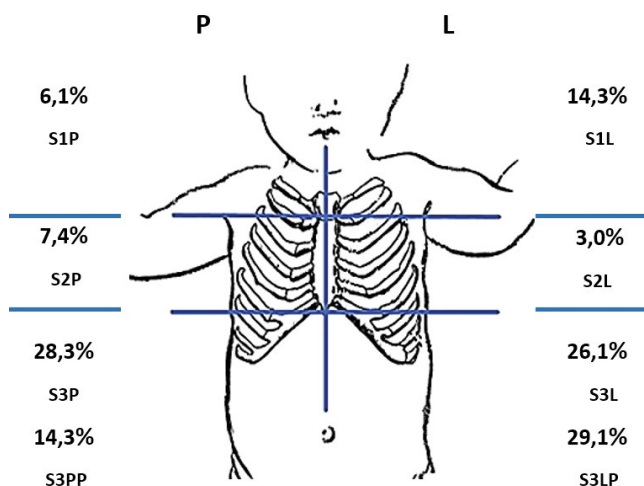
Rozpatrując procent niezgodności – gdy badanie radiologiczne wykazało zmianę (RTG = 1), a ultrasonograficzna ocena układu oddechowego takiej zmiany nie wykazała (USG = 0) – istotną różnicę w zakresie wartości diagnostycznej zaobserwowano w sektorze S1P – 26,1% oraz S2L – 40,0% (Ryc. 4). Uzyskane dane wskazują na ograniczone możliwości diagnostyczne okolicy szczytu płuca prawego, ze względu na stosunki anatomiczne okolicy (ograniczony kontakt struktur z opłucną ścienną) oraz specyfikę opieki pooperacyjnej (pozycja w czasie badania, obecność centralnego dostępu żylnego), utrudniające prawidłową propagację fali ultradźwiękowej, a przez to właściwą interpretację badania. Uzyskany wynik dla sektora S2L, jak poprzednio, wskazuje na trudności w interpretacji obrazu diagnostycznego (zarówno w badaniu RTG, jak i USG) dla okolicy przysercowej, szczególnie w okresie wczesnym po korekcie kardiochirurgicznej. Najmniejszą procentową niezgodność odnotowano dla sektorów S3P – 3,5% oraz S3L – 5,7%.



Ryc. 3. Procentowa zgodność (RTG = 1 i USG = 1) badania ultrasonograficznego oraz rentgenowskiego w poszczególnych sektorach. L – strona lewa, P – strona prawa S1P – sektor 1 strona prawa, S1L – sektor 1 strona lewa, S2P – sektor 2 strona prawa, S2L – sektor 2 strona lewa, S3P – sektor 3 strona prawa, S3L – sektor 3 strona lewa, S3PP – sektor 3 – obecność nadmiaru płynu w jamie opłucnej po stronie prawej, S3PL – sektor 3 – obecność nadmiaru płynu w jamie opłucnej po stronie lewej



Ryc. 4. Procentowa niezgodność (RTG = 1 i USG = 0) badania ultrasonograficznego oraz rentgenowskiego w poszczególnych sektorach. Oznaczenia jak na Ryc. 3



Ryc. 5. Procentowa niezgodność (RTG = 0 i USG = 1) badania ultrasonograficznego oraz rentgenowskiego w poszczególnych sektorach. Oznaczenia jak na Ryc. 3

Analizując procent niezgodności – gdy badanie ultrasonograficzne wykazało zmianę (USG = 1), a badanie rentgenowskie takiej zmiany nie wykazało (RTG = 0) – istotną różnicę uwidoczniło w sektorze S3LP – 29,1% oraz S3PP – 14,3% (Ryc. 5). Oceniane sektory odpowiadają zdiagnozowanej obecności nadmiaru płynu w jamie opłucnej. Wysoki procent niezgodności odnotowano również dla sektorów S3P – 28,3% oraz S3L – 26,1%.

Dyskusja

W badanej grupie, analizując procent zgodności w wykrywaniu zmian w obrębie płuc z wykorzystaniem badania USG i RTG, największy współczynnik odnotowano w sektorze 1 strony lewej (szczyt płuca lewego) – 89,60% oraz sektorze 2 strony prawej (obszar znajdujący się orientacyjnie na wysokości trzonu mostka po stronie prawej) – 73,9%. Zbliżone metodycznie badanie, z podziałem na sektory, przeprowadzili Acosta i wsp.⁽¹¹⁾, analizując skuteczność ultrasonograficznej oceny układu oddechowego w wykrywaniu obszarów niedodmy w populacji pediatrycznej z wykorzystaniem jako metody referencyjnej badania przy pomocy rezonansu magnetycznego – autorzy wykazali czułość badania USG na poziomie 88%, a specyficzność – 89%. Najwyższy współczynnik niezgodności, tj. gdy badanie MRI wykazało zmianę, a badanie USG takiej zmiany nie wykazało, Acosta i wsp. odnotowali w sektorach odpowiadających okolicy górnych i środkowych segmentów płuca lewego i prawego. Badania przedstawione w niniejszej pracy również odnotowują istotnie większy procent niezgodności (gdy badanie RTG wykazało zmianę, a badanie USG takiej zmiany nie wykazało) w analogicznych sektorach obejmujących śródpiersie środkowe, po stronie prawej S2P = 18,70% oraz po stronie lewej S2L = 40,00%. Przyczynę wysokiej niezgodności obu metod diagnostycznych należy upatrywać w fakcie, że okolica serca jest szczególnie trudna w interpretacji zarówno w badaniu USG, jak i RTG, zwłaszcza u niemowląt po korekcjach kardiochirurgicznych.

Wysoki stopień niezgodności, tj. gdy badanie RTG nie wykazało zmian o charakterze niedodmy, a badanie USG takie zmiany wykazało (RTG = 0 i USG = 1), odnotowano w sektorze 3 strony prawej (prawa okolica nadprzeponowa oraz podstawa płuca) – 28,3% i sektorze 3 strony lewej – 26,1% (lewa okolica nadprzeponowa oraz podstawa płuca). Wyjaśnienia tego zjawiska można dopatrywać się w argumentacji Corne'a i wsp.⁽¹²⁾, stwierdzających, że uwidocznienie niedodmy (w badaniu rentgenowskim) w obszarze prawego środkowego oraz dolnego płata jest dokładniejsze w płaszczyźnie strzałkowej, niedostępnej w badanej grupie pacjentów. Analogiczny dla sektora 3 strony lewej obszar płata dolnego płuca lewego jest również trudny do interpretacji, gdyż wszelkie zmiany o charakterze niedodmy w badaniu rentgenowskim w płaszczyźnie czołowej mogą zostać zakryte przez obraz serca.

Cantinotti i wsp.⁽¹³⁾ w lutym 2018 roku zaprezentowali zbliżone metodycznie badanie porównujące diagnostykę USG i RTG w opiece pooperacyjnej nad pacjentami pediatrycznymi po korekcji kardiochirurgicznej. Autorzy przeprowadzili badanie na mniejszej liczbie pacjentów (79 osób do 2. roku życia), mniejszej liczbie obserwacji (138 badań RTG i USG) oraz według odmiennego protokołu badania USG. Uzyskane wyniki wskazują, że zgodność pomiędzy badaniem RTG i USG dla wykrywalności płynu w opłucnej wynosiła 76,1%, co jest wynikiem zbliżonym do własnych obserwacji (S3PP = 73,90%; S3LP = 62,20%). Zgodność w wykryciu zmian o charakterze niedodmy wynosiła 64,5% i była zbliżona do poziomu obserwacji własnych (RTG1 = USG1 od 57,00% do 89,6%), przy czym należy zaznaczyć, że w badaniach Cantinottiego i wsp. nie stosowano szczegółowego podziału ocenianej okolicy na sektory, co uniemożliwia precyzyjne porównanie wyników. Różnice uzyskanych danych dotyczą niezgodności, gdy badanie USG wykazało zmianę, a badanie RTG takiej zmiany nie wykazało (USG = 1, RTG = 0). W omawianej pracy współczynnik ten wynosił 50,00%, w badaniach własnych natomiast zawierał się w przedziale od 3,5% do 28,3% w zależności od ocenianego sektora. Różnica ta może wynikać

z odmienną metodyką badania ultrasonograficznego zastosowanej w niniejszej pracy.

Analizując liczbę badań, w których ultrasonograficzna ocena układu oddechowego nie wykazała obecności płynu w danym sektorze, a badanie rentgenowskie taką zmianę wykazało (RTG = 1, USG = 0), dla sektora S3PP obliczono współczynnik 11,70%, a dla sektora S3LP –8,70%. Ze względu na brak diagnostycznej metody referencyjnej w badaniu nie jest możliwe jednoznaczne określenie, szczególnie w odniesieniu do danych z sektora S3PP, ile odnotowanych wyników było fałszywie dodatnich lub prawdziwie ujemnych. Dotychczas przytoczone badania definiujące specyficzność diagnostyki rentgenowskiej w detekcji nadmiaru płynu w opłucnej na poziomie od 81% do 85% (w badaniach, w których jako metodę referencyjną zastosowano tomografię komputerową lub rezonans magnetyczny) sugerują, że uzyskane dane wynikają z ograniczeń metodycznych tej procedury⁽¹⁴⁻¹⁶⁾.

W grupie pacjentów po 18. roku życia przebywających na oddziale intensywnej terapii czułość badania ultrasonograficznego w wykrywaniu patologii płucnych, udowodniona w licznych badaniach, plasuje się na poziomie od 92% do 100%, a specyficzność – od 96% do 100%^(14,17,18). W analogicznych doniesieniach wykrywalność patologii płucnych dla badania rentgenowskiego określana przez czułość wynosi w różnych badaniach od 39% do 65%, a specyficzność – od 81% do 85%^(8,14,19-21). Wyniki uzyskane w niniejszej pracy w populacji niemowląt po korekcjach kardiochirurgicznych potwierdzają dostępne w literaturze tematu doniesienia dotyczące skuteczności badania USG w identyfikacji patologii płucnych w porównaniu z badaniem RTG. Lichtenstein i wsp. w badaniach nad zastosowaniem ultrasonograficznej oceny układu oddechowego w populacji niemowląt na oddziałach intensywnej terapii doszli do konkluzji, że ze względu na charakter fizyczny ocenianych artefaktów w obrazie ultrasonograficznym ich interpretacja kliniczna nie powinna różnić się od interpretacji artefaktów zaobserwowanych w populacji osób dorosłych⁽⁸⁾.

Dostępne dane literaturowe wskazują na wyższą skuteczność ultrasonograficznej oceny układu oddechowego w porównaniu z badaniem rentgenowskim w wykrywaniu patologii płucnych u niemowląt^(20,22,23). Przedstawione w niniejszej pracy dane wskazują jednak, że trafność diagnostyczna badania ultrasonograficznego w dużym stopniu zależy od lokalizacji analizowanego sektora płuc. Mniejsza wykrywalność zmian w obrębie tkanki płucnej o charakterze niedodmy przez badanie radiologiczne może być spowodowana takimi czynnikami jak: mały rozmiar obszarów bezpowietrznych w tkance płucnej, niewidoczny w badaniu rentgenowskim; technika wykonania badania (w pozycji leżenia tyłem i tylko w płaszczyźnie czołowej) i ograniczona widoczność niektórych obszarów; spontaniczna lub mechaniczna akcja oddechowa, która może powodować zaburzenie obrazu diagnostycznego. Dodatkowo standardowe badanie rentgenowskie dostarcza nam jedynie obrazu w projekcji dwuwymiarowej. Ultrasonograficzna ocena układu oddechowego, dzięki reaktywnej metodyce

badania, umożliwia uzyskanie trójwymiarowego obrazu diagnostycznego⁽²³⁾.

Głównym ograniczeniem przeprowadzonego badania jest brak diagnostycznej metody referencyjnej (tomografii komputerowej lub rezonansu magnetycznego) w analizie porównawczej ultrasonograficznej oceny układu oddechowego oraz badania rentgenowskiego. Ze względu na charakter badanej grupy, specyfikę opieki pooperacyjnej nad niemowlętami po operacjach kardiochirurgicznych oraz etyczne aspekty implementowania zbędnego klinicznie procesu diagnostycznego taka metodyka nie została uwzględniona w niniejszej pracy. W literaturze odnotowano prace oceniające skuteczność ultrasonografii oraz badania rentgenowskiego z wykorzystaniem obiektywnej metody referencyjnej w grupie pacjentów pediatrycznych z innymi jednostkami chorobowymi przebywających na oddziałach intensywnej terapii^(8,22,24,25). Wyniki uzyskane w niniejszej pracy wpisują się w trend zaznaczony w przytoczonych publikacjach, co sugeruje, że założenia metodyczne przeprowadzonego badania były zasadne. Następnymi ograniczeniami są: stosunkowo mała i heterogenna grupa badawcza oraz zależność wyników od doświadczenia i umiejętności osoby przeprowadzającej badanie. Wykluczeniem zastosowania w metodyce ślepej próby był fakt wykorzystania badania w procesie leczenia.

Prezentowana praca jest pierwszym rzeczowym doniesieniem oceniającym potencjał ultrasonograficznej oceny układu oddechowego w dziedzinie fizjoterapii pulmonologicznej z zastosowaniem indywidualnie opracowanego dla potrzeb terapii protokołu badania.

Diagnostyka ultrasonograficzna dla potrzeb fizjoterapii obecnie znajduje zastosowanie głównie w rehabilitacji ortopedycznej i sportowej, jako narzędzie do oceny stanu narządu ruchu w procesie usprawniania⁽²⁶⁻²⁸⁾. Pierwsze poglądy doniesienia o teoretycznej możliwości zastosowania diagnostycznej ultrasonografii układu oddechowego w fizjoterapii pulmonologicznej, w grupie pacjentów dorosłych, przedstawili Leech i wsp.⁽²⁹⁾ oraz Neindre i wsp.⁽³⁰⁾ Autorzy wskazują na duży potencjał metody, głównie ze względu na możliwość oceny układu oddechowego w czasie rzeczywistym oraz nieinwazyjność i dostępność badania. W praktyce klinicznej umożliwi to dokonanie oceny przed sesją fizjoterapeutyczną, w trakcie oraz po jej zakończeniu, co pozwoli na dobór odpowiednich technik terapeutycznych oraz ocenę skuteczności wdrożonego postępowania.

Nieliczne prace dotyczące potencjalnego wykorzystania diagnostyki ultrasonograficznej w fizjoterapii pulmonologicznej wyraźnie wskazują na konieczność stworzenia kompleksowego programu szkolenia dla fizjoterapeutów. Dotychczasowe doniesienia dotyczące standaryzacji form i metod szkolenia umożliwiającego interpretację obrazu ultrasonograficznego układu oddechowego personelowi medycznemu nieposiadającemu takiego doświadczenia kierowane są głównie do specjalistów z zakresu anestezjologii, intensywnej

terapii oraz personelu pielęgniarskiego^(18,29,31,32). Część badaczy sugeruje, że prawidłowa interpretacja obrazu USG możliwa jest po wykonaniu co najmniej 100 samodzielnych badań oraz odbyciu 3 miesięcy stażu prowadzonego przez doświadczonego specjalistę. Inne doniesienia wskazują, że prawidłowe rozpoznanie podstawowych powikłań płucnych, takich jak wysięk w jamie opłucnej, ogniska konsolidacji miąższu płucnego czy niedodma miąższu płucnego, jest możliwe już po 6 tygodniach szkolenia. Tutino i wsp.⁽³³⁾ zalecają co najmniej 7 miesięcy klinicznego stażu jako niezbędne minimum do prawidłowej interpretacji obrazu ultrasonograficznego układu oddechowego. Volpicelli i wsp.⁽³⁴⁾ oraz Doelken i Strange⁽³⁵⁾ twierdzą, że interpretacja obrazu ultrasonograficznego w kierunku rozpoznania obszarów konsolidacji miąższu płucnego oraz obecności płynu w jamie opłucnej może być rozpatrywana jako podstawowa technika ultrasonografii pulmonologicznej. Autorzy wskazują, że z tego względu nauka skutecznej metodyki badania powinna być stosunkowo przystępna dla personelu bez doświadczenia w interpretacji obrazu ultrasonograficznego^(33,34). Badacze wskazują ponadto, iż w celu stworzenia jednolitego systemu szkolenia z zakresu ultrasonograficznej oceny układu oddechowego dla fizjoterapeutów niezbędna jest standaryzacja takich elementów jak: stosowana terminologia, wymagania sprzętowe, metodyka badania, zastosowanie kliniczne badania, kosztly finansowe metody oraz dalsze możliwości rozwoju^(18,33).

Należy zaznaczyć, że aby potencjał badania USG układu oddechowego mógł być właściwie wykorzystany dla dobra pacjenta, wskazane są dalsze badania nad systemem szkoleń dla fizjoterapeutów, znaczeniem klinicznym badania oraz walidacją skuteczności poszczególnych technik terapeutycznych przy zastosowaniu opracowanego protokołu.

Wnioski

1. Autorski protokół ultrasonograficznej oceny układu oddechowego stanowi optymalne narzędzie do wyznaczania celów terapeutycznych oraz oceny skuteczności fizjoterapii pulmonologicznej w grupie pacjentów pediatrycznych po korekcji kardiochirurgicznej.
2. Wartość diagnostyczna ultrasonograficznej oceny układu oddechowego oraz standardowego badania rentgenowskiego w badanej grupie pacjentów uzależniona jest od badanego segmentu płuc.

Konflikt interesów

Autor nie zgłasza żadnych finansowych ani osobistych powiązań z innymi osobami lub organizacjami, które mogłyby negatywnie wpłynąć na treść niniejszej publikacji oraz rościć sobie do niej prawo.

Piśmiennictwo

1. Talwar S, Agarwala S, Mittal CM, Choudhary SK, Airan B: Pleural effusions in children undergoing cardiac surgery. *Ann Pediatr Cardiol* 2010; 3: 58–64.
2. Borges DL, Sousa LR, Silva RT, Gomes HC, Ferreira FM, Lima WL *et al.*: Pulmonary complications in pediatric cardiac surgery at a university hospital. *Rev Bras Cir Cardiovasc* 2010; 25: 234–237.
3. Sargent MA, McEachern AM, Jamieson DH, Kahwaji R: Atelectasis on pediatric chest CT: comparison of sedation techniques. *Pediatr Radiol* 1999; 29: 509–513.
4. Lutterbey G, Wattjes MP, Doerr D, Fischer NJ, Gieseke J Jr, Schild HH: Atelectasis in children undergoing either propofol infusion or positive pressure ventilation anesthesia for magnetic resonance imaging. *Paediatr Anaesth* 2007; 17: 121–125.
5. Beningfield A, Jones A: Peri-operative chest physiotherapy for pediatric cardiac patients: a systematic review and meta-analysis. *Physiotherapy* 2018; 104: 251–263.
6. Lovrenski J: Lung ultrasonography of pulmonary complications in pre-term infants with respiratory distress syndrome. *Ups J Med Sci* 2012; 117: 10–17.
7. Smans K, Struelens L, Smet M, Bosmans H, Vanhavere F: Patient dose in neonatal units. *Radiat Prot Dosimetry* 2008; 131: 143–147.
8. Lichtenstein DA, Mauriat P: Lung ultrasound in the critically ill neonate. *Curr Pediatr Rev* 2012; 8: 217–223.
9. Lichtenstein DA: Ultrasound examination of the lungs in the intensive care unit. *Pediatr Crit Care Med* 2009; 10: 693–698.
10. Lichtenstein DA, Mezière G, Seitz J: The dynamic air bronchogram. A lung ultrasound sign of alveolar consolidation ruling out atelectasis. *Chest* 2009; 135: 1421–1425.
11. Acosta CM, Maidana GA, Jacovitti D, Belaunzarán A, Cereceda S, Rae E *et al.*: Accuracy of transthoracic lung ultrasound for diagnosing anesthesia-induced atelectasis in children. *Anesthesiology* 2014; 120: 1370–1379.
12. Corne J, Carroll M, Brown I, Delany D: Zdjęcia rentgenowskie klatki piersiowej. Czelej, Lublin 2000.
13. Cantinotti M, Ali L, Scalse M, Giordano R, Melo M, Remoli E *et al.*: Lung ultrasound reclassification of chest X-ray data after pediatric cardiac surgery. *Paediatr Anaesth* 2018; 28: 421–427.
14. Xirouchaki N, Kondili E, Prinianakis G, Malliotakis P, Georgopoulos D: Impact of lung ultrasound on clinical decision making in critically ill patients. *Intensive Care Med* 2014; 40: 57–65.
15. Lichtenstein DA, Lascols N, Mezière G, Gepner A: Ultrasound diagnosis of alveolar consolidation in the critically ill. *Intensive Care Med* 2004; 30: 276–281.
16. Kato S, Nakamoto T, Iizuka M: Early diagnosis and estimation of pulmonary congestion and edema in patients with left-sided heart diseases from histogram of pulmonary CT number. *Chest* 1996; 109: 1439–1445.
17. Remérand F, Dellamonica J, Mao Z, Ferrari F, Bouhemad B, Jianxin Y *et al.*: Multiplane ultrasound approach to quantify pleural effusion at the bedside. *Intensive Care Med* 2010; 36: 656–664.
18. Noble VE, Lamhaut L, Capp R, Bosson N, Liteplo A, Marx JS *et al.*: Evaluation of a thoracic ultrasound training module for the detection of pneumothorax and pulmonary edema by prehospital physician care providers. *BMC Med Educ* 2009; 9: 3.
19. Lichtenstein DA, Menu Y: A bedside ultrasound sign ruling out pneumothorax in the critically ill. *Lung sliding*. *Chest* 1995; 108: 1345–1348.
20. Lichtenstein DA, 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.
21. Lichtenstein DA, Hulot JS, Rabiller A, Tostivint I, Mezière G: Feasibility and safety of ultrasound-aided thoracentesis in mechanically ventilated patients. *Intensive Care Med* 1999; 25: 955–958.
22. Chen SW, Fu W, Liu J, Wang Y: Routine application of lung ultrasonography in the neonatal intensive care unit. *Medicine* 2017; 96: e5826.

23. Liu J, Chen SW, Liu F, Li QP, Kong XY, Feng ZC: The diagnosis of neonatal pulmonary atelectasis using lung ultrasonography. *Chest* 2015; 147: 1013–1019.
24. Marin JR, Abo AM, Arroyo AC, Doniger SJ, Fischer JW, Rempell R *et al.*: Pediatric emergency medicine point-of-care ultrasound: summary of the evidence. *Crit Ultrasound J* 2016; 8: 16.
25. Srinivasan S, Cornell TT: Bedside ultrasound in pediatric critical care: a review. *Pediatr Crit Care Med* 2011; 12: 667–674.
26. McKiernan S, Chiarelli P, Warren-Forward H: Diagnostic ultrasound use in physiotherapy, emergency medicine, and anaesthesiology. *Radiography* 2010; 16: 154–159.
27. Henderson RE, Walker BF, Young KJ: The accuracy of diagnostic ultrasound imaging for musculoskeletal soft tissue pathology of the extremities: a comprehensive review of the literature. *Chiropr Man Therap* 2015; 23: 31.
28. Callaghan MJ: A physiotherapy perspective of musculoskeletal imaging in sport. *Br J Radiol* 2012; 85: 1194–1197.
29. Leech M, Bissett B, Kot M, Ntoumenopoulos G: Lung ultrasound for critical care physiotherapists: a narrative review. *Physiother Res Int* 2015; 20: 69–76.
30. Le Neindre A, Mongodi S, Philippart F, Bouhemad B: Thoracic ultrasound: potential new tool for physiotherapists in respiratory management. A narrative review. *J Crit Care* 2016; 31: 101–109.
31. Begot E, Grumann A, Duvoid T, Dalmay F, Pichon N, François B *et al.*: Ultrasonographic identification and semiquantitative assessment of unoculated pleural effusions in critically ill patients by residents after a focused training. *Intensive Care Med* 2014; 40: 1475–1480.
32. Vitale J, Mumoli N, Giorgi-Pierfranceschi M, Cresci A, Cei M, Basile V *et al.*: Comparison of the accuracy of nurse-performed and physician-performed lung ultrasound in the diagnosis of cardiogenic dyspnea. *Chest* 2016; 150: 470–471.
33. Tutino L, Cianchi G, Barbani F, Batacchi S, Cammelli R, Peris A: Time needed to achieve completeness and accuracy in bedside lung ultrasound reporting in intensive care unit. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2010; 18: 44.
34. Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, Lichtenstein DA, Mathis G, Kirkpatrick AW *et al.*: International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med* 2012; 38: 577–591.
35. Doelken P, Strange C: Chest ultrasound for “Dummies”. *Chest* 2003; 123: 332–333.