

**ANNALES
ACADEMIAE MEDICAE
GEDANENSIS
TOM XLIII
2013
SUPPLEMENT 10**

GDAŃSKI UNIWERSYTET MEDYCZNY

Wojciech Kosiak

**Przezkatkowe badanie ultrasonograficzne płuc
w diagnostyce wybranych chorób płuc u dzieci**

*Chest ultrasound in the diagnosis of selected lung diseases
in children*

Rozprawa habilitacyjna

Katedra i Klinika Pediatrii, Hematologii i Onkologii
Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego
Kierownik: prof. dr hab. Elżbieta Adamkiewicz-Drożyńska

GDAŃSK 2013

Wydano za zgodą
Senackiej Komisji Wydawnictw Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego

REDAKTOR NACZELNY
EDITOR-IN-CHIEF
Marek Grzybiak

HONOROWY REDAKTOR NACZELNY
HONORARY EDITOR-IN-CHIEF
Stefan Raszeja

KOMITET REDAKCYJNY
EDITORIAL BOARD
z-ca redaktora naczelnego – Adam Szarszewski
sekretarz redakcji – Włodzimierz Kuta
redaktor techniczny – Tadeusz Skowyra
Tomasz Bączek, Zdzisław Bereznowski, Anna Grygorowicz, Andrzej Hellmann,
Jerzy Kuczkowski, Krzysztof Narkiewicz, Michał Obuchowski,
Zbigniew Kmiec, Julian Świerczyński, Aleksandra Żurowska

ADRES REDAKCJI
ADDRESS OF EDITORIAL OFFICE
Annales Academiae Medicae Gedanensis
Zakład Anatomii Klinicznej
Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego
ul. Dębinki 1, 80-211 Gdańsk, Poland
e-mail: annales@gumed.edu.pl

Artykuły opublikowane w Annales Academiae Medicae Gedanensis
są zamieszczane w bazie EMBASE
Articles published in Annales Academiae Medicae Gedanensis are covered
by the Excerpta Medica database (EMBASE)

PL ISSN 0303-4135

Gdański Uniwersytet Medyczny

SPIS TREŚCI

Wykaz stosowanych skrótów	8
Spis publikacji dorobku autora zawierających cząstkowe wyniki prezentowane w rozprawie habilitacyjnej	10
1. Wprowadzenie	11
1.1. Diagnostyka ultrasonograficzna płuc – rys historyczny	11
1.2. „Milowe kroki” w rozwoju ultrasonografii płuc	16
2. Przekłatkowe badanie ultrasonograficzne płuc (PBUP) – stan obecny	23
2.1. PBUP u dzieci: wymagania sprzętowe i technika badania	23
2.1.1. Wymagania sprzętowe – aparat ultrasonograficzny	23
2.1.2. Wymagania sprzętowe – głowice ultrasonograficzne	24
2.1.3. PBUP – technika badania	26
2.1.4. PBUP w stanach zagrożenia życia u dzieci	26
2.2. PBUP – podstawy obrazowania	26
2.3. PBUP – obraz prawidłowy	27
2.3.1. Artefakty i objawy ultrasonograficzne widoczne w prawidłowym przekłatkowym badaniu ultrasonograficznym płuc	29
2.4. PBUP – ocena zmian w opcjach dopplerowskich	34
2.4.1. Wskazania do dopplerowskiej diagnostyki płuc u dzieci	37
2.5. Znaczenie diagnostyczne podstawowych artefaktów i objawów ultrasonograficznych obserwowanych w PBUP	38
2.5.1. Objaw nietoperza (bat sign)	38
2.5.2. Objaw ślizgania opłucnej (lung sliding)	38
2.5.3. Artefakty linii A	40
2.5.4. Artefakty linii B	40
3. Cel pracy i uzasadnienie podjęcia badań	42
4. Pacjenci i metody	49
4.1. Charakterystyka grupy badanej	49
4.2. PBUP – technika badania	50
4.3. Weryfikacja zmian w płucach innymi metodami obrazowymi	51
5. Diagnostyka ultrasonograficzna: odmy jamy opłucnej, obrzęku płuc, zatorowości płucnej, zapalenia płuc o etiologii grzybiczej	52
5.1. Diagnostyka ultrasonograficzna odmy jamy opłucnej u dzieci	52
5.1.1. Określenie, częstość występowania u dzieci	52
5.1.2. PBUP w diagnostyce odmy jamy opłucnej u pacjentów dorosłych	53
5.1.3. Pacjenci i metoda	54
5.1.4. Diagnostyka radiologiczna	55
5.1.5. Diagnostyka ultrasonograficzna	55

5.1.6.	PBUP – kryteria i objawy ultrasonograficzne wykorzystywane w diagnostyce odmy jamy opłucnej	56
5.1.7.	Analiza statystyczna	60
5.1.8.	Wyniki	60
5.1.9.	Dodatkowe zmiany stwierdzone w płucach w PBUP u pacjentów ocenianych celem wykluczenia odmy jamy opłucnej	64
5.1.10.	Dyskusja	65
5.1.11.	Wnioski	68
5.2.	Możliwości wykorzystania PBUP w diagnostyce obrzęku płuc u dzieci z chorobą nowotworową	68
5.2.1.	Skala problemu w pediatrii	69
5.2.2.	PBUP a diagnostyka obrzęku płuc u pacjentów dorosłych	69
5.2.3.	Doświadczenia własne autora w diagnostyce obrzęku płuc u dzieci z chorobą nowotworową	72
5.2.4.	Ultrasonograficzne kryteria rozpoznania obrzęku płuc u dzieci	72
5.2.5.	Weryfikacja zmian w płucach innymi metodami obrazowymi	73
5.2.6.	Wyniki	74
5.2.7.	Analiza obrazu ultrasonograficznego w grupie dzieci z rozpoznaniem obrzęku płuc	75
5.2.8.	Dyskusja	77
5.3.	PBUP w diagnostyce zatorowości płucnej u dzieci	78
5.3.1.	Wprowadzenie i epidemiologia	78
5.3.2.	Diagnostyka obrazowa zatorowości płucnej	80
5.3.3.	PBUP w diagnostyce zatorowości płucnej	81
5.3.4.	PBUP w diagnostyce ostrej zatorowości płucnej wysokiego ryzyka	82
5.3.5.	Technika badania i wymagania sprzętowe	82
5.3.6.	PBUP w ostrej zatorowości płucnej niewysokiego ryzyka	84
5.3.7.	Technika badania i wymagania sprzętowe	85
5.3.8.	Obraz ultrasonograficzny zatorowości płucnej niewysokiego ryzyka	85
5.3.9.	Ultrasonograficzne kryteria rozpoznania zatorowości płucnej niewysokiego ryzyka w PBUP u pacjentów dorosłych	89
5.3.10.	Doświadczenia własne w diagnostyce ZP u dzieci	89
5.3.11.	Dyskusja	91
5.4.	Diagnostyka ultrasonograficzna zapalenia płuc	92
5.4.1.	Podstawy rozpoznania zapalenia płuc w PBUP	93

5.4.2.	Diagnostyka ultrasonograficzna zapalenia płuc w przezklatkowym badaniu ultrasonograficznym u pacjentów w stanie zagrożenia życia	93
5.4.3.	PBUP w diagnostyce zapalenia płuc ze wskazań innych niż stany nagłe.....	95
5.4.4.	Ultrasonograficzne kryteria rozpoznania zapalenia płuc	96
5.4.5.	Kryteria opłucnowe.....	97
5.4.6.	Obraz ultrasonograficzny zapalenia płuc w zależności od etiologii	99
5.4.7.	Płatowe zapalenie płuc.....	99
5.4.8.	Wczesna faza zapalenia płuc.....	99
5.4.9.	Faza zdrowienia	100
5.4.10.	Odoskrzelowe zapalenie płuc.....	100
5.4.11.	Śródmiąższowe zapalenie płuc.....	102
5.4.12.	Ropień płuca (martwicze zapalenie płuc)	102
5.4.13.	Atypowe zapalenie płuc	103
5.4.14.	Zapalenie płuc o etiologii grzybiczej	104
5.4.15.	Doświadczenia własne w diagnostyce IAP za pomocą PBUP.....	105
5.4.16.	Wyniki.....	108
5.4.17.	Dyskusja.....	116
6.	Posumowanie.....	120
7.	Wnioski.....	125
8.	Piśmiennictwo	126
9.	Streszczenie	145
10.	Summary.....	149
11.	Suplement.....	153
	Kluczowe publikacje w rozwoju ultrasonografii płuc.....	153
	Kluczowe publikacje w rozwoju ultrasonografii płuc w pediatrii.....	163

WYKAZ STOSOWANYCH SKRÓTÓW

AIUM	American Institute of Ultrasound in Medicine
ALARA	<i>as low as reasonably achievable</i> / na najniższym, rozsądnie osiągalnym poziomie
ALI	<i>acute lung injury</i> / ostre uszkodzenie płuc
ALL	<i>acute lymphoblastic leukemia</i> / ostra białaczka limfoblastyczna
AML	<i>acute myeloid leukemia</i> / ostra białaczka szpikowa
ARDS	<i>acute respiratory distress syndrome</i> / zespół ostrej niewydolności oddechowej
AVI	<i>audio video interleave</i>
BMT	<i>bone marrow transplantation</i> / przeszczepienie szpiku kostnego
CCC	<i>cholangiocarcinoma</i> / rak przewodów żółciowych
CCŻ	centralny cewnik żylny / <i>central venous catheter</i>
CDŻ	centralny dostęp żylny / <i>central venous access</i>
CUS	<i>compression venous ultrasonography</i> / ultrasonografia kompresyjna naczyń żylnych
DRESS	<i>drug reaction (or rash) with eosinophilia and systemic symptoms</i> / reakcja na lek (lub wysypka) z eozynofilią i objawami ogólnoustrojowymi
E-FAST	<i>extended focused assessment with sonography for trauma</i> / rozszerzona ultrasonograficzna ocena pacjenta po urazie
EFSUMB	European Federation of Societies for Ultrasound in Medicine and Biology
EORTC/MSG	European Organisation for Research and Treatment of Cancer / Mycoses Study Group
FAST	<i>focused assessment with sonography for trauma</i> / ultrasonograficzna ocena pacjenta po urazie
IAP	inwazyjna aspergiloza płuc / <i>invasive pulmonary aspergillosis</i>
ICHGP	inwazyjna choroba grzybicza płuc / <i>invasive fungal lung disease</i>
K	kobieta / <i>female</i>
M	mężczyzna / <i>man</i>
nCPAP	<i>nasal continuous positive airway pressure</i> / nosowe, stałe dodatnie ciśnienie w drogach oddechowych
NHL	<i>non-hodgkin lymphoma</i> / chłoniak nieziarniczny
OIT	oddział intensywnej terapii / <i>intensive care unit</i>
PBUP	przezskłatkowe badanie ultrasonograficzne płuc / <i>transthoracic lung ultrasound</i>
RTG	klasyczne badanie rentgenowskie / <i>X-ray examination</i>
SAA	<i>severe aplastic anemia</i> / ostra anemia aplastyczna
TK	tomografia komputerowa / <i>computed tomography</i>
TK-WR	tomografia komputerowa wysokiej rozdzielczości
USG	badanie ultrasonograficzne / <i>ultrasound examination</i>

UŚK	ultrasonograficzny środek kontrastujący / <i>ultrasound contrast agent</i>
WMV	<i>windows media video</i>
ZP	zatorowość płucna / <i>pulmonary embolism</i>
ZŻG	zakrzepica żył głębokich / <i>deep vein thrombosis</i>
ŻChZZ	żylna choroba zakrzepowo-zatorowa / <i>venous thromboembolism</i>

**SPIS PUBLIKACJI DOROBKU AUTORA ZAWIERAJĄCYCH
CZĄSTKOWE WYNIKI PREZENTOWANE W ROZPRAWIE
HABILITACYJNEJ**

1. Kosiak M., Korbus-Kosiak A., Kosiak W., Potaż P. Is chest sonography a breakthrough in diagnosis of pulmonary thromboembolism in children? *Pediatr Pulmonol.* 2008, 43, 1183-1187.
2. Kosiak W. Diagnostyka ultrasonograficzna chorób zapalnych płuc. Część 1: Obraz prawidłowy i podstawy diagnostyki ultrasonograficznej zmian zapalnych w płucach. *Ultrasonografia*, 2009, 9, 37, 26-31.
3. Kosiak W. Diagnostyka ultrasonograficzna chorób zapalnych płuc. Część 2: Obraz ultrasonograficzny zmian zapalnych w płucach. *Ultrasonografia*, 2009, 9, 37, 32-37.
4. Kosiak W. Przekłatkowe badanie ultrasonograficzne płuc: diagnostyka dopplerowska. *Ultrasonografia*, 2010, 10, 41, 81-85.

1. WPROWADZENIE

René Théophile Marie Hyacinthe Laënnec publikując w 1819 roku swoje dzieło „O osłuchiwaniu” stworzył nie tylko koncepcję stetoskopu jako narzędzia medycznego, ale również podstawy auskultacji czyli nauki o osłuchiwaniu. Prawdopodobnie nie przypuszczał, że prawie 200 lat później stetoskop pozostanie nadal podstawowym instrumentem medycznym każdego lekarza i wykorzystywany będzie w znacznie szerszym zakresie niż pierwotne jego przeznaczenie. Trudno sobie dzisiaj wyobrazić jak wyglądałoby ostatnie 200 lat w rozwoju medycyny bez stetoskopu. Jest on stale udoskonalany, a najnowszym osiągnięciem jest model zaprojektowany do badania pacjentów w szczególnie niekorzystnych warunkach akustycznych (w miejscu wezwania czy w środkach transportu sanitarnego), wykorzystujący fale ultradźwiękowe celem eliminacji zjawisk akustycznych z otoczenia [1]. Wykorzystanie ultradźwięków w nowoczesnym, „klasycznym” stetoskopie jest tylko jedną z licznych wspólnych cech, które łączą stetoskop z aparatem ultrasonograficznym. O ile jednak pierwotne przeznaczenie klasycznego stetoskopu dotyczyło diagnostyki płuc, a dopiero znacznie później innych obszarów ciała, to w przypadku ultrasonografu płuca były jednym z ostatnich narządów, w których diagnostyka ultrasonograficzna znalazła zastosowanie. Pomimo, iż jedne z pierwszych publikacji omawiających możliwości klinicznego zastosowania diagnostyki ultrasonograficznej dotyczyły oceny płynu w jamie opłucnowej, [2, 3] to ocena zmian w miększu płuc przez długie lata nie była wykonywana.

Nadal bardzo powszechne jest przekonanie, iż przezklatkowe badanie ultrasonograficzne płuc (PUBP) ma bardzo ograniczone znaczenie diagnostyczne. Aktualnie wykorzystywane jest w codziennej praktyce tylko przez nieliczną grupę klinicystów i lekarzy wykonujących badania ultrasonograficzne, a w populacji pediatrycznej poza oceną płynu w jamie opłucnej jest to praktycznie nieznaną metodą diagnostyki obrazowej chorób płuc.

1.1. Diagnostyka ultrasonograficzna płuc – rys historyczny

Diagnostyka ultrasonograficzna płuc rozwijała się w stosunkowo wolno i etapowo pozostając w ścisłej korelacji ze zmianami jakościowymi sprzętu ultrasonograficznego i jego codzienną dostępnością. Pierwsza fala zainteresowania możliwościami oceny zmian w jamie opłucnej i płucach przypada na koniec lat 70. i początek lat 80. XX wieku. Z tego okresu należy podkreślić wartość prac polskiego autora, doktora Janusza Grymińskiego. Już w 1980 roku Gryminiński pisał „Ultrasonografia w chwili obecnej jest najlepszą metodą rozpoznawania i lokalizacji wysięków opłucnowych, ma ona również zastosowanie w diagnostyce chorób płuc” [4]. Pomimo, iż były to badania wykonywane w historycznej już technice obrazowania jaką była opcja *A-mode*, czyli metodą obrazowania jed-

nowymiarowego, uzyskiwane wyniki pozwalały na wstępną diagnostykę różnicową zmian w jamie opłucnej i podopłucnowo położonych zmian w mięszu płuca [5, 6, 7].

Tabela 1. Liczba publikacji odnośnie diagnostyki ultrasonograficznej płuc z podziałem na typ publikacji, które ukazały się w poszczególnych okresach rozwoju metody
Table 1. Number of publications on lung ultrasound divided into the type of publication that appeared in various stages of development of the method

	Lata / Years						
	do 1979 to 1979	1980- -1989	1990- -1999	2000- -2004	2005- -2009	2010- -06.2013	Razem <i>Total</i>
Liczba publikacji <i>Number of publications</i>	38	59	143	74	119	178	611
Prace oryginalne <i>Original papers</i>	26	39	116	54	91	99	425
Prace poglądowe <i>Review</i>	10	13	23	15	22	45	128
Prezentacja przypadku <i>Case report</i>	1	7	2	4	4	19	37
Listy do redakcji i komentarze <i>Letters to the editor and comments</i>	1	0	2	1	2	15	21

Kolejny etap w diagnostyce ultrasonograficznej zmian w płucach związany był z obrazowaniem typu *compound* i nieco później w latach 80. XX wieku z rozwojem techniki obrazowania w czasie rzeczywistym, określanym w piśmien-

nictwie anglojęzycznym jako *real time*. Jednakże dopiero ponad 10 lat później, od połowy lat 90. XX wieku dokonał się istotny skok w obrazowaniu płuc ultradźwiękami. Związany był on bezpośrednio ze wzrostem zainteresowania tą metodą diagnostyczną wśród lekarzy, nie będących radiologami, a opiekującymi się pacjentami w stanach bezpośredniego zagrożenia życia. Usystematyzowano wówczas teoretyczne i praktyczne aspekty przezklatkowego badania ultrasonograficznego płuc. Opracowano ultrasonograficzne kryteria rozpoznawania najczęściej występujących zmian patologicznych w układzie oddechowym dla populacji dorosłej, a liczba dostępnych z tego okresu publikacji odnośnie przezklatkowego badania płuc u pacjentów dorosłych jest prawie trzykrotnie większa niż z lat 1980-1989. W tabeli 1 zestawiono liczbę publikacji, które ukazały się w poszczególnych okresach rozwoju metody z podziałem na charakter publikacji.

Analizując piśmiennictwo z zakresu ultrasonografii płuc zwraca uwagę wyraźny podział na obszary zainteresowania grup badaczy z różnych regionów świata. Prace z ośrodków niemieckich i austriackich koncentrowały się na możliwości diagnostyki zatorowości płucnej i zmian zapalnych w płucach [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]. Prace autorów z Korei i Chin dotyczyły głównie oceny zmian nowotworowych i zapalnych w płucach z zastosowaniem ultrasonograficznych opcji dopplerowskich oraz możliwościami wykorzystania ultrasonograficznego monitorowania diagnostyki inwazyjnej zmian ogniskowych w płucach [16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23]. Największy wkład w rozwój i upowszechnienie przezklatkowej diagnostyki ultrasonograficznej płuc wniosła grupa badaczy z Francji. Prace Daniela Lichtensteina i jego zespołu koncentrowały się głównie nad możliwością wykorzystania diagnostyki ultrasonograficznej do oceny zmian w płucach w grupie chorych będących w stanie bezpośredniego zagrożenia życia. Uwzględniając liczbę publikacji, wkład w propagowanie i nauczanie PBUP, uznać należy, że Daniel Lichtenstein jest „ojcem nowoczesnej ultrasonografii płuc”. Jest on głównym autorem koncepcji diagnostyki ultrasonograficznej płuc z wykorzystaniem artefaktów ultrasonograficznych, a jego liczne prace potwierdziły słuszność koncepcji wykorzystania ultrasonografu podobnie jak korzystamy z klasycznego stetoskopu [24, 25, 26, 27, 28, 29]. Grupy badaczy z kilku ośrodków włoskich wykorzystując koncepcję szkoły francuskiej znacznie ją wzbogacili o teoretyczne i praktyczne aspekty diagnostyki ultrasonograficznej płuc [30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43]. Z zakresu diagnostyki ultrasonograficznej płuc u pacjentów po urazie klatki piersiowej podkreślić należy znaczenie prac grupy autorów kanadyjskich. Jako jedni z pierwszych opisali oni możliwości wstępnej oceny płuc w opiece przedszpitalnej z wykorzystaniem przenośnych aparatów ultrasonograficznych. Dodatkowo również jako jedni z pierwszych wprowadzili oni ocenę płuc do wstępnej diagnostyki pacjentów po tępych urazach klatki piersiowej i jamy brzusznej, rozszerzając algorytm diagnostyczny FAST (*Focused Assessment with Sonography for Trauma*) do E-FAST (*Extended Focused Assessment with Sonography for Trauma*). Autorzy ci również jako pierwsi udokumentowali znaczenie obrazowania płuc głowicami

liniowymi wysokiej częstotliwości, jak również możliwość wykorzystania PBUP w diagnostyce tzw. odmy opłucnowej „niemej” radiologicznie [44, 45]. Liczba publikacji autorów polskich odnośnie diagnostyki ultrasonograficznej płuc, które opublikowane zostały w polskim piśmiennictwie jest niewielka. W medycznych bazach danych dostępnych jest tylko 29 pozycji odnośnie diagnostyki ultrasonograficznej płuc, które ukazały się w latach 1971-2012. Publikacje te zestawiono w tabeli 2. Wynika z niej, że 15 pozycji piśmiennictwa to prace dwóch autorów: Grymiński J.(5 pozycji) i Kosiak W. (10 pozycji).

Tabela 2. Zestawienie publikacji odnośnie diagnostyki ultrasonograficznej płuc opublikowanych w polskim piśmiennictwie w latach 1971-2012

Table 2. List of publications on lung ultrasound published in Polish literature between 1971 and 2012

1	Grymiński J.: Zastosowanie metody ultradźwiękowej w diagnostyce chorób opłucnej. <i>Gruźlica</i> . 1971, 39, 7, 694-699.
2	Grymiński J.: Ultrasonografia w chorobach opłucnej. <i>J Pneumonol Pol.</i> 1979, 47, 4, 265-270.
3	Grymiński J.: Ultrasonografia w chorobach płuc. <i>J. Pneumonol Pol.</i> 1981, 49, 2, 121-132.
4	Piwowarczy K. i wsp.: Przydatność ultrasonografii do diagnostyki torbieli płuc u dzieci. <i>Polski Przegląd Radiol.</i> 1984, 48, 4, 213-217.
5	Boroń Z.: Możliwości i miejsce USG w diagnostyce chorób opłucnej. <i>Polski Przegląd Radiol.</i> 1988, 52, 131.
6	Roźniatowska-Sadowska E. i wsp.: Przydatność diagnostyki ultradźwiękowej w różnicowaniu przyściennych zmian w klatce piersiowej. <i>Pol Przegląd Radiol.</i> 1989, 53, 1, 13.
7	Grymiński J.: Diagnostyka ultrasonograficzna opłucnej. <i>Ultrason Pol.</i> 1992, 2, 3, 47-55.
8	Grymiński J.: Ultrasonograficzna charakterystyka płynu w opłucnej. <i>Ultrason Pol.</i> 1992, 2, 3, 57-66.
9	Modzelewski Z. i wsp.: Zastosowanie diagnostyki ultradźwiękowej w różnicowaniu płynu opłucnowego oraz przyściennych zmian w klatce piersiowej. <i>J.Pneumonol Alergol Pol.</i> 1994, 62, 9-10, 545-551.
10	Polaków J. i wsp.: Evaluation of colour Doppler sonography in lung tumor biopsy. <i>Rocz Akad Med Białymst.</i> 1997, 42, Suppl. 1, 314-317.
11	Kądziołka W. i wsp.: Transtorakalna biopsja igłowa pod kontrolą USG. <i>Pneumonol Alergol Pol.</i> 1998, 1, 88-93.
12	Kulpa M. i wsp.: Biopsja aspiracyjna cienkoigłowa monitorowana ultrasonograficznie w diagnostyce obwodowo położonych guzów płuca. <i>Ultrasonografia</i> , 1998, 2, 17-21.
13	Pilecki S. i wsp.: Biopsja aspiracyjna cienkoigłowa (BAC) guzów przyściennych klatki piersiowej wykonywanych pod kontrolą ultrasonografii. <i>Pol Przegląd Radiol.</i> 2000, 65, 4, 245-250.
14	Nowak R.: Ultrasonografia płynu w opłucnej oraz niektóre inne możliwości diagnostyki USG w zakresie klatki piersiowej. <i>Ultrasonografia</i> 2001, 5, 46-49.

15	Kowalski J. i wsp.: Biopsja aspiracyjna cienkoigłowa płuca monitorowana ultrasonograficznie przy użyciu głowicy liniowej z kanałem biopsyjnym. <i>Pol Merk Lek.</i> 2004, XVI, 92, 139-143.
16	Kosiak W.: Ultrasonografia klatki piersiowej u dzieci, dlaczego tak? <i>Ultrasonografia</i> , 2008, 8, 32, 9-11.
17	Kosiak M. i wsp.: Zatorowość płucna w pediatrii – trudności i nadzieje diagnostyczne <i>Ultrasonografia</i> , 2008, 8, 9-11.
18	Mysiorski G i wsp.: Miejsce ultrasonografii w diagnostyce pulmonologicznej. <i>Pneumonol Alergol Pol.</i> 2008, 76, 155–159.
19	Zielonka T.: Zastosowanie ultrasonografii w chorobach płuc. Komentarz do pracy G. Mysiorskiego i wsp. „Miejsce ultrasonografii w diagnostyce pulmonologicznej <i>Pneumonol. Alergol. Pol.</i> 2009; 77: 221–224”.
20	Kosiak W.: Postępy w diagnostyce usg płuc na koniec 2009 r. <i>Ultrasonografia</i> , 2009, 9, 39, 57-61.
21	Kosiak W.: Diagnostyka ultrasonograficzna chorób zapalnych płuc. Część 1. Obraz prawidłowy i podstawy diagnostyki ultrasonograficznej zmian zapalnych w płucach. <i>Ultrasonografia</i> , 2009, 9, 37, 26-31.
22	Kosiak W.: Diagnostyka ultrasonograficzna chorób zapalnych płuc. Część 2. Obraz ultrasonograficzny zmian zapalnych w płucach. <i>Ultrasonografia</i> , 2009, 9, 37:32-38.
23	Kosiak W.: i wsp. Możliwości wykorzystania przezklatkowego badania ultrasonograficznego płuc w diagnostyce zwłóknienia płuc – doniesienie wstępne. <i>Ultrasonografia</i> , 2009, 9, 38, 39-43.
24	Buda N., Kosiak W. i wsp.: Przekłatkowa ultrasonografia płuc w Klinice Pneumologii Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego – podsumowanie studenckiego projektu badawczego. <i>Ultrasonografia</i> , 2009, 9, 38, 31-38.
25	Małek G. i wsp.: Ultrasonografia klatki piersiowej w diagnostyce zatorowości płucnej u ciężarnej - opis przypadku. <i>Pneumonol Alergol Pol.</i> 2009, 77, 6, 560-564.
26	Kosiak W.: Ultrasonograf stetoskopem w anestezjologii i medycynie ratunkowej: mit czy rzeczywistość? Część 1. Obraz prawidłowy i podstawy diagnostyki ultrasonograficznej płuc. <i>Anestezjol Rat.</i> 2010, 4, 231-238.
27	Kosiak W.: Ultrasonograf stetoskopem w anestezjologii i medycynie ratunkowej: mit czy rzeczywistość? Część 2. Możliwości wykorzystania przezklatkowego badania ultrasonograficznego płuc w diagnostyce odmy opłucnowej, obrzęku płuc, zatorowości płucnej i chorób zapalnych płuc w medycynie ratunkowej. <i>Anestezjol Rat.</i> 2010, 4, 3, 361-372.
28	Paczkowski K., Czczeko K., Kosiak W. i wsp.: Przekłatkowe badanie ultrasonograficzne płuc podczas monitorowania przebiegu pooperacyjnego u dzieci z wrodzonymi wadami serca. <i>Kardiochir Torakochir Pol.</i> 2012, 9, 1, 114-120.
29	Szymański P. i wsp.: Zastosowanie ultrasonografii w diagnostyce odmy opłucnowej u noworodków. <i>Postępy Neonatologii</i> , 2012, 2, 20-26.

1.2. „Milowe kroki” w rozwoju ultrasonografii płuc

Podrozdział ten jest próbą podsumowania historii rozwoju diagnostyki ultrasonograficznej płuc. W prezentacji metody diagnostyki obrazowej, która jest przedmiotem niniejszej rozprawy uznałem za zasadne zaprezentowanie osiągnięć badaczy, bez pracy, których jej rozwój nie byłby możliwy, a o których czasami tak szybko zapominamy.

Zestawienie to opracowane zostało na podstawie przeglądu piśmiennictwa wyselekcjonowanego po analizie internetowych baz danych Medline® z dostępu przez PubMed® i uzupełnione danymi dostępnymi w poszczególnych publikacjach, które nie są pozycjonowane w bazie Medline®. Opierając się na założeniach prac opisujących optymalne strategie przeszukiwania baz danych [46, 47], dobór prac do analizy został dokonany na dwa sposoby. W okno wyszukiwarki bazy danych PubMed wpisano następujące terminy: *chest ultrasound, transthoracic ultrasound, chest ultrasonography, transthoracic ultrasonography*. Wszystkie terminy zostały połączone spójnikiem „oR”. Druga metoda przeszukiwania polegała na wpisaniu dwóch grup terminów: *chest ultrasound, transthoracic ultrasound, chest ultrasonography, transthoracic ultrasonography* połączonych spójnikiem ”oR” oraz drugiej grupy terminów: *children, child, teenager, teenagers, adolescent, adolescents* również połączonej spójnikiem „oR”. Następnie obie grupy bez nakładania limitów wiekowych zostały połączone spójnikiem „AND”. Opierając się na opisanych powyżej zasadach przeszukano również bazę danych Scopus. Z analizy wyłączono doniesienia prezentowane na zjazdach i konferencjach medycznych. Pozycje piśmiennictwa do prezentowanego zestawienia wybrano według następujących kryteriów: pierwsza publikacja prezentująca możliwość wykorzystania ultradźwięków w diagnostyce chorób płuc, pierwsza publikacja prezentująca możliwości rozpoznania określonej jednostki chorobowej, pierwsza publikacja prezentująca objaw ultrasonograficzny istotny w diagnostyce i publikacje, które miały istotny wpływ na rozwój dalszych badań nad wykorzystaniem USG w diagnostyce chorób płuc. Najważniejsze publikacje z punktu widzenia w rozwoju ultrasonografii płuc przedstawiono oddzielnie dla populacji dorosłej (66 pozycji) i pediatrycznej (18 pozycji) z uwzględnieniem nazwiska pierwszego autora pracy, tytuł pracy, roku publikacji i komentarza uzasadniającego wybór danej pracy. Poniżej przedstawiono tylko najbardziej kluczowe pozycje, które miały wpływ na rozwoju metody, a pełne ich zestawienie zamieszczono w suplemencie.

„Milowe kroki” w rozwoju ultrasonografii płuc dorosłych

- **Dénier A.** *Les ultrasons, leur application au diagnostic.* *Presse Med.* 1946, 22, 307-308.
1946 r. – pierwsza publikacja sugerująca możliwość oceny obecności płynu w jamie opłucnowej za pomocą ultradźwięków.
- **Rolfo F. Baima-Bollone P.L.** *Experimental and clinical research on the possibilities of the use of ultrasonics in the diagnosis of some chest diseases.* *Arch Sci Med. (Torino).* 1964, Jun; 117, 277-295.
1964 r. – pierwsza publikacja odnośnie możliwości diagnostyki chorób płuc za pomocą ultradźwięków.
- **Joyner C.R. Jr, Herman R.J., Reid J.M.** *Reflected ultrasound in the detection and localization of pleural effusion.* *JAMA.* 1967, 200, 399-402.
1966 r. – autor dokumentuje przydatność diagnostyki ultradźwiękowej do oceny płynu w jamie opłucnej.
- **Joyner C.R. Jr, Miller L.D., Dudrick S.J., Eskin D.J., Knight D.H.** *Reflected ultrasound in the detection of pulmonary embolism.* *Trans Assoc Am Physicians.* 1966, 79, 262-77.
1966 r. – pierwsza publikacja o możliwości diagnostyki zatorowości płucnej za pomocą ultradźwięków.
- **Grymiski J., Krakowka P., Lypacewicz G.** *The diagnosis of pleural effusion by ultrasonic and radiologic techniques.* *Chest,* 1976, 70, 1, 33-37.
1976 r. – pierwsza publikacja potwierdzająca, że ultrasonograficzna ocena objętości płynu w jamie opłucnej jest bardziej dokładna niż klasyczne badania radiologiczne płuc.
- **Adams F.V., Galati V.** *M-mode ultrasonic localization of pleural effusion: use in patients with nondiagnostic physical and roentgenographic examinations.* *JAMA.* 1978, 239, 1761-1764.
1978 r. – pierwsze zastosowanie obrazowania w opcji *M-mode* w diagnostyce płynu w jamie opłucnej, dokumentujące jego obecność przy braku zmian w badaniu fizykalnym i klasycznym badaniu RTG płuc.

- **Weinberg B., Diakoumakis E.E., Kass E.G., Seife B., Zvi Z.B.** *The air bronchogram: sonographic demonstration. Am J Roentgenol.* 1986, 147, 593-595.
1986 r. – pierwsza publikacja prezentująca obraz ultrasonograficzny bronchogramu powietrznego w zapaleniu płuc.
- **Wernecke K., Galanski M., Peters P.E., Hansen J.** *Pneumothorax: evaluation by ultrasound-preliminary results. J Thorac Imaging.* 1987, 2, 2, 76-78.
Rantanen N.W. *Diseases of the thorax. Vet Clin North Am Equine Pract.* 1986, 2, 1, 49-66.
1987 r. – pierwsza publikacja prezentująca obraz ultrasonograficzny odmy jamy opłucnej u człowieka, z wykorzystaniem kryteriów rozpoznania opisanych rok wcześniej przez Rantanena w diagnostyce koni.
- **Mathis G., Metzler J., Feurstein M., Fussenegger D., Sutterlütli G.** *Lung infarcts detected with ultrasonography. Ultraschall Med.* 1990, 11, 6, 281-283.
1990 r. – pierwsza publikacja odnośnie diagnostyki zatorowości płucnej pod postacią zawału niekompletnego z wykorzystaniem przezklatkowego badania ultrasonograficznego płuc.
- **Mathis G., Metzler J., Fussenegger D., Feurstein M., Sutterlütli G.** *Ultraschallbefunde bei Pneumonie. Ultraschall Klin Prax.* 1992, 7, 45-49.
1992 r. – pierwsza publikacja systematyzująca diagnostykę ultrasonograficzną zapaleń płuc.
- **Civardi G., Fornari F., Cavanna L., Di Stasi M., Sbolli G. et al.** *Vascular signals from pleural-based lung lesions studied with pulsed Doppler ultrasonography. J Clin Ultrasound.* 1993, 21, 617-622.
1993 r. – pierwsza publikacja o możliwości wykorzystania PBUP z zastosowaniem opcji dopplerowskiej w diagnostyce podopłucnowych konsolidacji.
- **Lichtenstein D.A.** *Diagnostic echographique de l'oedeme pulmonaire. Rev Im Med.* 1994, 6, 561-562.
1994 r. – pierwsza publikacja prezentująca ultrasonograficzną diagnostykę obrzęku płuc.

- **Kirkpatrick A.W., Ng A.K., Dulchavsky S.A., Lyburn I., Harris A., Torregiani W., Simons R.K., Nicolaou S.** *Sonographic diagnosis of a pneumothorax inapparent on plain radiography: Confirmation by computed tomography.* *J Trauma*, 2001, 50, 750-752.
2001 r. – autorzy dokumentują przydatność ultrasonograficznej diagnostyki odmy jamy opłucnej „niemej” w klasycznym badaniu radiologicznym. Potwierdzają przydatność obrazowania płuc głowicami liniowymi wysokiej częstotliwości.
- **Kirkpatrick A.W., Brown D.R., Crickmer S., Mohr B.P., Hamilton D.R., Cunningham J., Walden P.D., Nicolaou S.** *Hand-held portable sonography for the on-mountain exclusion of a pneumothorax.* *Wilderness Environ Med.* 2001, 12, 4, 270-272.
2001 r. – autorzy prezentują możliwość wykorzystania przenośnych aparatów ultrasonograficznych w diagnostyce odmy jamy opłucnej.
- **Görg C., Seifart U., Görg K., Zugmaier G.** *Color Doppler sonographic mapping of pulmonary lesions: evidence of dual arterial supply by spectral analysis.* *J Ultrasound Med.* 2003, 22, 1033-1039.
2003 r. – autorzy dokumentują podwójne unaczynienie tętnicze w obwodowo położonych zmianach ogniskowych w płucach z zastosowaniem opcji dopplera spektralnego. Zmieniają tym pogląd na możliwość diagnostyki różnicowej zmian łagodnych i złośliwych za pomocą opcji dopplerowskich.
- **Kirkpatrick A.W. et al.** *Hand-held thoracic sonography for detecting post-traumatic pneumothoraces: the Extended Focused Assessment with Sonography for Trauma (EFAST).* *J Trauma*, 2004, 57, 288-295.
2004 r. - autorzy wprowadzają pojęcie EFAST (*Extended Focused Assessment with Sonography for Trauma*) rozszerzając klasyczny algorytm diagnostyczny określany jako FAST (*Focused Assessment with Sonography for Trauma*) o badanie ultrasonograficzne płuc u pacjentów w stanach zagrożenia życia, celem wykluczenia lub potwierdzenia obecności odmy i płynu w jamie opłucnej.
- **Görg C., Bert T., Görg K.** *Contrast-enhanced sonography for differential diagnosis of pleurisy and focal pleural lesions of unknown cause.* *Chest*, 2005, 128, 3894-3899.
2005 r. – pierwsza publikacja o możliwości wykorzystania ultrasonograficznych środków kontrastujących w diagnostyce zmian ogniskowych w płucach.

- **Lichtenstein D.A., Mezière G.A.** *Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol. Chest, 2008, 134, 1, 117-125.*
2008 r. – prezentacja „Blue protocol”, pierwszego, ultrasonograficznego algorytmu przeznaczonego do wstępnej oceny pacjentów z niewydolnością oddechową, wykorzystującego analizę artefaktów ultrasonograficznych stwierdzanych w PBUP.
- **Volpicelli G. et al.** *International Liaison Committee on Lung Ultrasound (ILC-LUS) for International Consensus Conference on Lung Ultrasound (ICC-LUS). International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. Intensive Care Med. 2012, 38, 4, 577-591.*
2012 r. – pierwszy konsensus grupy ekspertów z zakresu diagnostyki ultrasonograficznej płuc walidujący metodę.

„Milowe kroki” w rozwoju ultrasonografii płuc w pediatrii

- **Haller J.O., Schneider M., Kassner E.G., Friedman A.P., Waldroup L.D.** *Sonographic evaluation of the chest in infants and children. AJR Am J Roentgenol. 1980, 134, 5, 1019-1027.*
1980 r. – pierwsza publikacja odnośnie możliwości wykorzystania ultradźwięków w diagnostyce zmian w klatce piersiowej u dzieci.
- **Mühler E., Wicher W., Engelhardt W., von Bernuth G.** *Diagnosis of pleural effusion using sector sonography in childhood. Monatsschr Kinderheilkd, 1986, 134, 3, 146-149.*
1986 r. – pierwsza publikacja odnośnie diagnostyki płynu w jamie opłucnej u dzieci.
- **Schneider K., Mayr B., Fendel H.** *Potentialities and limitations of sonographic diagnosis of the chest in childhood. Rofo, 1986, 144, 5, 546-551.*
Rosenberg H.K. *The complementary roles of ultrasound and plain film radiography in differentiating pediatric chest abnormalities. Radiographics, 1986, 6, 3, 427-445.*
1986 r. – obie prace sugerują konieczność dodatkowej diagnostyki z wykorzystaniem ultradźwięków w przypadku jednostronnego zacieńnięcia mięszu płuca w klasycznym badaniu RTG.
- **Schirg E., Larbig M.** *Wert des Ultraschalls bei der Diagnostik kindlicher Pneumonien. Ultraschall Med. 1999, 20-34.*

1999 r. – autorzy prezentują możliwości diagnostyki ultrasonograficznej w zapaleniu płuc u dzieci.

- **Liu D.M., Forkheim K., Rowan K., Mawson J.B., Kirkpatrick A, Nicolaou S.** *Utilization of ultrasound for the detection of pneumothorax in the neonatal special-care nursery. Pediatr Radiol. 2003, 33, 12, 880-883.*

2003 r. – pierwszy opis przypadku rozpoznania odmy jamy opłucnej u noworodka.

- **Pieper C.H., Smith J., Brand E.J.** *The value of ultrasound examination of the lungs in predicting bronchopulmonary dysplasia Pediatr Radiol. 2004, 34, 3, 227-231.*

2004 r. – autorzy prezentują przydatność ultrasonograficznej oceny płuc u noworodków w diagnostyce dysplazji oskrzelowo-płucnej.

- **Kosiak M., Korbus-Kosiak A., Kosiak W., Potaz P.** *Is chest sonography a breakthrough in diagnosis of pulmonary thromboembolism in children? Pediatr Pulmonol. 2008, 43, 12, 1183-1187.*

2008 r. – pierwsza publikacja o możliwości wykorzystania PBUP w diagnostyce zatorowości płucnej u dzieci.

- **Copetti R., Cattarossi L., Macagno F., Violino M., Furlan R.** *LUS in respiratory distress syndrome: a useful tool for early diagnosis. Neonatology. 2008, 94, 52-59.*

2008 r. – autorzy prezentują przydatność PBUP w diagnostyce noworodków z zespołem zaburzeń oddychania.

- **Caiulo V.A., Gargani L., Caiulo S., Fisicaro A., Moramarco F., Latini G., Picano E.** *Lung ultrasound in bronchiolitis: comparison with chest X-ray. Eur J Pediatr. 2011, 170, 11, 1427-1433.*

2011 r. – pierwsza publikacja odnośnie możliwości wykorzystania PBUP u dzieci z ostrym zapaleniem oskrzelików.

Analiza publikacji zestawionych powyżej i w suplemencie upoważnia do postawienia tezy, że PBUP u dzieci nie jest dotychczas powszechnie znaną metodą diagnostyki płuc i w porównaniu do populacji dorosłej wykorzystywana jest tylko w bardzo ograniczonym zakresie. Dodatkowym uzasadnieniem tej tezy są następujące fakty: dostępna liczba prac oryginalnych odnośnie populacji pediatrycznej, jest bardzo mała, tylko jedna publikacja „pediatryczna” miała dotychczas istotny wpływ na rozwój PBUP jako metody diagnostycznej [32], nie znaleziono publikacji dotyczących oceny przydatności PBUP w diagnostyce stanów

nagłych w pediatrii, dostępne prace opierają się na założeniach teoretycznych opracowanych dla populacji pacjentów dorosłych.

Analiza publikacji, które ukazały się w języku polskim (tabela 2) jest zgodna z oceną przedstawioną powyżej. Tylko cztery publikacje, które ukazały się do 2012 r. prezentują możliwość wykorzystania PBUP w pediatrii [48, 49, 50, 51].

2. PRZEKŁATKOWE BADANIE ULTRASONOGRAFICZNE PŁUC (PBUP) – STAN OBECNY

Przekłatkowe badanie ultrasonograficzne płuc (PBUP) – to ultrasonograficzna ocena płuc, opłucnej ściennej, opłucnej płucnej i przestrzeni pomiędzy tymi błonami. Jest częścią ultrasonograficznego badania klatki piersiowej, w którym dodatkowo oceniamy struktury powierzchniowe ograniczające jamę klatki piersiowej, przeponę, śródpiersie i serce.

Obrazowanie zmian w mięszu płuc za pomocą ultradźwięków nie znalazło jeszcze miejsca w algorytmach diagnostycznych chorób płuc i przez większość klinicystów nie jest powszechnie akceptowaną metodą diagnostyczną. Pomimo swobodnego dostępu do znacznej już liczby publikacji, w których udokumentowano przydatność oceny ultrasonograficznej płuc w codziennej praktyce klinicznej, nadal powszechne jest przekonanie o braku możliwości i przydatności badania tkanki płucnej za pomocą ultradźwięków. Dotyczy to nie tylko populacji pediatrycznej, ale również populacji osób dorosłych.

W zakresie ultrasonografii klatki piersiowej powszechnie akceptowana jest ultrasonograficzna ocena płynu w jamie opłucnej i monitorowanie procedur inwazyjnych, takich jak: torakocenteza, punkcja diagnostyczna jamy opłucnej czy biopsja zmiany ogniskowej w lokalizacji podopłucnowej. W stanach tych PBUP uznawane jest jako metoda komplementarna do klasycznego badania radiologicznego klatki piersiowej (RTG) i badania płuc za pomocą tomografii komputerowej (TK). W diagnostyce zmian w mięszu płuc ultradźwięki stosuje się do wstępnej oceny zmian zapalnych, niedodmy czy guza płuca w lokalizacji podopłucnowej. Należy podkreślić, że ultrasonograficzna ocena narządów położonych wewnątrz klatki piersiowej u dzieci nie jest zagadnieniem nowym i wykonywana jest w codziennej praktyce w większości ośrodków pediatrycznych. Jednakże ocena śródpiersia, jamy opłucnowej i podopłucnowych obszarów konsolidacji tkanki płucnej to jedyne jak dotychczas elementy PBUP wykorzystywane w pediatrii. W tej grupie chorych brak jest dostępnych danych o możliwości wykorzystania PBUP w diagnostyce obrzęku płuc, odmy jamy opłucnowej, czy zatorowości płucnej.

2.1. PBUP u dzieci: wymagania sprzętowe i technika badania

2.1.1. Wymagania sprzętowe – aparat ultrasonograficzny

Przekłatkowe badanie ultrasonograficzne płuc wykonać można dowolnej klasy aparatem ultrasonograficznym i dotyczy to zarówno dzieci jak i dorosłych. Należy jednak uwzględnić kilka aspektów z tym związanych:

- badania pediatryczne powinny być przeprowadzane na możliwe jak najlepszym sprzęcie, szczególnie badania wykonywane u noworodków,

- większości aparatów ultrasonograficznych nie dysponuje jeszcze wstępnymi ustawieniami aparatu (*presetami*) do badań przezklatkowych płuc u dzieci,
- w chwili obecnej najpowszechniej wykorzystywane są wstępne ustawienia aparatu do badań narządów jamy brzusznej i oceny struktur powierzchniowych, optymalizowane zgodnie z potrzebami i preferencjami badającego, lub ustawienia wstępne dla badania płuc opracowane dla pacjentów dorosłych,
- aparat, którym wykonywane są PBUP u dzieci powinien dysponować możliwością obrazowania z wykorzystaniem opcji dopplerowskich (dopplera kodowanego kolorem, dopplera mocy i dopplera spektralnego), oraz obrazowania w opcji *M-mode*,
- w większości aparatów ultrasonograficznych dostępne są już zaawansowane technologicznie opcje obrazowania takie jak: obrazowanie harmoniczne, XRes czy Sono CT. Pozwalają one na bardziej dokładne obrazowanie obszarów konsolidacji tkanki płucnej, lecz w znacznym stopniu zmieniają obraz artefaktów ultrasonograficznych, uniemożliwiając prawidłową ich interpretację. Uwzględniając ten fakt zawsze należy mieć możliwość wyłączenia tych opcji, a korzystając z nich należy zawsze uwzględniać ich właściwości, aby uniknąć błędów diagnostycznych.

Miejsce wykonywania PBUP w znacznej mierze determinuje wybór aparatu ultrasonograficznego (aparat USG przenośny, czy stacjonarny, głowica sektorowa, *convex* czy głowica liniowa), na którym te badania będą wykonywane. Ultrasonograf przeznaczony do badania płuc u noworodków to aparatem klasy średniej lub wyższej wyposażony w komplet głowic do badań noworodkowych (głowice *convex* o wyższej częstotliwości od 7,0-8,0 do 12,0 MHz, z małą powierzchnią przyłożenia, głowice liniowe z możliwie najmniejszymi powierzchniami przyłożenia i głowice przeznaczone do badań śródoperacyjnych). Minimalne wymagania sprzętowe do badania płuc u dzieci starszych obejmują aparat klasy średniej wyposażony w komplet głowic do badań pediatrycznych. Jeżeli miejscem wykonywania badań płuc będzie szpitalny oddział ratunkowy, czy oddział intensywnej terapii to jednym z lepszych rozwiązań jest mobilny, o małych gabarytach aparat usg, wyposażony w głowice *convex* ze stosunkowo małą powierzchnią przyłożenia i jedną głowicę liniową.

2.1.2. Wymagania sprzętowe – głowice ultrasonograficzne

Wybór odpowiednich głowic do badania płuc w głównej mierze zależy od miejsca i celu w jakim te badania są wykonywane. Generalnie w diagnostyce płuc u dzieci preferowane są dwa typy głowic: głowica typu *convex* i głowica liniowa. Głowica typu *convex* z małą powierzchnią przyłożenia, o stosunkowo wysokiej częstotliwości 8,0-12,0 MHz przeznaczona jest do badań najmłodszej grupy wiekowej. Głowica typu *convex* o częstotliwości 3,5-5,0 MHz (standar-

dowa głowica do oceny jamy brzusznej) lepiej sprawdza się w diagnostyce starszych grup wiekowych. Głowica liniowa wysokiej częstotliwości (8,0-10,0-12,0 MHz) ma zastosowanie we wszystkich badaniach pediatrycznych zarówno struktur klatki piersiowej, jak i w diagnostyce zmian w płucach. Badanie ultrasonograficzne płuc u dzieci powinno zawsze być wykonywane z wykorzystaniem obu tych typów głowic. W dostępnym piśmiennictwie brak jest danych odnośnie wykorzystania PBUP u dzieci w stanach zagrożenia życia. Opierając się na doświadczeniach w grupie chorych dorosłych i założeniach teoretycznych można przyjąć, że w diagnostyce przedszpitalnej, na miejscu zdarzenia, czy w środkach transportu sanitarnego, optymalną głowicą byłaby głowica typu *convex* z małą powierzchnią przyłożenia, o częstotliwości 2,5-5,0 MHz, w którą wyposażony byłby mały, przenośny aparat ultrasonograficzny typu *hand-held*. W szpitalnym oddziale ratunkowym, czy oddziale intensywnej opieki medycznej dostępne powinny być następujące głowice: sektorowa (o częstotliwości 2,5-5,0 MHz), głowica typu *convex* (o częstotliwości 2,5-5,0 MHz), oraz głowica liniowa (o wysokiej częstotliwości 8,0-12,0 MHz). Taki dobór głowic pozwala na optymalne wykorzystanie aparatu ultrasonograficznego zarówno w stanach nagłych jak i wówczas, gdy czas nie determinuje trybu wykonania badania.

Wykonując PBUP głowicą liniową należy uwzględnić kilka ważnych aspektów ściśle związanych z jej właściwościami. Jej konstrukcja (większa, niż głowicy sektorowej czy głowicy *convex* powierzchnia przyłożenia, inna propagacja fali ultradźwiękowej i stosunkowo mała głębokość penetracji fali ultradźwiękowej) niejako wymusza poprzeczne przyłożenie głowicy, które nie jest podstawowym przyłożeniem w ocenie płuc. W PBUP standardowo ocenia się przekroje podłużne, dla których opracowane zostały podstawy ultrasonografii płuc z wykorzystaniem analizy artefaktów w badaniu głowicą typu *convex* lub sektorową. Jednakże obrazując głowicami liniowymi o wyższej częstotliwości uzyskuje się znacznie dokładniejsze obrazy struktur położonych powierzchownie: ściany klatki piersiowej czy opłucnej, a ocena linii opłucnej i zmian ogniskowych położonych podopłucnowo jest znacznie bardziej precyzyjna niż głowicami: *convex* czy sektorową. Możliwe jest również uwidocznienie i analiza wszystkich podstawowych artefaktów ocenianych w PBUP. Z powyższych względów ten typ głowicy zalecany jest szczególnie w diagnostyce pacjentów pediatrycznych. Ograniczeniem jej stosowania może być stosunkowo mała głębokość penetracji fali ultradźwiękowej w przypadku pacjentów otyłych. Należy jednak podkreślić, że PBUP nie może być wykonane tylko i wyłącznie za pomocą głowicy liniowej. Z praktycznego punktu widzenia płuca powinny być w pierwszej kolejności ocenione głowicą *convex* lub sektorową, a do szczegółowej oceny należy zastosować głowicę liniową.

2.1.3. PBUP – technika badania

Ultrasonograficzne badanie płuc u dzieci podobnie jak u dorosłych możliwe jest do wykonania zarówno w pozycji leżącej, siedzącej, stojącej, czy też półleżącej. Miejsca przyłożenia głowicy ultrasonograficznej są dokładnie takie same jak przyłożenia głowicy stetoskopu. Ocenia się poszczególne segmenty obu płuc przesuwając głowicę wzdłuż międzyżebry na przedniej, bocznej i tylnej powierzchni klatki piersiowej, wykorzystując przekroje podłużne i poprzeczne. Podczas badania w przekrojach poprzecznych unikać należy nakładania się artefaktów powstających na strukturach kostnych rusztowania klatki piersiowej. Podstawową opcją obrazowania płuc jest opcja B -mode. W przypadku stwierdzenia odchyleń od stanu prawidłowego, konieczne jest badanie porównawcze w obszarach płuc uznanych za prawidłowe. Jeżeli proces chorobowy dotyczy jednej strony ocenie podlega druga strona na tej samej wysokości. Echogeniczność stwierdzanych zmian porównuje się z obrazem obszarów referencyjnych. Dla zmian ogniskowych litych (obszarów konsolidacji tkanki płucnej) obszarem takim jest echogeniczność prawidłowego mięszu wątroby, a dla zmian płynowych echogeniczność pęcherzyka żółciowego. Echogeniczność zmiany określamy, jako izoechogeniczną, jeżeli jest równa echogeniczności prawidłowego mięszu wątroby i odpowiednio hipoechogeniczną (niższą) lub hiperechogeniczną (wyższą niż echogeniczność mięszu wątroby). Badanie w opcjach dopplerowskich wykonywane jest w drugiej kolejności, celem oceny unaczynienia stwierdzanych zmian patologicznych.

2.1.4. PBUP w stanach zagrożenia życia u dzieci

Zagadnienie to nie zostało dotychczas opracowane dla populacji pediatrycznej. Brak jest również danych na temat w dostępnym piśmiennictwie. Z tych względów w chwili obecnej jedną z możliwości jest adaptacja schematu badania przyjętego i sprawdzonego w diagnostyce pacjentów dorosłych. Badanie to może być wykonywane zgodnie z protokołem opracowanym przez Daniela Lichtensteina i określonym jako *BLUE protocol* [28].

2.2. PBUP – podstawy obrazowania

W warunkach prawidłowych uwidocznienie narządów położonych wewnątrz klatki piersiowej nie jest możliwe, ze względu na obecność powietrza w płucach, które zgodnie z prawami fizyki uniemożliwia transmisję ultradźwięków w głębsze struktury, powodując prawie całkowite odbicie i rozproszenie emitowanych fal. Dodatkowym utrudnieniem jest obecność rusztowania chrzęstno-kostnego klatki piersiowej (żebra, łopatki i kręgosłup), jednakże układ tych struktur jest na

tyle korzystny, że pozwala wykorzystać przestrzenie międzyżebrowe jako okna akustyczne, czyli miejsca przyłożenia głowicy. Oknem akustycznym dla oceny zmian patologicznych jest sam fakt ich obecności, pod warunkiem, że przylegają one do opłucnej płucnej. Okna akustyczne wykorzystywane w PBUP zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Okna akustyczne wykorzystywane w PBUP
Table 3. Acoustic windows used in chest ultrasound

„Fizjologiczne” okna akustyczne <i>‘Physiological’ acoustic windows</i>	„Patologiczne” okna akustyczne <i>‘Pathological’ acoustic windows</i>
przestrzenie międzyżebrowe <i>intercostal spaces</i>	obszary konsolidacji tkanki płucnej <i>lung consolidation</i>
dół nadobojczykowy <i>supraclavicular pit</i>	płyn w jamie opłucnej <i>pleural effusion</i>
okolica wcięcia mostka <i>sternal incision area</i>	płyn w worku osierdziowym <i>pericardial effusion</i>
narządy mięsiste jamy brzusznej: wątroba i śledziona <i>abdominal parenchymal organs: liver and spleen</i>	guz śródpiersia przylegający do ściany klatki piersiowej i opłucnej <i>mediastinal tumors adjacent to the chest wall and pleura</i>

Wykorzystanie zmian patologicznych jako okien akustycznych wynika z fizycznych ich właściwości w propagacji fali ultradźwiękowej, innych niż upowietrzona tkanka płucna. Zmiany patologiczne przylegające do opłucnej płucnej umożliwiają przechodzenie fal ultradźwiękowych w głębsze struktury klatki piersiowej i obrazowanie ich na ekranie monitora. Z tych też względów możliwa jest tylko i wyłącznie ocena zmiany będących w bezpośrednim kontakcie z opłucną płucną. Jest to oczywistym ograniczeniem możliwości diagnostycznych PBUP, lecz w około 98,5% przypadków zmiany istotne klinicznie występujące u pacjentów dorosłych, którzy wymagają pilnej diagnostyki mają bezpośredni kontakt z opłucną płucną. Taka ich lokalizacja w pełni uzasadnia słuszność koncepcji obrazowania płuc ultradźwiękami [29].

2.3. PBUP – obraz prawidłowy

W populacji osób dorosłych prawidłowy obraz płuc w przekłatkowym badaniu ultrasonograficznym jest dobrze poznany [10, 28, 29, 38]. Powszechnie przyjętym i akceptowanym przyłożeniem głowicy w ocenie płuc u osób doro-

stych jest przyłożenie podłużne. Obrazowanie płuc w przekrojach podłużnych pozwoliło na standaryzację badania i w chwili obecnej jest zalecanym przyłożeniem głowicy w ocenie płuc u pacjentów w stanach zagrożenia życia [29]. U osób zdrowych przykładając głowicę ultrasonograficzną podłużnie do ściany klatki piersiowej, w dowolnym międzyżebżu nad powierzchnią płuc uzyskujemy powtarzalne, prawie identyczne obrazy zarówno u dzieci jak i u dorosłych. W badaniach wykonywanych z innych wskazań niż stany nagłe stosowane jest również obrazowanie z przyłożenia poprzecznego głowicy. Wykonując badanie głowicą typu *convex*, wykorzystuje się większą powierzchnię przyłożenia, która pozwala na ocenę zmian w szerszym polu widzenia niż z przyłożenia podłużnego głowicy. Ma to znacznie w ocenie zmian ogniskowych, szczególnie większych obszarów konsolidacji tkanki płucnej przylegających do opłucnej płucnej. Umożliwia dokładniejszą ocenę wymiarów większych zmian i bardziej precyzyjną ich charakterystykę morfologiczną wraz z analizą unaczynienia w opcjach dopplerowskich.

W diagnostyce pediatrycznej obrazowanie płuc wykonywane jest z obu przyłożeń głowicy, a podstawowym przyłożeniem głowicy jest przyłożenie poprzeczne. Jest to konsekwencją preferowania obrazowania głowicą liniową o wyższej częstotliwości (8,0-12,0 MHz), która niejako wymusza takie ustawienie głowicy podczas badania. Obrazy prawidłowego płuca uzyskiwane z obu tych przyłożeń i za pomocą obu typów głowic są powtarzalne i porównywalne.

Po przyłożeniu głowicy (podłużnie lub poprzecznie) do ściany klatki piersiowej widoczne są kolejno następujące struktury: tkanka podskórna, warstwa mięśni, powięź wewnątrz-piersiowa i linia opłucnej, poniżej której obserwowany jest jednorodny, miernie hiperechogenny wzorzec odbić odpowiadający prawidłowo upowietrzonemu płucowi. W podłużnym przyłożeniu głowicy w ścianie klatki piersiowej poniżej tkanek miękkich widoczne są żebra, z charakterystycznym cieniem akustycznym poniżej. Cień ten powstaje w wyniku braku penetracji ultradźwięków przez struktury kostne. Uwidocznienie w podłużnym przyłożeniu głowicy dwóch sąsiadujących ze sobą żeber jest ważnym elementem badania, gdyż stanowi podstawę kluczowego objawu ultrasonograficznego w PBUP jakim jest „objawu nietoperza” (*bat sign*). Objawem tym określamy obraz, na który składają się: dwa cienie akustyczne żeber na zewnątrz i hiperechogenna linia pomiędzy nimi [24]. Objawem tym określamy obraz, na który składają się: dwa cienie akustyczne żeber na zewnątrz i hiperechogenna linia pomiędzy nimi [21]. Ta hiperechogenna linia widoczna jest około 5,0 mm poniżej linii żeber [39]. W ocenie dynamicznej obserwuje się jej przemieszczanie do góry i ku dołowi zgodnie z akcją oddechową, a określana jest jako linia opłucnej (*pleural line*) [24]. W warunkach prawidłowych linia opłucnej, na którą składają się: opłucna ścienna, opłucna płucna i niewielka objętość płynu pomiędzy tymi błonami, widoczna jest jako silnie hiperechogenne, linijne pasmo, odgraniczające struktury klatki piersiowej od miąższu płuca. Linia opłucnej wyznacza zatem granicę pomiędzy dwoma ośrodkami o różnej zawartości wody: składowymi

klatki piersiowej – z dużą zawartością wody i mięszem płuc – z niewielką zawartością wody. Powszechnie przyjmuje się, że grubość linii opłucnej u osoby dorosłej nie powinna przekraczać 2,0 mm [24]. Należy jednak pamiętać, że tak naprawdę mierząc grubość linii opłucnej oceniamy grubość artefaktu.

Poniżej tej linii widoczne są tylko stosunkowo jednorodnie echogenne odbicia bez możliwości wyróżnienia jakichkolwiek struktur. Jednakże w prawidłowym obrazie ultrasonograficznym płuc uwidacznia się kilka artefaktów ultrasonograficznych. Są one stałym i niezwykle ważnym elementem zarówno prawidłowego jak i nieprawidłowego obrazu płuc. Uwzględniając fakt, że klatka piersiowa jest obszarem anatomicznym, w którym na stosunkowo dużej powierzchni powietrze pozostaje w ścisłym związku z wodą, to wzajemna interakcja tych dwóch ośrodków umożliwia obrazowanie ultrasonograficzne płuc, dzięki powstającym na ich granicy artefaktom [25]. Obecność lub brak tych artefaktów jest podstawą ultrasonograficznej diagnostyki różnicowej najczęściej stwierdzanych zmian patologicznych układu oddechowego u pacjentów oddziałów ratunkowych i oddziałów intensywnej terapii [29]. Ponieważ większość artefaktów zarówno fizjologicznych jak i patologicznych powstaje na linii opłucnej, ocena jej jest kolejnym kluczowym elementem przezklatkowego badania ultrasonograficznego płuc [24]. Z pewnym uproszczeniem można stwierdzić, że przezklatkowa ultrasonografia płuc zarówno u osób dorosłych jak i u dzieci to ultrasonografia, która w znacznym stopniu opiera się na ocenie i analizie stwierdzanych artefaktów. Podzielić je można na artefakty statyczne i artefakty dynamiczne [28, 39], oraz grupę artefaktów wykorzystywanych w ocenie zmian zapalnych w płucach i w zatorowości płucnej [9, 13].

2.3.1. Artefakty i objawy ultrasonograficzne widoczne w prawidłowym przezklatkowym badaniu ultrasonograficznym płuc

W każdym PBUP wykonanym u osób zdrowych zarówno dorosłych jak i u dzieci uwidocznia się: trzy objawy ultrasonograficzne i jeden artefakt statyczny. Podstawowym objawem jest przedstawiony powyżej „objaw nietoperza”. Kolejnymi są dwa objawy dynamiczne obserwowane podczas badania z wykorzystaniem opcji dopplera kodowanego kolorem lub dopplera mocy: objaw ślizgania opłucnej (*lung sliding*) [29] i związany z nim objaw *power/color doppler sign* [21] (określenie anglojęzyczne, brak odpowiednika w języku polskim). Artefakt statyczny obserwowany w każdym badaniu ultrasonograficznym płuc określany jest jako artefakt linii A (*A-line*) [28].

Kolejne dwa artefakty możliwe do uwidocznienia w prawidłowym obrazie usg płuc to: artefakty statyczne określane jako artefakty linii Z (*Z-line*), które stwierdza się w około 80% badań i artefakty linii B (*B-line*) obecne w około 27% badań, głównie w tylny-dolnych segmentach płuc [25]. Dane odnośnie częstości występowania artefaktów linii Z i linii B dotyczą pacjentów dorosłych

przy badaniu wykonanym głowicą typu convex. Brak jest takich danych dotyczących populacji pediatrycznej. Na podstawie materiału własnego częstość występowania artefaktów linii Z i artefaktu linii B u dzieci bez problemów klinicznych ze strony układu oddechowego i układu krążenia autor ocenił odpowiednio na 9% i 2%. (Dane dotychczas niepublikowane – analiza dotyczyła 1120 badań, w grupie dzieci skierowanych na badanie ultrasonograficzne jamy brzusznej, podczas których dodatkowo oceniano płuca. Badania wykonywane były głowicą liniową i głowicą typu convex, aparatem GE Logic 7 (GE Medical Systems, 2007, Waukesha, WI, USA) u dzieci w wieku od 1 do 17 roku życia).

Objaw ślizgania opłucnej

Objaw ślizgania opłucnej (*lung sliding*) jest artefaktem dynamicznym. Opisywany był już w pierwszych publikacjach dotyczących diagnostyki ultrasonograficznej odmy jamy opłucnej, a powszechnie akceptowane określenie tego objawu jako *lung sliding* zaproponował Daniel Lichtenstein w 1995 roku [24]. Artefakt ten powstaje na linii opłucnej, w wyniku przemieszczania się zgodnie z akcją oddechową opłucnej płucnej względem nieruchomej opłucnej ściennej, jako konsekwencja zmian w objętości płuca.

Zdecydowanie lepiej widoczny jest w przypodstawnych partiach płuc niż w ich szczytach. W szczególnych przypadkach przy problemach z uwidocznieniem tego objawu w prezentacji *B-mode*, można próbować udokumentować jego obecność korzystając z opcji obrazowania *M-mode*. W opcji tej prawidłowy obraz płuc określany jest jako obraz „brzegu morskiego” (*seashore sign*) [24]. Charakteryzuje się on brakiem ruchu powyżej linii opłucnej, widoczny pod postacią kilku równoległe układających się poziomych linii i jednorodnie ziarnistym wzorcem odbić poniżej tej linii, jako efekt przemieszczania się zgodnie z akcją oddechową struktur położonych poniżej linii opłucnej. Ocena objawu ślizgania opłucnej rozpoczyna się już w momencie uwidocznienia objawu nietoperza. Obecność lub brak objawu ślizgania jest istotnym kryterium przy rozpoznawaniu chorób płuc, pozwalając jednocześnie na pośrednią ocenę stopnia ich ruchomości oddechowej. U dzieci „objaw ślizgania” jest zdecydowanie łatwiejszy do uwidocznienia niż w populacji dorosłej. Korzystanie z opcji *M-mode* konieczne jest tylko w wyjątkowych przypadkach. W pierwszej kolejności należy udokumentować obecność objawu ślizgania opłucnej korzystając z opcji

B-mode, a dopiero w przypadku trudności w jego uwidocznieniu podjąć próbę w opcji *M-mode*. Warto jednak podkreślić, że jedynym sposobem udokumentowania obecności dynamicznego objawu jakim jest objaw ślizgania opłucnej w formie statycznej na papierze światłoczułym jest obrazowanie w opcji *M-mode*.

Power/color doppler sign

Artefakt ten należy do grupy artefaktów pojawiających się w obrazowaniu z zastosowaniem ultrasonograficznych opcji naczyniowych. Powstaje on na linii opłucnej podczas obserwowania objawu ślizgania opłucnej z wykorzystaniem opcji dopplera kodowanego kolorem (CD) lub opcji dopplera mocy (PD). Widoczny jest wówczas kodowany kolorem ruch opłucnej płucnej jako zmieniające się barwy w opcji CD, a w opcji PD pojawia się kolor na linii opłucnej „pulsujący” zgodnie z ruchami oddechowymi. Równoczesna ocena w opcji dopplera spektralnego pozwala w wątpliwych przypadkach wykluczyć lub potwierdzić obecność patologicznych naczyń w badanym obszarze [39].

Artefakty linii: A, B, Z I oraz artefakt O:

Artefakty linii A

Artefakty linii A: to poziome, miernie hiperechogenne linie, równoległe do linii opłucnej, powtarzające się w tej samej odległości od siebie do granicy ekranu. Odległość pomiędzy tymi poziomymi liniami odpowiada odległości pomiędzy linią opłucnej a powierzchnią przyłożenia głowicy do ściany klatki piersiowej. W warunkach prawidłowych artefakty te powstają na linii opłucnej. Są artefaktami rewerberacji pojawiającymi się jako efekt odbicia fali ultradźwiękowej na granicy pomiędzy powietrzem w pęcherzykach płucnych pod opłucną płucną a ścianą klatki piersiowej [24, 29, 39]. Dlatego też odległość między kolejnymi liniami A jest wielokrotnością odległości między linią opłucnej a ścianą klatki piersiowej. Jeżeli obecny jest objaw ślizgania to obecność artefaktów linii A odpowiada prawidłowo powietrznemu płuc i obraz taki w pełni koreluje z prawidłowym obrazem w badaniu płuc za pomocą tomografii komputerowej [29].

Artefakty linii B

Artefakty linii B: to pionowe, hiperechogenne linie, powstające na linii opłucnej, widoczne na całej długości ekranu i przemieszczające się zgodnie z ruchami opłucnej płucnej. Uważa się, że artefakty te generowane są przez obecność niewielkiej objętości płynu pod opłucną płucną, najczęściej w przegrodach międzypłacikowych (artefakt powietrze – woda). Do chwili obecnej pomimo nie do końca wyjaśnionej ich etiopatogenezy większość autorów uznaje je za artefakty rewerberacji [25, 26, 38]. Najlepiej scharakteryzował je Daniel Lichtenstein przypisując im siedem cech:

1. mają charakter artefaktów ogona komety (*comet-tail artifact*),
2. jednoznacznie powstają na linii opłucnej (*pleural line*),

3. są hiperechogenne i dobrze widoczne,
4. podczas akcji oddechowej układają się podobnie do światła lasera,
5. widoczne są na całej długości ekranu monitora, bez efektu znikania,
6. przemieszczają się zgodnie z akcją oddechową,
7. jeżeli, widoczne są artefakty linii B to nie widzimy artefaktów linii A [29].

Obecność jednego lub dwóch artefaktów linii B w jednym podłużnym przyłożeniu głowicy wykonanym z dowolnego miejsca na klatce piersiowej uznawane jest za normę. Artefakty te są bardziej hiperechogenne podczas wdechu, a ich liczba jest odwrotnie proporcjonalna do stopnia upowietrzenia płuc [29]. Taki obraz artefaktów linii B obserwowany jest podczas badania wykonywanego głowicami o niższej częstotliwości i innymi niż głowice liniowe. Obrazując głowicą liniową i stosując przekroje poprzeczne za normę uznaje się obecność do sześciu artefaktów linii B w jednym przyłożeniu głowicy [38]. Z doświadczenia autora wynika, że w grupie pacjentów pediatrycznych wykonując PBUP głowicami liniowymi o wyższych częstotliwościach (8,0 -15,0MHz) można w jednym przyłożeniu głowicy uwidocznić zarówno artefakty linii B jak i artefakty linii A.

Artefakty linii Z

Artefakty linii Z mają bardzo podobny obraz do artefaktów linii B. Są to artefakty ogona komety, widoczne jako pionowe hiperechogenne linie, rozpoczynające się na linii opłucnej. Różnią się od artefaktów linii B tym, że kończą się w około 1/3-1/2 długości ekranu, nie dochodząc do jego granic i nie „wymazują” artefaktów linii A. Znaczenie praktyczne obecności tego artefaktu nie jest jednoznacznie określone, lecz w pierwotnych założeniach nadano mu literę Z, jako ostatnią z liter alfabetu sugerując brak znaczenia klinicznego [25]. Obecnie przyjęto, że artefakty linii Z są składową częścią obrazu prawidłowego płuc ze względu na fakt, iż ich obecność stwierdza się w około 80% badań wykonanych w populacji dorosłych osób zdrowych [26, 28]. Mechanizm powstawania tych artefaktów nie został dotychczas jednoznacznie określony.

Artefakt O

Określenie takie używane jest w sytuacji, gdy nie widzimy artefaktów linii A, ani artefaktów linii B. Tak więc nie jest to artefakt w sensie fizycznym, a opisanie pewnego wzorca obrazu. Częstość jego występowania nie jest określona. Według Daniela Lichtensteina znacznie takiego obraz jest takie same jak stwierdzenie artefaktów linii A [29].

Artefakty linii I

Artefakty o charakterze ogona komety, powstają na linii opłucnej, mają do około 1,0-3,0 cm długości i nie wymazują artefaktów linii A. Znaczenie kliniczne i częstość występowania tych artefaktów nie została dotychczas jednoznacznie określona [29].

PBUP - ocena artefaktów w obrazowaniu głowicą liniową

W ocenie głowicą liniową artefakty linii A, linii Z i artefakt linii I mają taką samą sonomorfologię jak w obrazowaniu głowicami innymi niż liniowe. Różnice stwierdza się podczas oceny artefaktów linii B. Obraz artefaktów linii B obserwowany podczas badania wykonywanego głowicami liniowymi o wyższej częstotliwości i z przyłożenia poprzecznego jest nieco inny niż klasyczny obraz tych artefaktów w ocenie głowicami typu *convex* czy sektorowymi z przyłożenia podłużnego. Wynika to głównie z założeń konstrukcyjnych głowic ultrasonograficznych. Inny typ propagacji fali ultradźwiękowej, która w przypadku głowicy liniowej rozchodzi się prostopadle do obrazowanej powierzchni, a w głowicach *convex* czy sektorowej rozbieżnie. Dlatego też artefakty linii B oceniane głowicą liniową nie spełniają jednego z kryteriów podanych przez Lichtensteina. Brak jest kryterium 4. – podczas akcji oddechowej układają się podobnie do światła lasera i jest to oczywiste, jeśli uwzględnimy konstrukcję głowicy liniowej. Kryterium 7. – jeżeli widoczne są artefakty linii B to nie widzimy artefaktów linii A, czyli wymazywanie artefaktu linii A przez artefakt linii B, jest zachowane, lecz oba te artefakty mogą być widoczne z jednego przyłożenia głowicy. Wykonując badanie głowicą liniową o wysokiej częstotliwości, można mieć trudności w prawidłowej ocenie artefaktów linii B i Z. Związane jest to z głębokością penetracji fali ultradźwiękowej, gdyż oba artefakty mogą kończyć się na granicy monitora. Decydującego znaczenia nabiera wówczas jednoczesne uwidocznienie artefaktów linii A, jeżeli są obecne, to pionowe artefakty odpowiadają artefaktom linii Z i odwrotnie brak artefaktów linii A potwierdza obecność artefaktów linii B.

Przedstawione powyżej podstawowe założenia teoretyczne przezklatkowej ultrasonografii płuc z wykorzystaniem artefaktów oparte są w głównej mierze na koncepcji opracowanej przez Daniela Lichtensteina i współpracowników. Liczne publikacje tego zespołu potwierdzają praktyczną przydatność PBU płuc z wykorzystaniem artefaktów w codziennej praktyce klinicznej i akceptowane są przez większość badaczy. Koncepcja PBUP z wykorzystaniem artefaktów ultrasonograficznych sprawdza się również w badaniach pediatrycznych z wykorzystaniem głowicy liniowej wysokiej częstotliwości.

2.4. PBUP – ocena zmian w opcjach dopplerowskich

Ultrasonograficzne opcje naczyniowe stosowane są do oceny przepływu w podopłucnowo położonych obszarach konsolidacji tkanki płucnej. Korzysta się zarówno opcji dopplera kodowanego kolorem, dopplera mocy, jaki i opcji dopplera spektralnego. W pewnym uproszczeniu ocenę dopplerowską parametrów hemodynamicznych naczyń w PBUP podzielić można na ocenę jakościową i półilościową. Zgodnie z założeniami Görg i wsp. ocena jakościowa przepływu polega na stwierdzeniu braku przepływu w zmianie ogniskowej, obecności pojedynczych naczyń, stwierdzeniu wyraźnego przepływu lub przyływu turbulentnego. Ocena półilościowa przepływu mówi o kierunku przepływu i jego charakterze [18, 22, 52, 53].

W diagnostyce różnicowej stwierdzanych zmian niezwykle istotny jest rozkład naczyń w ocenianym obszarze. Jego ocena ułatwia potwierdzenie lub wykluczenie określonej patologii. Widoczny układ naczyń w kształcie charakterystycznego „drzewka” zgodny z ich anatomicznym przebiegiem od wnęki do obwodu płuca typowy jest dla zmian zapalnych płuc o etiologii bakteryjnej, a chaotyczny układ naczyń, z licznymi naczyniami widocznymi od obwodu do centralnej części zmiany sugeruje proces rozrostowy. W PBUP analiza półilościowa parametrów hemodynamicznych przepływu w naczyniach opiera się o ocenę spektrum przepływu w opcji dopplera spektralnego. Ze względu na specyfikę unaczynienia płuc (podwójne unaczynienie tętnicze: od tętnicy płucnej i od tętnicy oskrzelowej), oraz fakt, że zmiany ogniskowe położone podopłucnowo mogą być dodatkowo unaczynione od tętnicy międzyżebrowej, jak i naczyniami typowymi dla procesu rozrostowego w przebiegu neo-angioenezy, konieczna jest znajomość typowych wzorców przepływu spotykanych w tych naczyniach. W tabeli 4. zestawiono wzorce przepływu oceniane za pomocą dopplera spektralnego na podstawie publikacji Görg C i wsp. [52, 53, 54].

Tabela 4. Charakterystyka przepływu w tętnicach: płucnej, oskrzelowej, międzyżebrowej i naczyniach neoangiogenezy, oceniane za pomocą dopplera spektralnego w PBUP (według Görg C. i wsp.)

Table 4. Characteristics of flow in: pulmonary, bronchial intercostal arteries and neoangiogenic vessels, evaluated by spectral Doppler in lung US (by Görg C. et al)

Tętnica <i>Artery</i>	Charakterystyka przepływu <i>Characteristic of the flow</i>
płucna <i>pulmonary</i>	<p>przepływ w tętnicy płucnej może być widoczny w różnych lokalizacjach, jako odśrodkowy przebieg naczynia od wnęki do powierzchni zewnętrznej płuc i charakteryzuje się przepływem wysokooporowym, zwykle trójfazowym</p> <p><i>the flow in the pulmonary artery can be seen in different locations as the radial course of the vessel from the cavity to the outer surface of the lungs; the flow is usually and high resistance and three-phase</i></p>
oskrzelowa <i>bronchial</i>	<p>przepływ w tętnicy oskrzelowej potwierdzić można w bardzo różnych lokalizacjach i charakteryzuje się niskooporowym, jednofazowym przepływem</p> <p><i>flow in the bronchial artery can be validated in many different locations; the flow is usually low resistance and single-phase</i></p>
międzyżebrowa <i>intercostal</i>	<p>w warunkach fizjologicznych przepływ w tętnicy międzyżebrowej potwierdzić można w przestrzeni międzyżebrowej; w stanach patologicznych ten wzorec przepływu widoczny może być w części zmian o charakterze rozrostowym położonych podopłucnowo; charakteryzuje się on wysokooporowym i zwykle jednofazowym przepływem</p> <p><i>physiologically the flow in the intercostal artery can be confirmed in intercostal space; pathologically this flow pattern may be seen in some proliferative changes localized under the pleura; it is usually high resistance and single-phase</i></p>
naczynia w guzie – neoangiogeneza <i>vessels in the tumor</i> – eoangiogenesis	<p>neoangiogeneza – naczynia tętnicze w obszarze guza stwierdzić można w różnych lokalizacjach, o różnym kierunku przepływu, charakteryzują się wolnym i prawie stałym przepływem, bez różnicy pomiędzy fazą skurczu a rozkurczu</p> <p><i>neoangiogenesis – arterial vessels in the tumor can be seen in different locations, with various flow direction, characterized by a slow and almost constant flow with no difference between the systole and diastole phase</i></p>

Dodatkowym aspektem diagnostyki dopplerowskiej płuc jest możliwość wykorzystania ultrasonograficznych artefaktów dopplerowskich, podobnie jak ma to miejsce w diagnostyce z zastosowaniem opcji B-mode. Ocenia się obecność lub brak trzech artefaktów. Są to artefakty dynamiczne, dwa z nich: *power/color doppler sign* i *fluid color sign* obserwować można stosunkowo często. Trzeci artefakt określany jest jako dopplerowski artefakt migotania (*twinkling artifact*) i widoczny jest jedynie sporadycznie. W pracy wykorzystano oryginalne anglojęzyczne określenie tych artefaktów celem unifikacji z piśmiennictwem anglojęzycznym i brakiem ich polskich odpowiedników.

Power/color doppler sign

Powstaje on na linii opłucnej podczas obserwowania objawu ślizgania opłucnej z wykorzystaniem opcji dopplera kodowanego kolorem (CD) lub opcji dopplera mocy (PD), szerzej omówiony został w podrozdziale 2.3.1.2.

Fluid color sign

Artefakt ten, podobnie jak artefakt *power/color doppler sign* należy do grupy artefaktów określanych jako artefakty „przepływ bez przepływu”. Możliwy do uwidocznienia zarówno w opcji CD i PD. Charakteryzuje się obecnością koloru w przestrzeni płynowej pomiędzy blaszkami opłucnej, który pojawia się zgodnie z akcją oddechową. Artefakt ten pozwala na potwierdzenie obecności nawet niewielkiej objętości płynu w jamie opłucnowej [16]. Często w takich sytuacjach widoczny jest równocześnie z artefaktem określanym jako *power/color doppler sign*.

Twinkling artifact

W polskim piśmiennictwie określany jest jako artefakt świetlika, czy dopplerowski artefakt migotania, wykorzystywany powszechnie do oceny zwapnień i złogów w układzie moczowym. Polega on na stwierdzeniu intensywnych, szybko zmieniających się sygnałów dopplerowskich kodowanych kolorem za strukturami o nieregularnej powierzchni, które silnie odbijają fale dźwiękowe [55]. W PBUP artefakt ten nie był dotychczas opisany. Autor obserwuje obecność tego artefaktu w obszarach konsolidacji miąższu płucnego w przebiegu inwazyjnej aspergilozy płucnej udzieci i w przypadku obecności zwapnień w zmianach ogniskowych zlokalizowanych pod opłucną u pacjentów dorosłych po przebytym procesie swoistym.

2.4.1. Wskazania do dopplerowskiej diagnostyki płuc u dzieci

W PBUP z opcji dopplerowski powinno korzystać się w każdej sytuacji, jeśli tylko pozwolą na to warunki, w których badanie jest wykonywane i jeśli nie będzie ograniczenia czasowego. Poniżej zestawiono sytuacje kliniczne, w których wskazana jest ocena zmian z wykorzystaniem opcji dopplerowskiej.

Wskaznia do badania płuc z zastosowaniem opcji dopplerowskich:

- zapalenie płuc,
- niedodma,
- zatorowość płucna (tzw. niekompletny zawał płuca – krwawienie do pęcherzyków płucnych bez destrukcji mięszu),
- guz płuca o lokalizacji podopłucnowej,
- guz opłucnej,
- wolny płyn w jamie opłucnej lub ograniczony zbiornik płynowy (torbiele płuc),
- ocena malformacji naczyniowych (przetoki tętniczo-żylne, czy malformacje naczyniowe w zespole Osler–Weber–Rendu),
- różnicowanie pomiędzy niedodmą a zapaleniem płuc (ocena dokonywana jest w opcji dopplera spektralnego; wyższe wartości indeksów oporu stwierdza się w niedodmie niż w bakteryjnym zapaleniu płuc) [56].

Podobnie jak każda inna metoda diagnostyczna ocena dopplerowska zmian w płucach ma swoje ograniczenie. Poniżej zestawiono ograniczenia diagnostyki dopplerowskiej zmian w płucach u dzieci.

Ograniczenia oceny dopplerowskiej zmian w płucach u dzieci w PBUP:

- znacznie trudniejsza u małych dzieci ze względu na brak współpracy,
- często bardzo utrudniona ze względu na lokalizację zmian,
- utrudniona w zmianach o małych wymiarach,
- możliwość oceny uzależniona od akcji oddechowej i/lub pulsacji zmiany zgodnie z akcją serca,
- na wynik badania wpływa klasa aparatu,
- fakt złożonego unaczynienia tętniczego guzów płuca położonych obwodowo znacznie ogranicza przydatność oceny za pomocą dopplera spektralnym w diagnostyce różnicowej,
- za pomocą dopplera kodowanego kolorem i oceny spektrum przepływu nie można z całą pewnością uwidocznić rzeczywistych naczyń neoangiogenezy guza [53, 54].

Pomimo istotnych ograniczeń ocena zmian w PBUP za pomocą opcji dopplerowskich jest niezwykle przydatna w diagnostyce różnicowej najczęściej

spotykanych zmian ogniskowych w lokalizacji podopłucnowej nie tylko u dorosłych, lecz również u dzieci.

2.5. Znaczenie diagnostyczne podstawowych artefaktów i objawów ultrasonograficznych obserwowanych w PBUP

2.5.1. Objaw nietoperza (*bat sign*)

Objaw ten oceniany jest we wszystkich wykonywanych podczas PBUP przyłożeniach podłużnych głowicy. Jest podstawowym objawem w diagnostyce ultrasonograficznej płuc w stanach zagrożenia życia. Wykorzystywany jest do oceny linii opłucnej, objawu ślizgania opłucnej i pośrednio do analizy stopnia ruchomości płuc. Objawu tego nie uwidocznimy w części przypadków rozedmy podskórnej [24].

2.5.2. Objaw ślizgania opłucnej (*lung sliding*)

Obecność lub brak objawu ślizgania opłucnej jest jednym z podstawowych kryteriów diagnostycznych wykorzystywanych w przeklatkowym badaniu ultrasonograficznym płuc, którego ocenę rozpoczyna się równoległe z uwidocznieniem „objawu nietoperza”. Jego obecność potwierdza prawidłowy obraz płuc i jednocześnie ze 100% pewnością wyklucza odemę jamy opłucnej. Brak objawu ślizgania opłucnej sugeruje możliwość odmy jamy opłucnej w obszarze przyłożenia głowicy. Celem jej potwierdzenia konieczne jest stwierdzenie innych kryteriów diagnostycznych odmy jamy opłucnej. Uzyskiwany obraz zawsze powinien oceniany być w kontekście klinicznym. W tabeli 5 zestawiono sytuacje kliniczne, w których można nie uwidocznić objawu ślizgania opłucnej lokalnie lub nad znaczną powierzchnią płuc.

Szczególnej uwagi wymaga ocena zmian u pacjentów po przebytych urazach klatki piersiowej ze słuczeniem płuca, gdyż u części z nich interpretacja może być trudna i nie zawsze jednoznaczna a sugerująca brak objawu ślizgania [44].

Przedstawione dane opracowane zostały na podstawie piśmiennictwa dotyczącego populacji dorosłej i mogą być tylko ekstrapolowane na populację pediatryczną. Uwzględniając odmienną tych dwóch grup pacjentów podkreślić należy, że u dzieci prawdopodobieństwo błędu w interpretacji objawu ślizgania wydaje się być znacznie mniejsze niż u dorosłych.

Tabela 5. Objaw ślizgania opłucnej – znacznie kliniczne [40, 45, 57].

Table 5. Lung sliding sign – clinical significance [40, 45, 57].

Objaw ślizgania opłucnej dodatni <i>Positive lung sliding sign</i>	Objaw ślizgania opłucnej ujemny <i>Negative lung sliding sign</i>
prawidłowy obraz płuc <i>normal image of lungs</i>	odma jamy opłucnej <i>pneumothorax</i>
wentylacja mechaniczna <i>mechanical ventilation</i>	zrosty opłucnej <i>pleural adhesions</i>
	ciężka postać rozedmy płuc <i>severe emphysema</i>
	brak drożności oskrzela <i>bronchial obstruction</i>
	bezdech <i>apnea</i>
	niedodma <i>atelectasis</i>
	ciężki napad astmy oskrzelowej <i>severe asthma attack</i>
	włóknienie płuc <i>lung fibrosis</i>
	ARDS i ciężkie postaci zapalenia płuc > 30% objętości płuca <i>ARDS and severe forms of pneumonia</i> > 30% of lung volume

Praktyczne aspekty wykorzystania objawu ślizgania opłucnej u dzieci obejmują: potwierdzenie prawidłowo powietrznego płuca, diagnostykę odmy jamy opłucnej, monitorowanie powikłań po zabiegach diagnostyczno-terapeutycznych w obrębie klatki piersiowej i pośrednią ocenę prawidłowości lokalizacji rurki dotchawiczej.

Dostępne są dane o możliwości wykorzystania PBUP w monitorowaniu powikłań zabiegów diagnostyczno-terapeutycznych w obrębie klatki piersiowej u pacjentów dorosłych [57, 58], brak jest takich danych u dzieci. Uważa się, że PBUP można z powodzeniem wykorzystać do monitorowania nakłucia jamy opłucnowej, biopsji opłucnej czy podopłucnowo zlokalizowanej zmiany ogniskowej, jak również założenie wkłucia głębokiego do naczyń podobojczykowych. Brak objawu ślizgania opłucnej po wykonanym zabiegu pozwala postawić pewne rozpoznanie odmy opłucnowej zwłaszcza, jeśli objaw ślizgania widoczny był podczas badania wykonanego przed zabiegiem. Obserwacje własne

autora potwierdzają pełną przydatność tego objawu monitorowaniu zabiegów zakładania centralnego dostępu żylnego u dzieci.

Artefakt objawu ślizgania opłucnej, wraz z oceną ruchomości przepony wykorzystać można do oceny położenia rurki dotchawiczej po zabiegu intubacji. Brak tego objawu po jednej stronie wraz ze zniesieniem, lub znacznego stopnia ograniczeniem ruchomości przepony po tej stronie przemawia za nieprawidłową jej lokalizacją [59]. W tych sytuacjach u dzieci ocenie ultrasonograficznej podlega zarówno ruchomość przepony, bezpośrednia ocena rurki intubacyjnej w tchawicy z równoczesną oceną objawu ślizgania opłucnej. Ultrasonograficzna ocena tylko ruchomości oddechowej przepony jest niewystarczającym kryterium w ocenie prawidłowości położenia rurki intubacyjnej z niższą czułością i swoistością w porównaniu do klasycznego badania RTG klatki piersiowej [60]. Uwzględnienie bezpośredniej oceny rurki intubacyjnej i objawu ślizgania opłucnej w pełni koreluje z wynikami badań RTG klatki piersiowej [61].

2.5.3. Artefakty linii A

Artefakty linii A będąc podstawowymi artefaktami obrazu prawidłowego płuc w PBUP, paradoksalnie są jednocześnie jednym z podstawowych objawów stwierdzanych w odmie jamy opłucnej. Uwidocznienie profilu zmian, na który składają się tylko artefakty linii A, brak artefaktów linii B i brak objawu ślizgania potwierdza rozpoznanie odmę jamy opłucnej z czułością i swoistością szacowaną na prawie 100% [24]. Obszar płuc, w którym obserwowane były te objawy zawsze należy ocenić w opcji *M-mode*. W opcji tej prawidłowy obraz płuc określany jako obraz „brzegu morskiego” (*seashore sign*), zastąpiony zostaje w przypadku odmę jamy opłucnej przez zupełnie inny obraz nazywany w anglojęzycznej nomenklaturze jako „*stratosphere sign*” (brak określenia w języku polskim, najbardziej odpowiednim określeniem jest „objaw stratosfery” lub oraz „kodu paskowego”). Składają się na niego tylko liczne poziome linie, bez widocznej linii opłucnej i drobnoziarnistych ech poniżej. Uwzględnić należy dwa fakty, że jako jedyny objaw nie jest on wystarczający do rozpoznania odmę opłucnowej, a ocena płuc tylko w opcji *M-mode* nie jest wystarczająca do postawienia rozpoznania [28, 39].

2.5.4. Artefakty linii B

Mechanizm powstawania tego artefaktu implikuje jego znaczenie kliniczne. Zmiana równowagi pomiędzy objętością wody i powietrza w obrębie miąższu płucnego w kierunku wzrostu objętości wody skutkuje pojawieniem się w obrazie ultrasonograficznym artefaktów linii B [25, 37, 38]. Oznacza to, że obecność artefaktów linii B w ocenianym obszarze jednoznacznie wyklucza odmę jamy

opłucnej [24]. Stwierdzenie w PBUP bardzo licznych, ułożonych blisko siebie artefaktów linii B odpowiada zmianom o typie zespołu śródmiąższowo-pęcherzykowego i ma podobne znaczenie jak w badaniu za pomocą tomografii komputerowej, a w klasycznym badaniu rentgenowskim płuc obraz ten odpowiada obecności linii Kerleya. Udokumentowano, że obecność licznych linii B oddalonych od siebie o $7 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ w obrazowaniu głowicą typu *convex* lub sektorową (u pacjentów dorosłych określane jako profil *B7-lines*), powstaje w wyniku pogrubienia przegród międzyplacikowych i jest charakterystyczny dla śródmiąższowego obrzęku płuc. Linie artefaktu B oddalone od siebie w odległości $3 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, określane są jako profil *B3-lines*. Stwierdzenie takiego profilu zmian odpowiada nasilonemu obrzękowi zarówno przegród międzyplacikowych jak i obecności płynu w świetle pęcherzyków płucnych i koreluje z obrazem tzw. mlecznej szyby (*ground-glass*) obserwowanym w badaniu TK [28]. W grupie pacjentów dorosłych udokumentowano, że stwierdzenie podczas PBUP licznych artefaktów linii B, wskazuje jednoznacznie na wzrost objętości wody pozanaczyniowej w miąższu płucnym [36], a liczba stwierdzanych linii B koreluje z radiologicznymi cechami obrzęku płuc [37] i z ciśnieniem zaklinowania [35]. Brak jest takich danych dla populacji pediatrycznej. Dodatkowo uwidocznienie nad całymi płucami zmian określane jako profil B (widoczne są liczne ułożone obok siebie artefakty linii B, z jednoczesnym brakiem linii A i widocznym objawem ślizgania opłucnej) odpowiada obecność tzw. „mokrego płuca” u chorych na zespół ostrej niewydolności oddechowej, u pacjentów z przewlekłą niewydolnością krążenia, czy chorobą śródmiąższową płuc. Oznacza to w praktyce możliwość wykorzystania tego profilu zmian do szybkiej oceny pacjentów z niewydolnością oddechową, jak i weryfikacji zmian w przypadkach niejednoznacznego wyniku klasycznego badania radiologicznego płuc [34, 38].

Omówione powyżej podstawowe artefakty ultrasonograficzne obserwowane w PBUP będące składową prawidłowego obrazu płuc, stanowią jednocześnie podstawę diagnostyki ultrasonograficznej płuc u pacjentów dorosłych w stanach zagrożenia życia.

Znaczenie diagnostyczne tych artefaktów w populacji pediatrycznej jest dokładnie takie jak w populacji dorosłej. Naturalnym jest inna, mniejsza ich częstość występowania w obrazie prawidłowym, lecz stanowią również podstawę diagnostyki ultrasonograficznej odmy jamy opłucnej i obrzęku płuc u dzieci [31, 32, 33, 34].

Wizualizację podstawowych artefaktów i objawów ultrasonograficznych wraz z obrazem podstawowych zmian patologicznych zamieszczono w prezentacji na dołączonej do rozprawy płycie CD. Taką formę ich przedstawienia wybrano ze względu na fakt, że większość z nich ma charakter dynamiczny i powinna być prezentowana w formie zapisu filmowego.

3. CEL PRACY I UZASADNIENIE PODJĘCIA BADAŃ

Podstawowym celem rozprawy była prezentacja przeklatkowego badania ultrasonograficznego płuc jako metody diagnostycznej zmian w płucach u dzieci ze szczególnym uwzględnieniem grupy pacjentów leczonych z powodu choroby nowotworowej.

Cel pracy realizowany był:

1. Poprzez omówienie aspektów technicznych badania i prawidłowego obrazu płuc u dzieci w PBUP.
2. Prezentację kryteriów diagnostycznych wybranych jednostkach chorobowych: odmy jamy opłucnej, obrzęku płuc, zatorowości płucnej i zapalenia płuc o etiologii grzybiczej, które dotychczas nie były opracowane dla populacji pediatrycznej.
3. Przedstawienie własnych doświadczeń w ultrasonograficznej diagnostyce tych jednostek chorobowych u dzieci leczonych z powodu choroby nowotworowej.

Uzasadnienie podjęcia badań

Brak w dostępnym piśmiennictwie danych o możliwości wykorzystania ultrasonograficznej oceny płuc w grupie dzieci diagnozowanych i leczonych z powodu choroby nowotworowej stanowił podstawę podjęcia tego tematu. Kolejnym argumentem za jest fakt, że w obecnej chwili PBUP jest pierwszym badaniem obrazowym płuc w tej grupie pacjentów leczonych w Klinice Pediatrii, Hematologii i Onkologii Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego, a technika PBUP, kryteria diagnostyczne i ultrasonograficzna diagnostyka różnicowa zmian w płucach u dzieci opracowana została przez autora pracy na podstawie danych z piśmiennictwa odnośnie populacji pacjentów dorosłych i kilku prac pediatrycznych oraz własnych kilkuletnich doświadczeń w diagnostyce ultrasonograficznej płuc w pediatrycznej pracowni ultrasonograficznej.

Argumenty przemawiające za podjęciem tego tematu podzielić można na następujące zagadnienia:

1. Znacznie mniejsza liczba dostępnych publikacji odnośnie diagnostyki ultrasonograficznej zmian w płucach u dzieci niż u dorosłych.
2. Potencjalnie duże możliwości diagnostyczne PBUP u dzieci w kontekście danych dostępnych dla populacji pacjentów dorosłych.
3. Duża liczba dzieci ze wskazaniami do diagnostyki obrazowej płuc.
4. Diagnostyka wstępna i monitorowanie zmian w płucach w szczególnej grupie pacjentów jakim są dzieci z chorobą nowotworową.
5. Bezpieczeństwo badań płuc wykonywanych z zastosowaniem ultradźwięków.

6. Dostępność metody.
7. PBUP umożliwia ocenę płuc w grupie dzieci z bezwzględными i względnymi przeciwwskazaniami do badań obrazowych z wykorzystaniem promieniowania rentgenowskiego.
8. Potencjalna możliwość zmniejszenia ekspozycji populacji pediatrycznej na promieniowanie rentgenowskie.
9. Możliwość wykorzystania PBUP do monitorowania zabiegów zakładania centralnego dostępu żylnego i innych procedur diagnostyczno-terapeutycznych wykonywanych w obrębie klatki piersiowej.

Ad. 1. Znacznie mniejsza liczba dostępnych publikacji odnośnie diagnostyki ultrasonograficznej zmian w płucach u dzieci niż u dorosłych.

Trudno jest jednoznacznie odpowiedzieć na pytanie, dlaczego istnieje tak znaczna dysproporcja w liczbie publikacji odnośnie PBUP pomiędzy populacjami: pediatryczną i dorosłą, jaką przedstawiono w podrozdziale „Diagnostyka ultrasonograficzna płuc – rys historyczny”. Problem jest niezwykle złożony, gdyż uwzględnić należy nie tylko liczebność populacji, inny zakres schorzeń, liczbę pacjentów w stanie bezpośredniego zagrożenia życia leczonych w szpitalnych oddziałach ratunkowych czy oddziałach intensywnej terapii, ale również aspekty związane zarówno ze standardami diagnostycznymi, jaki i coraz szerszym dostępem do badań obrazowych za pomocą nowoczesnej spiralnej tomografii komputerowej pozwalającej w krótkim czasie wykonać badanie całego ciała. Wynika to również z faktu, że rozwój nowoczesnej ultrasonografii płuc podłoże swoje ma w medycynie ratunkowej pacjentów dorosłych, z udokumentowaną już w chwili obecnej pozycją w standardach diagnostycznych pacjentów dorosłych z niewydolnością oddechową [57]. W grupie lekarzy medycyny ratunkowej i anestezjologów znalazło to przełożenie na intensywną praktyczną naukę przezklatkowej ultrasonografii płuc w formie kursów i warsztatów szkoleniowych, również podczas zjazdów i kongresów naukowych organizowanych zarówno przez naukowe towarzystwa ultrasonograficzne, jaki i towarzystwa medycyny ratunkowej. Niestety zagadnienia dotyczące diagnostyki ultrasonograficznej płuc u dzieci omawiane są tylko w bardzo ograniczonym zakresie. Wydaje się, że brakuje „liderów”, którzy przyspieszyliby rozwój diagnostyki ultrasonograficznej płuc u dzieci w sposób zbliżony do tego, w jakim odbyło się to u pacjentów dorosłych.

Ad. 2. Potencjalnie duże możliwości diagnostyczne PBUP u dzieci, w kontekście danych dostępnych odnośnie populacji pacjentów dorosłych.

Analiza danych dostępnych dla populacji dorosłej pozwala domniemywać, że potencjalne możliwości diagnostyczne wykorzystania przezklatkowego badania ultrasonograficznego płuc w populacji pediatrycznej mogą być bardzo zbliżone. W tej grupie chorych czułość i swoistość PBUP w wybranych jednostkach chorobowych w porównaniu z wynikami badań płuc wykonanych za pomocą

tomografii komputerowej szacuje się odpowiednio na: 94% i 97% w diagnostyce płynu w jamie opłucnej [58], 90% i 98% dla zmian zapalnych w płucach [62], 93% i 93% dla zmian śródmiąższowych [25], 100% i 96% dla odmy jamy opłucnej [63] i 74% i 95% dla zatorowości płucnej niewysokiego ryzyka [64]. Jeżeli w grupie pacjentów dorosłych leczonych na oddziale ratunkowym lub oddziale intensywnej terapii czułości i swoistości przezklatkowego badania ultrasonograficznego płuc w zakresie tych podstawowych zmian w układzie oddechowym oceniana jest na ponad 90% przy metodzie referencyjnej jakim jest badanie za pomocą tomografii komputerowej, to nie ma żadnych racjonalnych przesłanek, aby podobnych wartości nie uzyskiwać u dzieci. Dodatkowo uwzględnić należy fakt, że u dzieci PBUP jest łatwiejsze technicznie do wykonania oraz możliwa jest ocena zmian za pomocą głowicy liniowej o wyższej częstotliwości, z większą dokładnością niż standardowo wykorzystywana w badaniach pacjentów dorosłych głowica typu *convex*. Niezwykle ważne jest również to, że u dzieci większość zmian stwierdzanych w układzie oddechowym to zmiany, które pojawiają się stosunkowo szybko i w ogromnej większości nie nakładają się na już istniejące zmiany w płucach, jak ma to często miejsce u chorych dorosłych, które w wielu przypadkach mogą utrudniać jednoznaczną interpretację uzyskiwanych obrazów. Uwzględniając przedstawione fakty wydaje się, że możliwości diagnostyczne wykorzystania przezklatkowego badania ultrasonograficznego płuc w populacji pediatrycznej mogą być równie duże. Nie zostały one jednak dotychczas potwierdzone w badaniach prospektywnych.

Ad. 3. Duża liczba dzieci ze wskazaniami do diagnostyki obrazowej płuc.

Ostre zakażenia dróg oddechowych są najczęstszą przyczyną porad lekarskich u dzieci, a zapalenia płuc jedną z najważniejszych przyczyn hospitalizacji dzieci [65]. Według danych europejskich częstość występowania zapaleń płuc szacuje się na 14,4 do 14,7 zachorowań na 10 000 dzieci do 16 roku życia, a od 32,8 do 33,8 na 10 000 dzieci pomiędzy 0 a 5 rokiem życia [66, 67]. Dane te przybliżają nam liczbę dzieci ze wskazaniami do diagnostyki obrazowej płuc, u których diagnostyka ultrasonograficzna płuc mogłaby być wykorzystana. Faktycznie liczba badań może być jeszcze większa, jeśli uwzględnimy fakt, że znaczna część tej grupy wymaga badań kontrolnych w trakcie terapii i po jej zakończeniu. Wydaje się, że korzystając z PBUP w aspekcie ultrasonografii *point of care* [68] zarówno w przypadku zapaleń płuc pozaszpitalnych jak i szpitalnych można by z jednej strony przyspieszyć postawienie prawidłowej diagnozy, a z drugiej zmniejszyć liczbę wykonywanych klasycznych badań radiologicznych klatki piersiowej [68]. Fakt ten uwzględnić należy również w szczególnej grupie pacjentów jakimi są noworodki urodzone przedwcześnie, które ze względu na specyfikę zmian wymagają często wielokrotnych badań radiologicznych, które można by w znacznej części zastąpić PBUP.

Ad. 4. Diagnostyka wstępna i monitorowanie zmian w płucach w szczególnej grupie pacjentów jakim są dzieci z chorobą nowotworową.

Zmiany patologiczne w układzie oddechowy u dzieci leczonych z powodu choroby nowotworowej stwierdzone są bardzo często. W tej grupie chorych stanowią jedną z głównych przyczyn zgonów niezwiązaną bezpośrednio z chorobą nowotworową. W przebiegu leczenia przeciwnowotworowego u ponad 80% pacjentów dorosłych z białaczką rozpoznaje się zapalenie płuc. Podobnie jest u dzieci, a pacjentów po przeszczepie szpiku ciężkie powikłania płucne występują u ponad 25% chorych, z wyższym odsetkiem zgonów (65% do 44%) w tej grupie chorych, niż u pacjentów bez powikłań płucnych [69]. Czynniki infekcyjne są najczęstszą przyczyną zmian w płucach u dzieci z białaczką, lecz nie jedyną. Czynniki nie związane z infekcją takie jak krwawienie do pęcherzyków płucnych, toksyczny efekt działania leków, uszkodzenie miąższu płuc w przebiegu radioterapii, czy obrzęk płuc to kolejna grupa zmian. Niezależnie od tych dodatkowych czynników zmiany w płucach mogą być efektem samej choroby nowotworowej. Leukostaza płucna, nacieki białaczkowe i pneumopatia z rozpadu komórek białaczkowych stwierdzone są sporadycznie, głównie u pacjentów z hiperleukocytozą, są jednak stanem bezpośredniego zagrożenia życia wymagającego szybkiej diagnostyki i terapii [70]. Metodą diagnostyczną z wyboru w tej grupie chorych jest badanie za pomocą tomografii komputerowej i tomografii komputerowej wysokiej rozdzielczości (TK-WR). Jednakże konieczność transportu dziecka w ciężkim stanie ogólnym do zakładu radiologii wiąże się ze zmianą warunków środowiskowych, z dodatkowym stresem, koniecznością sedacji u młodszych dzieci i ryzykiem wystąpienia niepożądanych reakcji po środkach kontrastujących. Fakt ten jest kolejnym argumentem za podjęciem badań celem oceny możliwości wykorzystania PBUP, które możliwe jest do wykonania praktycznie w każdych warunkach i niezależnie od stanu ogólnego dziecka.

Ad. 5. Bezpieczeństwo badań płuc wykonywanych z zastosowaniem ultradźwięków.

W dostępnym piśmiennictwie nie opublikowano dotychczas udokumentowanych danych sugerujących niekorzystny wpływ ultradźwięków na rozwijający się organizm przy zastosowaniu częstotliwości i energii fali ultradźwiękowej wykorzystywanej we współczesnych aparatach ultrasonograficznych. Jednakże możliwość uszkodzenia płuc pod wpływem działania energii fal ultradźwiękowych podkreślany był od dawna i prezentowany na modelach zwierzęcych w wielu publikacjach [71, 72, 73, 74, 75, 76]. Do chwili obecnej dane te nie zostały potwierdzone w badaniach na organizmie ludzkim [77, 78]. Bezpieczeństwo oceny płuc za pomocą ultradźwięków udokumentowano natomiast w badaniach histopatologicznych miąższu płuc, które wykonane zostały bezpośrednio po badaniu płuc podczas śródoperacyjnie wykonywanej echokardiografii przezprzełykowej. W badaniach tych nie stwierdzono krwawienia do pęcherzyków płucnych [79], które obserwowane było w badaniach eksperymentalnych. Zgodnie ze

stanowiskiem Federacji Europejskich Towarzystw Ultrasonograficznych w Medycynie i Biologii (EFSUMB – *European Federation of Societies for Ultrasound in Medicine and Biology*) i Amerykańskiego Instytutu Ultradźwięków w Medycynie (AIUM – *American Institute of Ultrasound in Medicine*), które potwierdzają, że w chwili obecnej nie udokumentowano niekorzystnego wpływu ultradźwięków na organizm człowieka, badania ultrasonograficzne płuc mogą być zatem bezpiecznie wykonywane u dzieci [80, 81].

Ad. 6. Dostępność metody.

Możliwość wykonania PBUP w dowolnym miejscu i wielokrotnego jego powtarzania w dowolnie wybranym momencie to unikalne wartości diagnostyki ultrasonograficznej. Mają ono również zastosowanie w diagnostyce płuc. Zwyczajowo określając dowolne miejsce wykonania badania w domyśle mamy albo przyłóżkowe badanie na oddziale, w izbie przyjęć lub w sali zabiegowej, jeśli jednak uwzględnimy, że badanie to może być wykonane w dowolnym miejscu zdarzenia np. w opiece przedszpitalnej w przypadkach nagłych, w gabinecie lekarza podstawowej opieki medycznej, czy podczas wizyty domowej to wówczas określenie to nabiera zupełnie nowego wymiaru. Pozwala korzystać z ultrasonografu podobnie do klasycznego stetoskopu i realizować założenia koncepcji ultrasonografii „*point of care*”, która określa, iż badanie ultrasonograficzne wykonywane jest w celu rozwiązania określonego problemu klinicznego, przez lekarza nie będącego radiologiem i przez niego interpretowane w miejscu zdarzenia. Korzyści wynikające z tak pojętej diagnostyki ultrasonograficznej są oczywiste. W wielu przypadkach pozwala ona w bardzo krótkim czasie postawić rozpoznanie, w wielu przypadkach zyskać jego pewność, oszczędza czas zarówno lekarza jak i chorego, co z kolei przekłada się to na konkretny wymiar ekonomiczny. Ultrasonografia „*point of care*” może być stosowana zarówno w warunkach ambulatoryjnych i jak i szpitalnych. W pewnych sytuacjach klinicznych dotyczących dzieci w ciężkim stanie ogólnym, z względnymi czy bezwzględnymi przeciwwskazaniami do transportu, PBUP jest jedyną rozsądną alternatywą dla badania płuc za pomocą TK. Dodatkowym argumentem za korzystaniem z PBUP jest udokumentowana przewaga diagnostyki ultrasonograficznej płuc nad przyłóżkowo wykonywanym badaniem RTG klatki piersiowej u chorych dorosłych na oddziale intensywnej opieki medycznej [82, 83, 84, 85]. Dane te dodatkowo potwierdzają zasadność wykonywania badań usg płuc w tej grupie chorych dzieci.

Ad. 7. PBUP pozwala na ocenę płuc w grupie dzieci z bezwzględnymi i względnymi przeciwwskazaniami do badań obrazowych z wykorzystaniem promieniowania rentgenowskiego.

Diagnostyka dzieci z bezwzględnymi przeciwwskazaniami do badań obrazowych z wykorzystaniem promieniowania rentgenowskiego stanowi istotny problem kliniczny. W przypadku zmian w układzie oddechowym rozpoznanie

stawiane jest tylko i wyłącznie na podstawie badania fizykalnego z wykorzystaniem stetoskopu, gdyż ekspozycja na najmniejsze nawet dawki promieniowania rentgenowskiego nasila gwałtownie łamliwość chromosomów w zespole Nijmegen i zespole ataxia-telangiectasia, z potencjalnie wysokim ryzykiem rozwoju nowotworu [86]. Nie jest to liczebnie znaczna grupa pacjentów, u których PBUP powinno być obrazowaniem z wyboru w chorobach układu oddechowego. Jednakże, jeżeli uwzględnimy kolejną grupę dzieci ze względny przeciwwskazaniami do ekspozycji na promieniowanie X jakim są nosicielki mutacji genu *BRCA1* i *BRCA2*, to liczba dzieci, u których PBUP może przynieść wymierne korzyści istotnie wzrasta, gdyż w grupie tej ekspozycja na dawki promieniowania stosowane podczas klasycznego badania RTG klatki piersiowej w okresie dzieciństwa może istotnie zwiększyć ryzyko rozwoju nowotworu sutka [87].

Ad. 8. Zmniejszenie ekspozycji populacji pediatrycznej na promieniowanie rentgenowskie.

Potencjalnie ryzyko związane z diagnostyką obrazową z zastosowaniem promieniowania rentgenowskiego w populacji pediatrycznej jest dobrze opracowane i od kilku lat szeroko omawiane w licznych publikacjach [88, 89, 90, 91, 92, 93, 94]. Podkreśla się fakt, że im młodszy organizm tym większe ryzyko rozwoju nowotworu indukowanego promieniowaniem rentgenowskim [92, 93]. Uwzględniając różne modele statystyczne pewne oszacowanie tego ryzyka nie jest jednoznacznie możliwe, jednak sam fakt ryzyka populacyjnego zgonu z powodu choroby nowotworowej szacowanego na około 25-33% jest tak wysokie, że każdy dodatkowy element, który może je zwiększyć należy eliminować [95]. Dlatego też, każde działanie prowadzące do zmniejszenia dodatkowego ryzyka może mieć istotne znaczenie zarówno populacyjne jak i jednostkowe. Czy upowszechnienie badań ultrasonograficznych płuc za pomocą ultradźwięków może być jednym z takich elementów? Dostępne dane odnośnie populacji pacjentów dorosłych sugerują, że liczba wykonanych tradycyjnych badań RTG klatki piersiowej i tomografii komputerowej płuc może ulec istotnemu zmniejszeniu [84, 96, 97, 98]. Czy sytuacja taka możliwa jest również w zakresie zmniejszenia liczby badań tomograficznych klatki piersiowej u dzieci? W chwili obecnej brak jest takich danych. Uwzględniając jednak potencjał PBUP w populacji pediatrycznej wydaje się, że tak. Oczywiście nie tak istotnie jak klasycznych badań RTG płuc, jednakże w grupie dzieci wymagających wielokrotnego ich powtarzania, wydaje się liczba badań TK klatki piersiowej może ulec zmniejszeniu. Główną grupą pacjentów pediatrycznych z największą liczbą wykonanych badań tomografii komputerowej to grupa dzieci diagnozowanych i leczonych z powodu choroby nowotworowej [99, 100]. Wydaje się, że szersze korzystanie z PBUP właśnie tej grupie chorych może istotnie zmniejszyć kumulacyjną dawkę promieniowania rentgenowskiego. Potwierdzenie tej sugestii wymaga dużych prospektywnych badań. Niestety nie da się tego wykonać bez upowszechnienia diagnostyki płuc za pomocą ultradźwięków.

Ad. 9. Możliwość wykorzystania PBUP do monitorowania zabiegów zakładania centralnego dostępu żylnego i innych procedur diagnostyczno – terapeutycznych wykonywanych w obrębie klatki piersiowej.

Monitorowanie zabiegów zakładania centralnego dostępu żylnego i innych procedur diagnostyczno-terapeutycznych wykonywanych w obrębie klatki piersiowej jest standardem w opiece nad pacjentem dorosłym w większości ośrodków. Coraz częściej również wykorzystuje się PBUP do oceny płuc po zakończonym zabiegu rezygnując z klasycznych badań RTG. W diagnostyce jatrogennej odmy jamy opłucnej udokumentowano pełną zgodność PBUP w porównaniu do badania RTG [101, 102, 103, 104], jeżeli badania wykonane były głowicami typu convex, a wyższą czułość i swoistość PBUP przy ocenie tych zmian głowicą liniową wysokiej częstotliwości [105]. Brak jest danych odnośnie możliwości wykorzystania PBUP w diagnostyce jatrogennej odmy opłucnowej w populacji pediatrycznej i jest to kolejny argument za koniecznością upowszechnienia tej metody obrazowania płuc, szczególnie w grupie pacjentów leczonych z powodu choroby nowotworowej.

4. PACJENCI I METODY

Analizie poddano wyniki przekłatkowych badań ultrasonograficznych płuc u dzieci leczonych Katedrze i Klinice Pediatrii, Hematologii i Onkologii Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego (kierownik prof. dr hab. Anna Balcerska), na Oddziałach Hematologii i Onkologii Dziecięcej. Badania wykonane były przez zespół pracowników Pracowni Diagnostyki Ultrasonograficznej i Biopsyjnej Katedry i Kliniki Pediatrii, Hematologii i Onkologii Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego w składzie: lek. Tomasz Batko, dr n. med. Marek Tomaszewski i autor rozprawy dr n. med. Wojciech Kosiaka. Wyniki wszystkich badań konsultowane były przez autora pracy. Analiza wyników dotyczyła prac prowadzonych prospektywnie i obejmowała cztery wybrane jednostki chorobowe płuc: odmę jamy opłucnej, obrzęk płuc, zatorowość płucną i grzybicze zapalenie płuc. W pracy nie uwzględniono ultrasonograficznej diagnostyki obecności płynu w jamie opłucnej i bakteryjnego zapalenia płuc uznając, że zagadnienia te są już stosunkowo dobrze opracowane.

4.1. Charakterystyka grupy badanej

W analizowanym okresie od 10 listopada 2009 roku do 30 czerwca 2012 roku w grupie pacjentów pediatrycznych z chorobą nowotworową lub jej podejrzeniem, realizowany był opracowany przez autora pracy algorytm diagnostyczny uwzględniający „kompleksową” ultrasonograficzną ocenę pacjenta, na którą składała się: ocena jamy brzusznej, obwodowych węzłów chłonnych, tarczycy, jąder, serca i płuc. W pracy wykorzystano tylko wyniki badań ultrasonograficznych płuc. Prawidłowy obraz płuc we wstępnym PBUP stanowił podstawę, do którego porównywane były wyniki kolejnych badań wykonywanych przy podejrzeniu klinicznym zmian w płucach. W przypadkach, w których stwierdzono zmiany w badaniu w wstępnym, za obraz prawidłowy przyjmowano wynik PBUP wykonanego po ich ustąpieniu. Grupę porównawczą dla podjętych badań zestawiono z wynikami badań ultrasonograficznych płuc ocenionych jako prawidłowe dla poszczególnych pacjentów. Taki dobór grupy porównawczej pozwala na jednoznaczne określenie zarówno progresji jak i regresji zmian w płucach przy znanym prawidłowym obrazie ultrasonograficzny płuc.

Wszystkie badania wykonane były zgodnie z potrzebami klinicznymi i zgodnie z zasadami sztuki medycznej, na zlecenie lekarza odpowiedzialnego za leczenie pacjenta, w najlepiej pojętym interesie pacjenta i wykorzystywane były w dalszym postępowaniu diagnostyczno-terapeutycznym.

Analizie poddano wyniki 1297 badań ultrasonograficznych płuc. Badania te wykonane były u 322 pacjentów obojga płci (132 dziewczynek, co stanowi 41% całej grupy oraz 190 chłopców, co stanowi 59% pacjentów). Wiek pacjentów w chwili badania wynosił od 1 roku do 18 lat, średnia wieku analizowanej grupy

wyniosła 8,7 lat (odchylenie standardowe 5,7 lat). Maksymalna liczba badań wykonanych u jednego pacjenta wyniosła 35, a minimalna 1 badanie, średnio u jednego pacjenta wykonano 4 badania. Średnia liczba badań u dziewczynek wyniosła 3,9, a u chłopców 4,1. W tabeli 6 zestawiono liczbę badań wykonanych u jednego pacjenta z uwzględnieniem płci.

Tabela 6. Liczba badań wykonanych u jednego pacjenta z uwzględnieniem płci
Table 6. The number of examinations in one patient by gender

		Liczba pacjentów <i>number of patients</i>	Płeć żeńska <i>female</i>	Płeć męska <i>male</i>
Liczba badań <i>Number of examinations</i>	1	153	65	88
	2–5	102	41	61
	6–10	34	14	20
	11–15	19	7	12
	>15	14	5	9

4.2. PBUP – technika badania

Przekłatkowe badania ultrasonograficzne płuc wykonywane były dwoma aparatami ultrasonograficznymi: GE Logiq 7 (GE Medical Systems, Waukesha, WI, USA) i Philips iU 22 ((Philips Medical Systems, Bothell, WA, USA) z zastosowaniem głowic typu *convex* (o częstotliwości 3,5-5,0 MHz) i głowic liniowych (o częstotliwości 8,0-12,0 MHz). Wykorzystywano ustawienia wstępne aparatu (*preset*) przeznaczone do badań jamy brzusznej, które modyfikowane były każdorazowo podczas badania według aktualnych potrzeb. Wszystkie PBUP wykonywane były zgodnie ze standardami Polskiego Towarzystwa Ultrasonograficznego, które opracowane zostały przez autora pracy [106].

Każde badanie dokumentowane było w formie zapisu cyfrowego w standardowych formatach zapisu obrazu (w formacie WMV lub AVI). Ze względu na fakt, iż większość ocenianych parametrów ma charakter dynamiczny, dokumentacja fotograficzna na papierze światłoczułym ma bardzo ograniczone lub nie ma znaczenia dla udokumentowania stwierdzanych zmian.

PBUP wykonywane było w pozycji leżącej na plecach i następnie w pozycji siedzącej, jeżeli stan pacjenta na to zezwalał. W pozycji leżącej na plecach oceniano obraz płuc w dostępnych przestrzeniach międzyżebrowych na przednich i bocznych powierzchniach klatki piersiowej, a w pozycji siedzącej oceniano przednie, boczne i tylne powierzchnie płuc. W sytuacji, jeśli ze względu na stan ogólny pacjenta badanie nie było możliwe do wykonania w pozycji siedzącej, ocena tylnych powierzchni płuc dokonywana była w pozycji leżącej kolejno na

lewym i prawym boku. Taką kolejność wykonywania badania przyjęto na podstawie własnych doświadczeń celem wykluczenia w pierwszej kolejności odmy jamy opłucnej, której diagnostyka ultrasonograficzna w pozycji pacjenta na plecach jest znacznie łatwiejsza niż w pozycji siedzącej, a dodatkowo ocena wymiarów odmy jamy opłucnej standardowo wykonywane jest w tej pozycji pacjenta.

Każdorazowo badanie wykonywano zarówno głowicą typu *convex* jak i głowicą liniową, stosując przyłożenia podłużne i poprzeczne głowicy, wykorzystując przestrzenie międzyżebrowe jako okna akustyczne. Podczas każdego badania porównywano obraz ultrasonograficzny płuc po obu stronach klatki piersiowej na tej samej wysokości przyłożenia głowicy. Podczas badania ocenę płuc i opłucnej w jednej przestrzeni międzyżebrowej dokonywano w okresie minimum 3 cykli oddechowych. Całkowity czas wykonania PBUP nie przekraczał 10 min. Podobnie jak w diagnostyce za pomocą tomografii komputerowej stosowano zasadę ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*).

Szczegółowy opis techniki badania, prawidłowy obraz płuc, artefakty ultrasonograficzne i kryteria diagnostyczne wykorzystywane w PBUP omówiono w podrozdziałach od 2.1.3 do 2.5.4 a przy prezentacji poszczególnych jednostek chorobowych opisano dodatkowe aspekty badania pozwalające precyzyjnie ocenić zmiany typowe dla danego schorzenia.

4.3. Weryfikacja zmian w płucach innymi metodami obrazowymi

Celem weryfikacji zmian stwierdzanych w PBUP korzystano z wyników klasycznego badania radiologicznego klatki piersiowej i badania płuc wykonanych za pomocą tomografii komputerowej w Zakładzie Radiologii Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego, kierownik Zakładu prof. dr hab.med. Michał Studniarek. Badania te wykonane były zgodnie z potrzebami klinicznymi i zasadami sztuki medycznej w najlepiej pojętym interesie pacjenta i wykorzystywane w dalszym postępowaniu terapeutycznym.

5. DIAGNOSTYKA ULTRASONOGRAFICZNA: ODMY JAMY OPLUCNEJ, OBRZĘKU PŁUC, ZATOROWOŚCI PŁUCNEJ, ZAPALENIA PŁUC O ETIOLOGII GRZYBICZEJ

5.1. Diagnostyka ultrasonograficzna odmy jamy opłucnej u dzieci

5.1.1. Określenie, częstość występowania u dzieci

Odma jamy opłucnej definiowana jako obecność powietrza w jamie opłucnej w populacji pediatrycznej rozpoznawana jest u nielicznej grupy chorych. Uwzględniając czynniki etiologiczne wyróżnia się trzy postacie kliniczne odmy jamy opłucnej: samoistną (którą dzieli się na idiopatyczną – najczęściej stwierdzaną u młodych mężczyzn bez schorzeń układu oddechowego (sportowców), po wysiłku fizycznym, kaszlu, kichnięciu, nagłej zmianie pozycji ciała i wtórną – u pacjentów ze stwierdzoną wcześniej chorobą płuc), pourazową oraz jatrogenną (będącą powikłaniem zabiegów diagnostyczno-terapeutycznych w obszarze klatki piersiowej, czy też stosowaniem wentylacji mechanicznej).

Dostępnych jest kilkanaście publikacji prezentujących częstość występowania odmy jamy opłucnej u dorosłych i tylko pojedyncze odnośnie dzieci. Według danych amerykańskich częstość występowania samoistnej odmy jamy opłucnej w populacji ogólnej szacuje się na 5-10 przypadków na 100 000 ludności na rok, ze szczytem występowania w wieku 16-24 lata [107]. Zbliżone dane dotyczą populacji angielskiej, wśród której występowanie odmy jamy opłucnej stwierdzono z częstością 16,8 na 100 000 osób zgłaszających się do lekarza rodzinnego i 11,1 na 100 000 chorych przyjętych do szpitala w trybie pilnym. Uwzględniając płeć częstość ta była prawie trzykrotnie wyższa u mężczyzn niż u kobiet i wynosiła: 24 przypadki na 100 000 mężczyzn i 9,8 na 100 000 kobiet rocznie [108]. U dzieci kilka badań dokumentuje niską częstość występowania samoistnej odmy jamy opłucnej [109, 110, 111, 112]. Badania amerykańskie szacują częstość występowania samoistnej odmy jamy opłucnej na 1 na 10 000 dzieci i 3,4 na 10 000 niemowląt przyjętych rocznie do szpitala [109]. Kolejna praca potwierdza niską częstość występowania samoistnej odmy jamy opłucnej u dzieci prezentując dane z jednego źródła, w którym rozpoznanie samoistnej odmy jamy opłucnej postawiono u 17 pacjentów do 16 roku życia w okresie 12 lat [110]. Równie niską częstość występowania odmy jamy opłucnej u dzieci z jednego ośrodka podaje Wojsyk-Banaszak dla populacji polskiej. W analizowanym okresie 10 lat w Klinice Pneumonologii, Alergologii Dziecięcej i Immunologii Klinicznej Uniwersytetu Medycznego im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu leczonych było 27 epizodów odmy jamy opłucnej u 21 dzieci, co stanowiło 0,42% leczonych pacjentów. W 52% przypadków zmiany wystąpiły u dzieci ze współistniejącą chorobą płuc. Epizody pierwotnej samoistnej odmy jamy opłucnej stwierdzono w 37% przypadków [113]. Wyższe dane szacunkowe na podstawie metaanalizy piśmiennictwa z lat 1988-2002 podaje Shaw i wsp. określa-

jąc częstość występowania spontanicznej odmy jamy opłucnej u dzieci na 7,4-18 przypadków na 100 000 chłopców i 1,2-6 przypadków na 100 000 dziewczynek rocznie [114]. Częstość występowania jatrogennej odmy jamy opłucnej u dzieci uwzględnia kilka badań. Według danych brytyjskich na podstawie raportu Healthcare Cost and Utilization Project (HCUP) w 1997 roku jatrogenną odmę jamy opłucnej stwierdzano z częstością 0,48 na 1000 pacjentów w wieku 0-17 lat i była ona zbliżona do częstości w innych grupach wiekowych (0,42 na 1000 pacjentów w przedziale wieku 18-44 lata oraz 0,43 w wieku pomiędzy 45 a 64 rokiem życia, a nieco wyższa 0,74 w grupie pacjentów powyżej 65 roku życia) [115]. Według tego samego raportu w 1999 roku w populacji ogólnej jatrogenną odmę jamy opłucnej rozpoznano u 0,82, a w 2002 roku 0,74 na 1000 pacjentów hospitalizowanych [115]. Według danych Millera w 2000 roku jatrogenną odmę jamy opłucnej stwierdzono w Wielkiej Brytanii u 0,3 na 1000 pacjentów w wieku 0-18 lat [116]. Częstość występowania jatrogennej odmy jamy opłucnej w grupie pacjentów dorosłych w oddziale intensywnej terapii szacuje się na około 3%-4% chorych [117, 118] i jest o połowę niższa niż w latach 80. XX wieku, wówczas oceniana była na około 8% [119]. Pomimo istotnie niższej niż w latach ubiegłych częstości występowania jatrogennej odmy jamy opłucnej w tej grupie chorych nadal jest ona wysoka w grupie pacjentów mechanicznie wentylowanych i wynosi 7-14 % [120, 121], a jeszcze wyższa jest w przebiegu zespołu ostrej niewydolności oddechowej (ARDS – *acute respiratory distress syndrome*) [122, 123, 124, 125, 126]. Inwazyjne procedury diagnostyczno-terapeutyczne: zakładanie centralnego dostępu żylnego [127, 128], torakocenteza [129], bronchoskopia z biopsją przezoskrzelową płuc [117] są główną przyczyną jatrogennej odmy jamy opłucnej w tej grupie chorych.

Jedną z głównych grup ryzyka wstąpienia odmy jamy opłucnej w populacji pediatrycznej jest grupa noworodków. Szacuje się, że w tej grupie spontaniczna odma opłucnowa występuje z częstością około 1-2 % w okresie okołoporodowym i u ponad 90% tych pacjentów ma ona przebieg bezobjawowy. Tlenoterapia w tym okresie zwiększa ryzyko wystąpienia odmy do około 4,0%, a do 16% u noworodków leczonych oddechem wspomaganym w układzie nCPAP i aż do 33% u noworodków wymagających wentylacji zastępczej [130]. O ile barotrauma jest główną przyczyną odmy jamy opłucnej u noworodków, to w grupie dzieci starszych, podobnie jak w grupie pacjentów dorosłych istotniejszymi czynnikami etiologicznymi są inwazyjne procedury terapeutyczno-diagnostyczne, takie jak zakładania centralnego dostępu żylnego, czy torakocenteza [131].

5.1.2. PBUP w diagnostyce odmy jamy opłucnej u pacjentów dorosłych

Konwencjonalne badanie radiologiczne klatki piersiowej, w szczególnych przypadkach uzupełnione o badanie za pomocą tomografii komputerowej klatki

piersiowej to klasyczne badania obrazowe za pomocą, których potwierdza się rozpoznanie odmy jamy opłucnej. Obie te metody diagnostyczne wykorzystywane są zarówno w pediatrii jak i w diagnostyce pacjentów dorosłych, a badanie za pomocą TK powszechnie uważane jest za złoty standard diagnostyczny odmy jamy opłucnej. W ostatnich latach znaczenie wzrosło znacznie przezklatkowego badania ultrasonograficznego płuc w diagnostyce odmy jamy opłucnej. Dotyczy to głównie grupy chorych dorosłych w stanie zagrożenia życia, pacjentów po urazie klatki piersiowej i po zabiegach diagnostyczno-terapeutycznych w obrębie klatki piersiowej. Potwierdzone zostało to publikacją stanowiska grupy ekspertów z zakresu diagnostyki ultrasonograficznej płuc w stanach zagrożenia życia, która bardzo mocno rekomenduje PBUP do diagnostyki odmy jamy opłucnej w wymienionych wyżej grupach chorych [57]. Metaanaliza opublikowanych danych odnośnie diagnostyki odmy jamy opłucnej za pomocą PBUP przedstawiona przez Ding Wu w 2011 roku dokumentuje dużą przydatność tej metody obrazowania, oceniając czułość i swoistość PBUP jako równą lub wyższą od klasycznego badania RTG klatki piersiowej w diagnostyce odmy jamy opłucnej u pacjentów dorosłych[132].

Dane te stanowiły podstawę podjęcia prospektywnych badań nad możliwością wykorzystania PBUP w diagnostyce odmy jamy opłucnej w grupie pacjentów oddziałów hematologii i onkologii dziecięcej. Główną przyczyną odmy opłucnowej w tej grupie chorych dzieci jest powikłanie zabiegu zakładania centralnego dostępu żylnego (CDŻ) do naczyń podobojczykowych, dlatego też ta grupa pacjentów zakwalifikowana została do prospektywnych badań. Kolejnym argumentem za podjęciem tych badań był brak w dostępnym piśmiennictwie podobnych lub zbliżonych danych dla populacji pediatrycznej.

5.1.3. Pacjenci i metoda

5.1.3.1. Charakterystyka grupy

Prospektywnymi badaniami objęto grupę pacjentów leczonych w Klinice Pediatrii, Hematologii, Onkologii i Endokrynologii Dziecięcej UCK, u których wykonano zbieg założenia centralnego dostępu żylnego do naczyń podobojczykowych. Badania przeprowadzone zostały w okresie jednego roku od 1 lipca 2010 roku do 30 czerwca 2012 roku. Oceniono grupę 63 dzieci, 25 dziewczynek (39,7%) i 38 chłopców (60,3%), w wieku od 1 roku do 17 lat. Średnia wieku analizowanej grupy wyniosła 7,8 lat (odchylenie standardowe 5,0 lat). Analizie poddano wyniki 115 badań ultrasonograficznych wykonanych w tej grupie pacjentów. Liczbę badań wykonanych u jednego pacjenta w diagnostyce płuc związanej z procedurą zakładania centralnego dostępu żylnego zestawiono w tabeli 7.

Tabela 7. Liczba badań wykonanych u jednego pacjenta
Table 7. The number of examinations in one patient

Liczba badań u jednego pacjenta <i>Number of examinations in one patient</i>	Liczba pacjentów <i>number of patients</i>	Sumaryczna liczba badań <i>Total number of examinations</i>
1	22	22
2	37	74
4	2	8
5	1	5
6	1	6

Zabiegi zakładania cewników centralnych wykonywane były w dwóch ośrodkach: Uniwersyteckim Centrum Klinicznym i Pomorskim Centrum Traumatologii – Wojewódzki Szpital Specjalistyczny im. Mikołaja Kopernika w Gdańsku przez doświadczonych anestezjologów, w znieczuleniu ogólnym z dostępu przezskórnego według markerów anatomicznych. U 40 dzieci (63,5%) zabiegi te wykonane były po wstępnej ultrasonograficznej ocenie naczyń klatki piersiowej, w której uwzględniano warunki anatomiczne, średnicę żył podobojczykowych i ramiennie-głowych oraz przepływ w tych naczyniach oceniany w opcji dopplera kodowanego kolorem.

5.1.4. Diagnostyka radiologiczna

Zabiegi zakładania CDŻ wykonywane były w warunkach sali zabiegowej z możliwością monitorowania prawidłowości zabiegu i jego ewentualnych powikłań za pomocą „skopii” rentgenowskiej. Po wykonanym zabiegu położenie cewnika i obraz płuc dokumentowany był klasycznym zdjęciem RTG klatki piersiowej w pozycji leżącej. Kolejne badania RTG klatki piersiowej wykonywane były tylko w grupie pacjentów, u których badaniem ultrasonograficznym płuc rozpoznano odmę jamy opłucnej. Badania te wykonywane były przyłóżkowo lub w Zakładzie Radiologii Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego, (kierownik Zakładu prof. dr hab. med. Michał Studniarek), zgodnie z potrzebami klinicznymi i zasadami sztuki medycznej w najlepiej pojętym interesie pacjenta i wykorzystywane w dalszym postępowaniu terapeutycznym.

5.1.5. Diagnostyka ultrasonograficzna

Przeprowadzone badanie ultrasonograficzne płuc i naczyń żylnych wykonywane były zgodnie z wcześniej ustalonym protokołem. Wszystkie wstępne ba-

Badania ultrasonograficzne płuc z dostępu przez klatkę piersiową wraz z oceną żył szyjnych i podobojczykowych przed zabiegiem implantacji cewnika centralnego (40/115 badań, co stanowi 34,8% wszystkich badań) wykonywane były w Pracowni Diagnostyki Ultrasonograficznej i Biopsyjnej, Kliniki Pediatrii, Hematologii i Onkologii Dziecięcej Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego. Badania kontrolne po założeniu CDŻ wykonywane były przyłóżkowo lub w Pracowni Diagnostyki Ultrasonograficznej i Biopsyjnej, Kliniki Pediatrii, Hematologii i Onkologii Dziecięcej Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego. 25/75 badań (33,3%) po założeniu cewnika centralnego wykonanych zostało przyłóżkowo. Wskazania do badań przyłóżkowych ustalane były każdorazowo przez lekarza bezpośrednio odpowiedzialnego za leczenie pacjenta. W przypadku, gdy zabieg założenia CDŻ wykonywany był w Uniwersyteckim Centrum Klinicznym badanie odbywało się w dniu zabiegu, w czasie od 1 do 2 godz. po jego zakończeniu lub bezpośrednio po powrocie dziecka z Centrum Traumatologii. W tych przypadkach był to dzień następny po implantacji cewnika.

Dane odnośnie techniki badania, zastosowanego sprzętu i lekarzy wykonujących badanie omówiono w podrozdziale 4.2 „PBUP – technika badania”.

5.1.6. PBUP – kryteria i objawy ultrasonograficzne wykorzystywane w diagnostyce odmy jamy opłucnej

Uzyskiwane podczas badań obrazy analizowano w aspekcie obecności ultrasonograficznych kryteriów potwierdzających, bądź wykluczających obecność odmy jamy opłucnej. W pracy kryteria te przyjęto zgodnie z kryteriami stosowanymi w diagnostyce pacjentów dorosłych, poszerzając je o modyfikacje własne dla pacjentów pediatrycznych, które zostały omówione poniżej.

5.1.6.1. Ultrasonograficzne kryteria wykluczające odmę jamy opłucnej

Za ultrasonograficzne kryteria wykluczające rozpoznanie odmy jamy opłucnej przyjęto:

1. obecność objawu ślizgania linii opłucnej (*lung sliding*) [24],
2. obecność ultrasonograficznych artefaktów linii B [28], obecność ultrasonograficznych artefaktów linii Z i artefaktów linii I (modyfikacja własna),
3. stwierdzenia objawu określanego w języku angielskim jako *lung pulse* [133].

5.1.6.2. Ultrasonograficzne kryteria potwierdzające obecność odmy jamy opłucnej

Za ultrasonograficzne kryteria diagnostyczne potwierdzające rozpoznanie obecności odmy jamy opłucnej przyjęto:

4. obecność wzorca zmian określanych jako profil A' (*A prim*), zgodnie z kryteriami ustalonymi przez Daniela Lichtensteina w protokole diagnostycznym "*BLUE protocol*" [28],
5. stwierdzenie objawu określanego jako "*lung point*" [134],
6. stwierdzenie objawu "*double lung point*" [31].

Ultrasonograficzne kryteria i objawy wykorzystywane w diagnostyce odmy jamy opłucnej definiowane są następująco:

Ad. 1. Objaw ślizgania linii opłucnej (*lung sliding*).

Jest to ultrasonograficzny artefakt dynamiczny, który powstaje na tzw. linii opłucnej (*plural line*), na którą w warunkach fizjologicznych składają się opłucna ścienna, opłucna płucna i niewielka objętość płynu między tymi błonami. Linia opłucnej widoczna jest na ekranie monitora jako silnie hiperechogenna linia przemieszczająca się ku górze i do dołu zgodnie ze zmianą objętości powietrza w płucach. Ruch tej hiperechogenicznej linii określanym jest mianem objawu ślizgania linii opłucnej. Ze względu na swój dynamiczny charakter konieczna jest jego ocena w czasie rzeczywistym [24]. W przypadku trudności w uwidocznieniu objawu ślizgania linii opłucnej, wykorzystuje się objaw *power/color doppler sign* obecny podczas obrazowania linii opłucnej za pomocą opcji dopplera kodowanego kolorem lub dopplera mocy [135]. Dokumentacja fotograficzna objawu ślizgania opłucnej na papierze światłoczułym powinna być dokonana za pomocą obrazowania w opcji *M-mode* [136].

Ad. 2. Obecność ultrasonograficznych artefaktów linii B, linii Z i linii I.

Jest to grupa artefaktów ultrasonograficznych obserwowanych w PBUP, które powstają na linii opłucnej i tylko wówczas można je uwidocznnić, gdy widoczna jest linia opłucnej. W przypadku odmy jamy opłucnej linia opłucnej nie jest widoczna i artefaktów tych nie obserwujemy. Artefakty linii B: to pionowe, hiperechogenne linie, powstające na linii opłucnej, widoczne na całej długości ekranu i przemieszczające się zgodnie z ruchami opłucnej płucnej. Uważa się, że artefakty te generowane są przez obecność niewielkiej objętości płynu pod opłucną płucną, najczęściej w przegrodach międzyplacikowych (artefakt powietrze-woda). Do chwili obecnej pomimo nie do końca wyjaśnionej ich etiopatogenezy większość autorów uznaje je za artefakty rewerberacji [25, 26, 38]. Artefakty linii Z mają bardzo podobny obraz do artefaktów linii B. Uważa się, że są to artefakty ogona komety. Widoczne są jako pionowe hiperechogenne linie, rozpoczynające się na linii opłucnej. Różnią się od artefaktów linii B tym, że kończą się w około 1/3-1/2 długości ekranu, nie dochodząc do jego granic. Arte-

fakty te w przeciwieństwie do artefaktów linii B nie „wymazują” artefaktów linii A, przy obrazowaniu głowicą typu *convex* lub sektorową. Znaczenie praktyczne obecności tego artefaktu nie jest jednoznacznie określone, lecz w pierwotnych założeniach nadano mu literę Z, jako ostatnią z liter alfabetu sugerując brak znaczenia klinicznego [26]. Mechanizm powstawania tych artefaktów nie został jeszcze w pełni wyjaśniony. Artefakty linii I, podobnie jak dwa powyższe, mają charakter artefaktów ogona komety, powstają na linii opłucnej, mają około 1-3 cm długości i nie wymazują artefaktów linii A przy obrazowaniu głowicą typu *convex* lub sektorową. W chwili obecnej uważa się, że artefakty te nie mają znaczenia diagnostycznego [136].

Pomimo, że w diagnostyce pacjentów dorosłych tylko artefakty linii B mają jednoznacznie określone znaczenie diagnostyczne, to fakt, iż artefakty linii Z i artefakty linii I powstają na linii opłucnej wydaje się być wystarczającym argumentem za wykorzystaniem także ich w diagnostyce odmy jamy opłucnej. Kolejnym argumentem za korzystaniem z obu tych artefaktów w badaniach pediatrycznych jest fakt, że badania te znacznie częściej niż u dorosłych wykonywane są z zastosowaniem głowic liniowych o wysokiej częstotliwości (10-15 MHz). Otrzymujemy wówczas bardziej dokładny obraz linii opłucnej i oba te artefakty są znacznie częściej i lepiej widoczne niż w obrazowaniu głowicami typu *convex* czy sektorową. Z tych względów obecność lub brak tych artefaktów zaliczono do kryteriów diagnostycznych odmy jamy opłucnej (modyfikacja własna).

Ad. 3. *Lung pulse* – to angielskie określenie dynamicznego objawu ultrasonograficznego powstającego jako efekt przeniesienia tętnienia serca na linię opłucnej przez przylegający do osierdzia obszar konsolidacji tkanki płucnej. Obecność tego objawu wyklucza ze 100% pewnością odmě jamy opłucnej [133].

Ad. 4. Stwierdzenie wzorca zmian określanego jako profil A’.

Odpowiada on obecności powietrza w jamie opłucnej. Charakteryzuje się obecnością tylko artefaktów linii A przy jednoczesnym braku objawu ślizgania linii opłucnej. Różni się on od wzorca zmian określanego jako profil A (określającego obraz prawidłowy płuc) brakiem objawu ślizgania opłucnej. Artefakty linii A: to poziome, miernie hiperechogenne linie, równoległe do linii opłucnej, powtarzające się w tej samej odległości od siebie do granicy ekranu. W warunkach prawidłowych artefakty te powstają na linii opłucnej. Są artefaktami rewerberacji pojawiającymi się jako efekt wielokrotnego odbicia fali ultradźwiękowej na granicy pomiędzy powietrzem w pęcherzykach płucnych pod opłucną płucną a ścianą klatki piersiowej [137]. W przypadku odmy jamy opłucnej istota powstawania artefaktów linii A jest dokładnie taka sama, lecz granica, na której się pojawiają jest inna, a stanowi ją opłucna ścienna i powietrze w jamie opłucnej. Artefakty linii A będąc podstawowymi artefaktami obrazu prawidłowego płuc w PBUP, paradoksalnie są jednocześnie jednym z podstawowych objawów stwierdzanych w odmie jamy opłucnej. Uwidocznienie profilu zmian, na który

składają się tylko artefakty linii A, brak artefaktów linii B, linii Z, linii I i brak objawu ślizgania opłucnej potwierdza rozpoznanie odmy jamy opłucnej [29].

Ad. 5. Lung point – to objaw ultrasonograficzny wyznaczający granicę pomiędzy komorą odmową a prawidłowo powietrznym płucem [134].

Objaw ten jest efektem przybliżania się do ściany klatki piersiowej zapadniętego płuca w wyniku nieznacznego wzrostu jego objętości podczas wdechu. Na ekranie monitora widoczna jest wówczas granica pomiędzy prawidłowym obrazem płuca (profil A), a obrazem określanym jako profil A' (widoczne są tylko artefakty linii A, bez widocznego objawu ślizgania opłucnej).

Uwidocznienie tzw. *lung point* możliwe jest również w opcji *M-mode*, stwierdza się wówczas dwa graniczące ze sobą objawy ultrasonograficzne: objaw brzegu morskiego (*seashore sign*)*, jako obraz prawidłowy płuca i objaw kodu paskowego (*stratosphere sign*** potwierdzający obecność odmy jamy opłucnej [96].

**Seashore sign* – objaw brzegu morskiego, widoczny podczas obrazowania w opcji *M-mode*, określa prawidłowy obraz płuc. Charakteryzuje się on brakiem ruchu widocznym powyżej linii opłucnej pod postacią kilku równoległe układających się poziomych linii i jednorodnie ziarnistym wzorcem odbić poniżej tej linii, jako efekt przemieszczania się zgodnie z akcją oddechową struktur położonych poniżej linii opłucnej.

***Stratosphere sign* – w języku polskim określony jako objaw stratosfery, lub objaw kodu paskowego, widoczny podczas obrazowania w opcji *M-mode*, na który składają się tylko liczne poziome linie, bez widocznej linii opłucnej. Stwierdza się go w przypadku ujemnego objawu ślizgania. Odpowiada całkowitemu zniesieniu ruchomości opłucnej w ocenianym obszarze.

Ad. 6. Double lung point – podobnie jak *lung point*, objaw ten wyznacza granicę pomiędzy komorą odmową a prawidłowo powietrznym płucem, lecz obserwowany jest tylko i wyłącznie przy małych rozmiarach komory odmowej [31]. Najlepiej widoczny jest z poprzecznego przyłożenia głowicy liniowej, a na obserwowany obraz składa się centralnie widoczny obszar zmian o profilu A', a po obu jego stronach widoczny jest *lung point* (obserwacje własne autora).

5.1.6.3. Ocena wielkości odmy jamy opłucnej w PBUP

W pracy korzystano z ogólnie przyjętych założeń do oceny wielkości odmy jamy opłucnej opracowanych dla pacjentów dorosłych. Markerem, który pozwala określić wielkość odmy jamy opłucnej jest *lung point*. W zależności od miejsca jego lokalizacji na klatce piersiowej możemy bardzo orientacyjnie oszacować jej wielkość. Uważa się, że jeżeli stwierdzany jest on na przedniej ścianie klatki piersiowej jest to odma mała. Lokalizacja *lung point* na bocznej ścianie klatki piersiowej do wysokości linii pachowej środkowej upoważnia do rozpoznania odmy średniej, a poniżej tej linii rozpoznaje się odmę dużą [39]. Nieroz-

wiązaną kwestią jest brak możliwości uwidocznienia *lung point*. W ocenie pacjentów dorosłych przyjmuje się, że w takiej sytuacji konieczna jest dalsza diagnostyka za pomocą badania TK klatki piersiowej [57].

5.1.7. Analiza statystyczna

Sporządzono standardowe statystyki opisowe analizowanych parametrów. Do porównania wartości diagnostycznej badanych metod obliczono czułość, specyficzność, wartości predykcyjne wyników dodatnich i ujemnych oraz wartość testu chi-kwadrat McNemar'a. Ze względu na małą liczebność wyników dodatnich użyto formy dokładnej (*exact*) testu McNemar'a. Oceniono zgodność wyników uzyskanych przy pomocy badanych metod diagnostycznych oraz obliczono współczynnik zgodności kappa wg Cohena. Wartość współczynnika kappa interpretowano według kryteriów Landisa i Kocha, zgodnie, z którymi wartości < 0 oznaczają brak zgodności, 0-0,20 wskazują na minimalną zgodność, 0,21-0,40 słabą zgodność, 0,41-0,60 umiarkowaną zgodność, 0,61-0,80 wysoką zgodność, zaś 0,81-1 na zgodność niemal idealną. Za poziom istotności statystycznej w pracy przyjęto $\alpha=0,05$. Analizę przeprowadzono przy pomocy pakietu statystycznego STATA 12 firmy StataCorp LP (Stany Zjednoczone Ameryki Północnej, 2011 r.).

5.1.8. Wyniki

W analizowanej grupie pacjentów z rozpoznaniem lub podejrzeniem choroby nowotworowej jatrogenną odmę jamy opłucnej rozpoznano u 4 z 63 pacjentów (6,3%). We wszystkich przypadkach była ona konsekwencją procedur związanych zakładaniem cewnika centralnego. Szczegółowe dane zestawiono w tabeli 8.

Tabela 8. Charakterystyka pacjentów z rozpoznaniem jatrogennej odmy jamy opłucnej
Table 8. Characteristics of patients with iatrogenic pneumothorax

Pacjent <i>Patient</i>	Płeć <i>Gender</i>	Wiek (lat) <i>Age (years)</i>	Rozpoznanie <i>Diagnosis</i>	Strona <i>Side</i>
1	m/m	15	ALL	prawa/ <i>right</i>
2	ż/f	6	DRESS	lewa/ <i>left</i>
3	m/m	9	ALL/BMT	lewa/ <i>left</i>
4	m/m	10	ALL	lewa/ <i>left</i>

U 3 pacjentów PBUP (N=63) było pierwszym badaniem obrazowym, w którym rozpoznano odmę jamy opłucnej, a w jednym było kolejnym badaniem obrazowym, w którym potwierdzono jej obecność po wcześniej wykonanym badaniu TK klatki piersiowej. W tym przypadku rozpoznanie odmy jamy opłucnej w PBUP postawiono przed otrzymaniem wyniku badania TK przez lekarza leczącego. W grupie pacjentów, u których w PBUP rozpoznano odmę jamy opłucnej, w dwóch przypadkach potwierdzono jej obecność badaniem RTG klatki piersiowej i w obu zastosowano drenaż jamy opłucnowej. W jednym przypadku (pacjent nr 2) ze względu na niewielkie wymiary komory odmowej odstąpiono od badania RTG klatki piersiowej monitorując zmiany tylko za pomocą PBUP. Prawidłowy obraz ultrasonograficzny płuc stwierdzono w czwartej dobie obserwacji. W tabeli 9 zestawiono wyniki badań PBUP z wynikami badań RTG płuc.

Tabela 9. Porównanie wyników PBUP z wynikami RTG klatki piersiowej
Table 9. Comparison of the results of lung ultrasound with chest X-ray

Metoda badania <i>Type of study</i>	Odma jamy opłucnej <i>Pneumothorax</i>	Norma <i>Norm</i>
PBUP wykonane po implantacji CDŻ <i>Lung ultrasound after implantation of central venous access</i>	4/63	59/63
RTG klatki piersiowej wykonane po implantacji CDŻ <i>Chest X-ray made after implantation of central venous access</i>	1/63	62/63
RTG klatki piersiowej wykonane po PBUP, w którym rozpoznano odmę jamy opłucnej <i>Chest X-ray made after lung ultrasound in which pneumothorax was diagnosed</i>	2/2	0/2

W jednym przypadku PBUP wykonane było przyłożkowo (pacjent nr 1), a w trzech w Pracowni USG. Odstęp czasowy pomiędzy wykonaniem PBUP a zakończeniem procedur związanych z CDŻ wynosił od 1 do 2 godzin w przypadkach pacjentów zaopatrywanych w ACK. U dwóch pacjentów, u których CDŻ zakładano w Centrum Traumatologii czas ten wynosił 30 i 36 godzin. Średni czas, w którym postawiono rozpoznanie odmy jamy opłucnej za pomocą PBUP analizowany na podstawie nagranych sekwencji badań na dysku twardym aparatu ultrasonograficznego. Analizowano czas od pierwszej nagranej sekwencji do momentu uwidocznienia typowych dla odmy jamy opłucnej objawów ultrasonograficznych. W analizowanej grupie czas ten nie przekraczał 25 sekund. Całko-

wity czas wykonania PBUP w grupie chorych z rozpoznaniem jatrogennej odmy jamy opłucnej analizowany od pierwszej do ostatniej nagranej sekwencji nie przekraczał 3 min.

Obraz ultrasonograficzny stwierdzanych zmian w kontekście ultrasonograficznych kryteriów rozpoznania odmy jamy opłucnej zestawiono w tabeli 10.

Tabela 10. Porównanie obrazu prawidłowego i odmy jamy opłucnej w analizowanej grupie pacjentów, z uwzględnieniem objawów i artefaktów ultrasonograficznych potwierdzających i wykluczających rozpoznanie odmy jamy opłucnej

Table 10. Comparison of normal image and pneumothorax in the study group regarding sonographic signs and artifacts confirming and excluding the diagnosis of pneumothorax

	N = liczba przypadków	
	Pacjenci z obrazem prawidłowym <i>Normal image (N = 59)</i>	Pacjenci z odmą jamy opłucnej <i>Pneumothorax (N = 4)</i>
Objaw ślizgania linii opłucnej <i>Lung sliding</i>	59	0
Artefakt linii B <i>B-line artifact</i>	5	0
Artefakt linii Z lub I <i>Z or I-line artifact</i>	59	0
Profil A' <i>A' profile</i>	0	4
Lung point <i>Lung point</i>	0	2
Double lung point <i>Double lung point</i>	0	2
Lung pulse <i>Lung pulse</i>	0	0

W analizowanej grupie pacjentów z rozpoznaniem jatrogennej odmy jamy opłucnej w PBUP uwidoczniło wszystkie typowe kryteria potwierdzające obecność odmy jamy opłucnej: brak objawu ślizgania opłucnej, profil zmian określany jako profil A' i tzw. *lung point*. Na podstawie lokalizacji tego ostatniego objawu w dwóch przypadkach sugerowano obecność dużej odmy jamy opłucnej wymagającej terapii zabiegowej (pacjent nr 1, pacjent nr 3), a u kolejnych dwóch pacjentów (pacjent nr 2, pacjent nr 4) rozpoznano małą odmę jamy

opłucnej, ograniczoną do przedniej powierzchni klatki piersiowej z widocznym objawem *double lung point*. Zmiany te obserwowane były po stronie wykonywanych procedur związanych z CDŻ. U jednego pacjenta stwierdzone zmiany dotyczyły strony prawej, a u trzech strony lewej, nie uwidoczniło różnicy w obserwowanych kryteriach diagnostycznych. W grupie pacjentów, u których obraz płuc w PBUP oceniono jako prawidłowy nie uwidoczniło, żadnego z kryteriów potwierdzających obecność odmy jamy opłucnej, a obecne były wszystkie kryteria uznane za wykluczające odmy jamy opłucnej.

Analiza statystyczna – wyniki

Metodami statystycznymi oceniono wartość diagnostyczną PBUP oraz RTG klatki piersiowej w analizowanej grupie, wyniki przedstawia tabela 11.

Tabela 11. Ocena wartości diagnostycznej PBUP oraz RTG. Liczby w nawiasach oznaczają 95% przedział ufności

Table 11. Analysis of the diagnostic value of lung US and chest X-ray. The values in parentheses are 95% confidence intervals

	PBUP <i>Lung US</i>	RTG <i>Chest X-ray</i>
Czułość <i>Sensitivity</i>	100% (39,8-100)	25% (0,6-80,6)
Specyficzność <i>Specificity</i>	100% (93,9-100)	100% (93,9-100)
Wartość predykcyjna dodatnia <i>Positive predictive value</i>	100% (39,8-100)	100% (2,5-100)
Wartość predykcyjna ujemna <i>Negative predictive value</i>	100% (93,9-100)	92,5% (86,5-99)

W przebadanym materiale czułość, specyficzność oraz wartości predykcyjne (dodatnia i ujemna) dla badania PBUP wyniosły 100%. Szerokość 95% przedziału ufności dla specyficzności oraz wartości predykcyjnej ujemnej była akceptowalna. Bardzo szeroki był natomiast zakres wartości stanowiących 95% przedział ufności dla czułości oraz wartości predykcyjnej wyników dodatnich. Wynika on z relatywnie niskiej częstości występowania odmy jamy opłucnej w badanym materiale.

Dla badania RTG obserwowano porównywalne lub nieco niższe wartości specyficzności oraz wartości predykcyjnej wyników ujemnych. Szerokość 95% przedziałów ufności była akceptowalna. Czułość wyniosła 25%, zaś dodatnia

wartość predykcyjna 100%. Analogicznie jak dla PBUP, szerokość 95% przedziałów ufności dla czułości i dodatniej wartości predykcyjnej była zbyt duża, aby pozwolić na precyzyjne oszacowanie prawdziwej ich wartości w populacji oraz na porównanie ich pomiędzy metodami.

Pomimo znacznej różnicy w czułości (100% dla PBUP, 25% dla RTG), wynik testu McNemara, dla którego wartość $p=0,250$ (tabela 12), nie daje podstawy do uznania przewagi jednej metody nad drugą. Należy zwrócić jednak uwagę, że ze względu na małą liczebność wyników dodatnich istnieje jednak ryzyko popełnienia błędu statystycznego drugiego rodzaju.

Zgodność rozpoznań oraz wartość współczynnika zgodności kappa dla obu ocenianych metod diagnostycznych przedstawia tabela 12. Obserwowana w badanym materiale zgodność rozpoznań wyniosła 95,2%. Zakładając jednak, że częstość występowania wyników pozytywnych będzie niska, oczekiwana zgodność powinna wynosić 92,3%. Stąd wynika niska wartość współczynnika zgodności kappa (0,38), który jest skorygowaną, bardziej wiarygodną miarą zgodności rozpoznań stawianych przy pomocy porównywanych metod diagnostycznych.

Tabela 12. Statystyczna ocena zgodności wyników PBUP oraz RTG. W nawiasie 95% przedział ufności.

Table 12. Statistical analysis of the agreement between lung US and chest X-ray. The values in parentheses are 95% confidence intervals.

	PBUP vs RTG <i>Lung US vs X-ray</i>
Test McNemara (dokładny) <i>McNemar's test (exact)</i>	$p=0,250$
Zgodność obserwowana <i>Agreement</i>	95,2%
Zgodność oczekiwana <i>Expected agreement</i>	92,3%
Kappa wg Cohena <i>Cohen's Kappa</i>	0,38 (0,19-0,58)

5.1.9. Dodatkowe zmiany stwierdzone w płucach w PBUP u pacjentów ocenianych celem wykluczenia odmy jamy opłucnej

Dokonując oceny ultrasonograficznej płuc wykazano u 3 chorych obecność zmian w obrębie płuc, które nie pozostawały w bezpośrednim związku z rozpo-

znaniem odmy jamy opłucnowej. U pacjentki (nr 2) obraz ultrasonograficzny płuc sugerował ostre uszkodzenie płuc (*ALI – acute lung injury*), potwierdzone przebiegiem klinicznym i rozpoznaniem podstawowym zespołu DRESS (*Drug Reaction (or Rash) with Eosinophilia and Systemic Symptoms*). U kolejnego chłopca (pacjent nr 4) po próbie założenia CDŻ do naczyń podobojczykowych po obu stronach klatki piersiowej stwierdzono dodatkowo ultrasonograficzne cechy sugerujące stan po krwawieniu do prawej jamy opłucnowej i do śródpiersia przedniego. W pierwszym przypadku zmiany te korelowały z wynikiem badania RTG klatki piersiowej wykonanym przed założeniem cewnika centralnego, w kolejnym potwierdzone zostały za pomocą badania TK klatki piersiowej.

5.1.10. Dyskusja

Pierwszym lekarzem, który zaproponował termin odma jamy opłucnej dla obecności powietrza w jamie opłucnej był Itard. Uczynił to w 1803 roku, będąc wówczas uczniem twórcy stetoskop Laenneca [138], który to w 1819 roku opisał objawy kliniczne odmy jamy opłucnej [139]. Do dnia dzisiejszego nie straciły one swojej aktualności i stanowią nadal podstawę badania podmiotowego i przedmiotowego w diagnostyce tej jednostki chorobowej. Pomimo dobrze znanych objawów klinicznych odmy jamy opłucnej i uwzględnianiu tego rozpoznania w diagnostyce różnicowej u dziecka z dusznością, rozpoznanie u niego odmy jamy opłucnej często zaskakuje klinicystów. Potwierdza to tezę, iż odma jamy opłucnej w populacji pediatrycznej rozpoznawana jest znacznie rzadziej niż w populacji dorosłej. Różnica w częstości występowania samoistnej odmy jamy opłucnej pomiędzy tymi grupami jest znaczna i pomimo, że dostępne są tylko pojedyncze publikacje odnośnie epidemiologii odmy jamy opłucnej u dzieci, dane z ośrodków amerykańskich upoważniają do stwierdzenia, że w populacji dorosłej jej częstość występowania jest około 100 krotnie wyższa niż w populacji pediatrycznej [107, 109].

„Złotym standardem” diagnostyki obrazowej odmy jamy opłucnej jest badanie klatki piersiowej za pomocą tomografii komputerowej, a w codziennej praktyce pierwszym wykonywanym badaniem obrazowym jest klasyczne badanie radiologiczne klatki piersiowej.

Należy zadać sobie pytanie czy w sytuacji, gdy szacowana częstość występowania odmy jamy opłucnej u dzieci jest tak niska, a dostępność badania RTG klatki piersiowej tak szeroka, przy jednocześnie coraz powszechniejszej dostępności do badania za pomocą tomografii komputerowej, istnieje potrzeba rozwijania dodatkowej metody diagnostycznej jaką jest przezklatkowe badanie ultrasonograficzne płuc? Wydaje się, że odpowiedź na tak postawione pytanie jest bardzo prosta. Jeżeli w analizie częstości występowania odmy jamy opłucnej uwzględni się tylko rozpoznanie jej jatrogennej postaci, oraz odmy jamy opłucnowej rozpoznawanej na oddziałach intensywnej terapii (OIT), to częstość jej

występowania w populacji pediatrycznej i dorosłej kształtuje się zupełnie inaczej niż w analizie całkowitej częstości występowania odmy jamy opłucnej. Okazuje się, że częstość rozpoznawania jatrogennej odmy jamy opłucnej w obu tych grupach jest zbliżona i szacowana na: 0,48 na 1000 pacjentów w wieku 0-17 lat i 0,43 na 1000 pacjentów w wieku 18-64 lat [115].

Podobnie jest z częstością z jaką rozpoznaje się odmę jamy opłucnej u pacjentów w oddziałach intensywnej terapii, która wynosi około 3-4 % przypadków [117, 118] i jest zbliżona w obu populacjach, przy uwzględnieniu grupy noworodków w populacji pediatrycznej [130]. Uwzględniając te dane epidemiologiczne stwierdzić należy, że przy tak niskiej liczbie przypadków rozpoznawania odmy jamy opłucnej w ogólnej populacji pediatrycznej wprowadzanie nowej techniki obrazowej nie ma większego uzasadnienia. Jednakże, jeżeli uwzględnimy pacjentów oddziałów intensywnej terapii dziecięcej, czy oddziałów pediatrycznych o podobnym profilu chorych, których transport do gabinetu diagnostyki radiologicznej może być z wielu przyczyn ograniczony, jaki i grupę dzieci po zabiegach interwencyjnych w obrębie klatki piersiowej, to wydaje się, że wprowadzenie do codziennej praktyki metody diagnostycznej, która pozwala w sposób bezpieczny, szybki i skuteczny rozpoznać odmę jamy opłucnej u dzieci powinno mieć miejsce.

Wykorzystanie ultradźwięków w diagnostyce odmy jamy opłucnej nie jest zagadnieniem nowym. Pierwsza publikacja o możliwości ich zastosowania u człowieka ukazała się 25 lat temu. Wernecke i wsp. opisali wówczas podstawowe kryteria umożliwiające rozpoznanie odmy jamy opłucnej [140], wykorzystując doświadczenia Rantanena, który rok wcześniej przedstawił obraz ultrasonograficzny odmy jamy opłucnej u koni [141]. Do pierwszych publikacji Lichtensteina z drugiej połowy lat 90. XX wieku, ultrasonograficzna ocena odmy jamy opłucnej nie była praktycznie wykonywana. Jego prace nie tylko usystematyzowały objawy i artefakty ultrasonograficzne, które obecnie stanowią podstawę diagnostyki ultrasonograficznej odmy jamy opłucnej, ale miały duży wpływ na rozwój ultrasonografii płuc u pacjentów w stanach zagrożenia życia. Jeszcze wcześniej, bo już w 1990 roku Targhetta i wsp. jako pierwsi opisali obraz ultrasonograficzny odmy jamy opłucnej w grupie 28 chorych i porównali go ze 100 osobową grupą kontrolną [142], a w 1992 roku jako pierwsi zaproponowali wykorzystanie PBUP w diagnostyce jatrogennej odmy jamy opłucnej u pacjentów bezpośrednio po zabiegu biopsji aspiracyjnej zmian w płucach [143].

O ile obecnie zagadnienie to wraz z możliwością monitorowania zabiegu biopsji płuca za pomocą PBUP jest stosunkowo szeroko omówione w piśmiennictwie, to dostępne są tylko pojedyncze publikacje odnośnie możliwości wykorzystania PBUP w diagnostyce powikłań płucnych po zabiegu założenia centralnego dostępu żylnego [144, 145]. W tych dwóch najczęściej cytowanych publikacjach liczba rozpoznanych za pomocą PBUP przypadków jatrogennej odmy jamy opłucnej po zabiegu założenia CDŻ do naczyń podobojczykowych jest bardzo mała i dotyczy tylko 37 przypadków (Maury – 1 pacjent, Kreuter – 36

pacjentów). W dostępnym piśmiennictwie nie znaleziono żadnej publikacji o możliwości wykorzystania PBUP w diagnostyce powikłań płucnych po implantacji cewnika centralnego u dzieci.

W prezentowanej grupie czułość i swoistość PBUP w diagnostyce powikłań płucnych po zabiegu założenia CDŻ wyniosła 100%. Takie same wyniki przedstawia Kreuter i wsp. odnośnie pacjentów dorosłych [145]. Dodatkowo w analizowanej grupie dzieci czułość PBUP była nieco wyższa niż konwencjonalnego badania RTG klatki piersiowej wykonanego bezpośrednio po procedurze założenia cewnika. Być może różnica w czasie od zakończenia procedury założenia CDŻ do wykonania badania obiema technikami miała wpływ na otrzymane wyniki, a byłyby one porównywalne gdyby badanie RTG było wykonane ponownie po około 1 do 2 godzin od zabiegu. Zważywszy, że większość przypadków odmy jamy opłucnej po procedurach zabiegowych ujawnia się w okresie pierwszych trzech godzin po ich zakończeniu. Prawdopodobnie z tego powodu u trójga naszych pacjentów obraz RTG płuc bezpośrednio po zabiegu oceniono jako prawidłowy, pomimo, iż w jednym przypadku była to odma prężna (pacjent nr 1). W jednym przypadku (pacjent nr 2) w PBUP rozpoznano odmę małą, najpewniej odpowiadającą tzw. odmie niemej radiologicznie. W tym przypadku wpływ na wynik badania radiologicznego miała najpewniej pozycja leżąca dziecka na plecach podczas ekspozycji. Badanie RTG wykonane w tej pozycji pacjenta ma istotny wpływ na możliwość uwidocznienia małej komory odmowej [45]. Dodatkowo należy podkreślić, że zgodnie z danymi innych autorów niezależnie od pozycji pacjenta podczas badania RTG klatki piersiowej część przypadków odmy jamy opłucnej pozostaje nierozpoznana w tej technice obrazowania [101, 102].

Podkreślić należy, iż w prezentowanych czterech przypadkach jatrogennej odmy jamy opłucnej rozpoznanej badaniem ultrasonograficznym prawidłowo oceniono jej rozmiar na podstawie lokalizacji tzw. *lung point*. W trzech przypadkach odpowiadała rozmiarowi odmy opłucnowej w badaniach radiologicznych: w badaniu RTG (2 przypadki) i w badaniu TK (1 przypadek). W jednym przypadku (pacjent nr 2) zrezygnowano z kolejnego badania RTG, ze względu na małe wymiary komory odmowej. Monitorowano jej wielkość tylko za pomocą PBUP. Prezentowany przypadek pacjenta (pacjent nr 1) jest również pierwszym opisującym możliwość rozpoznania jatrogennej odmy jamy opłucnej za pomocą PBUP wykonanego przyłożkowo u dziecka.

Praca własna ma kilka istotnych ograniczeń, do których zaliczyć należy małą liczebnie grupę badanych dzieci. Brak badań tomograficznych klatki piersiowej jako referencyjnej metody obrazowej dla odmy jamy opłucnej. Kolejnym jest czas wykonania pierwszego PBUP, które powinno być wykonane bezpośrednio po zabiegu i czas wykonania badania RTG klatki piersiowej, które optymalnie powinno być wykonane około 1 do 3 godzin po zakończonym zabiegu.

Jednakże, jest to pierwsza publikacja o możliwości wykorzystania PBUP w diagnostyce przypadków jatrogennej odmy jamy opłucnej u dzieci i druga pod

względem liczby prezentowanych pacjentów w dostępnym piśmiennictwie. Niestety w naszym ośrodku tylko w przypadku trudności z założeniem CDŻ zabieg ten monitorowany jest ultrasonograficznie na prośbę lekarza wykonującego zabieg. W analizowanym okresie sytuacja taka miała miejsce dwukrotnie i w obu CDŻ pod kontrolą USG założono bez powikłań. Wydaje się, że potencjalne ograniczenie pracy jakim jest rutynowe wykonywanie badania TK jako metody referencyjnej w diagnostyce jatrogennej odmy jamy opłucnej w przypadku dzieci nie ma żadnego uzasadnienia.

5.1.11. Wnioski

1. PBUP jest bardzo skuteczną metodą w diagnostyce jatrogennej odmy jamy opłucnej u dzieci.
2. Uwzględniając dane odnośnie populacji pacjentów dorosłych i prezentowane powyżej własne doświadczenia wydaje się, że przekłatkowe badanie ultrasonograficzne płuc może z powodzeniem być stosowane w diagnostyce odmy jamy opłucnej w populacji pediatrycznej.
3. Celem potwierdzenia tej koncepcji konieczne są jednak wielośrodkowe badania na znacznie większej liczbie grupie dzieci.

5.2. Możliwości wykorzystania PBUP w diagnostyce obrzęku płuc u dzieci z chorobą nowotworową

Obrzęk płuc u dzieci podobnie jak i u dorosłych może wystąpić w przebiegu licznych chorób, jednakże z patofizjologicznego punktu widzenia do jego rozwoju prowadzą tylko dwa procesy: zmiana rozkładu ciśnień w mikrokrażeniu płucnym (wzrost ciśnienia w mikrokrażeniu płucnym, lub wysokie ciśnienie w przestrzeni śródmiąższowej płuc) i wzrost przepuszczalności naczyń mikrokrażenia płucnego (z różnych przyczyn). W określonych sytuacjach klinicznych obrzęk płuc może być wywołany jednym z tych procesów lub ich kombinacją. Pierwszy proces dotyczy najczęściej pacjentów z przewlekłą niewydolnością serca lub z obrzękiem płuc w przebiegu wtórnej hiperperfuzji, drugi jest podstawą zmian obserwowanych w przebiegu zespołu ostrej niewydolności oddechowej (ARDS – *acute respiratory distress syndrome*). Wspólnym mianownikiem dla obu tych sytuacji klinicznych jest zjawisko kumulacji nadmiaru wody w płucach. Zgodne jest to z uproszczoną definicją obrzęku płuc. Według, której definiowany jest on jako wzrost całkowitej objętości wody w płucach i występuje w momencie, gdy objętość płynu przemieszczającego się z naczyń mikrokrażenia płucnego do przestrzeni śródmiąższowej płuc przekroczy zdolność układu

limfatycznego płuc do jej usuwania z tego obszaru. Kumulacja wody płucach możliwa jest w dwóch kompartmentach: w przestrzeni śródmiąższowej i przestrzeni pęcherzykowej płuc, które istotnie różnią się swoją pojemnością. U dorosłego człowieka w przestrzeni śródmiąższowej możliwa jest kumulacja około kilkuset mililitrów płynu, podczas gdy w przestrzeni pęcherzykowej nawet kilku litrów [146].

5.2.1. Skala problemu w pediatrii

Szacuje się, że obrzęk płuc rozpoznaje się u około 1-2% populacji ludzi dorosłych i częstość jego występowania wzrasta wraz z wiekiem. W grupie wiekowej powyżej 75 roku życia częstość ta oceniana jest na około 10% [147]. W dostępnym piśmiennictwie brak jest danych oceniających częstość występowania obrzęku płuc w populacji pediatrycznej. Przyjmuje się, że częstość występowania obrzęku płuc w tej grupie jest ściśle związana z częstością występowania stanów chorobowych prowadzących do jego rozwoju [148]. Podobne jak w populacji ogólnej u dzieci z chorobą nowotworową przyczyny obrzęku płuc mogą być bardzo różne i liczne. Do najczęstszych zalicza się: niewydolność lewokomorową serca, przewodnienie o różnej etiologii i ARDS z punktem wyjścia w płucach jak i poza nimi, zarówno w przebiegu choroby podstawowej jak i powikłań związanych z terapią przeciwnowotworową [149, 150, 151, 152]. Podobnie jak dla całkowitej populacji pediatrycznej brak jest danych odnośnie częstości występowania obrzęku płuc w tej grupie chorych.

5.2.2. PBUP a diagnostyka obrzęku płuc u pacjentów dorosłych

Przydatność PBUP w diagnostyce obrzęku płuc w populacji pacjentów dorosłych jest już w chwili obecnej dobrze udokumentowana znaczną liczbą publikacji [25, 26, 35, 36, 37, 38, 153, 154], a w wielu ośrodkach metoda ta wykorzystywana jest podczas wstępnej diagnostyki pacjentów z dusznością, głównie przez lekarzy medycyny ratunkowej i anesteziologów w szpitalnych oddziałach ratunkowych i oddziałach intensywnej terapii.

W dostępnym piśmiennictwie brak jest usystematyzowanych danych odnośnie możliwości wykorzystania ultradźwięków w diagnostyce obrzęku płuc w populacji pediatrycznej. Dostępne są tylko pojedyncze publikacje omawiające zbliżone zagadnienia u noworodków urodzonych przedwcześnie [32, 33, 155]. Ze względu na specyfikę tej grupy pacjentów z jednej strony stanowi ona doskonały model do obserwacji zmian w przebiegu noworodkowego zespołu ostrej niewydolności oddechowej, z drugiej strony jednak trudno jest bezpośrednio przenieść uzyskane wyniki na grupę dzieci starszych. Należy jednak podkreślić doskonałą korelację zmian stwierdzanych w płucach za pomocą badania ultraso-

nograficznego w tej grupie pacjentów z grupą pacjentów dorosłych z rozpoznaniem ARDS [34, 156].

Analiza dostępnych danych odnośnie diagnostyki ultrasonograficznej zmian w płucach w przebiegu obrzęku płuc dla populacji pacjentów dorosłych pozwala na stwierdzenie, że nie ma żadnych przesłanek, aby z tej metody nie korzystać w diagnostyce populacji pediatrycznej. Przemawiają za tym następujące fakty: taki sam obraz prawidłowy płuc w PBUP, taka sama symptomatologia ultrasonograficzna zmian w płucach w obu tych populacjach w przypadku zwiększonej objętości pozanaczyniowej wody w płucach.[157, 158, 159].

Obraz ultrasonograficzny i kryteria rozpoznania obrzęku

Klatka piersiowa jest obszarem anatomicznym, w którym na stosunkowo dużej powierzchni powietrze pozostaje w ścisłym związku z wodą. Wzajemna interakcja tych dwóch ośrodków umożliwia obrazowanie ultrasonograficzne płuc, dzięki powstającym na ich granicy artefaktom [160]. Obecność lub brak tych artefaktów jest podstawą ultrasonograficznej diagnostyki obrzęku płuc [25, 35, 36, 37, 38]. Uwzględniając aspekty patofizjologiczne obrzęku płuc, obraz zmian stwierdzany w badaniu ultrasonograficznym w znacznym stopniu zależy od podstawowego mechanizmu, w którym obrzęk płuc powstaje. Inny wzorzec zmian obserwowany jest w przebiegu niewydolności lewokomorowej serca, a inny w przypadku ostrego uszkodzenia płuc, lecz w obu tych sytuacjach podstawą rozpoznania obrzęku płuc w PBUP jest stwierdzenie licznych układających się obok siebie artefaktów linii B. Artefakty te powstają na linii opłucnej, biegną promieniście do brzegu ekranu tworząc wzorzec zmian określany przez Daniela Lichtensteina jako typ *B+ Line* [25, 28]. Zgodnie z koncepcją tego autora przedstawioną w algorytmie diagnostycznym zmian w płucach w grupie pacjentów w stanie zagrożenia życia, a określanym jako „*Blue protocol*”, podstawą rozpoznania obrzęku płuc w PBUP jest stwierdzenie tego typu zmian nad całą przednio-boczną lub boczną powierzchnią płuc [28]. Potwierdzono pełną korelację wzorca zmian stwierdzanego w ocenie ultrasonograficznej z wynikami badań wykonanych za pomocą tomografii komputerowej płuc w grupie pacjentów dorosłych z cechami nasilonego śródmiąższowego obrzęku płuc [96]. Uważa się, że ultrasonograficzne linie B są odpowiednikiem linii Kerleya w klasycznym badaniu RTG klatki piersiowej [25]. Należy podkreślić, że w ocenie ultrasonograficznej płuc zespoły śródmiąższowe stwierdzić można już we wczesnym okresie śródmiąższowego obrzęku płuc, a czułość i swoistość tej metody szacuje się odpowiednio na 97% i 95% [137]. Dodatkowo uwzględnić należy, że prezentowane dane odnoszą się do obrazowania płuc u pacjentów dorosłych z wykorzystaniem głowic innych niż głowice liniowe.

Liczba dostępnych danych o możliwości wykorzystania PBUP w diagnostyce obrzęku płuc jako konsekwencji zwiększonej przepuszczalności naczyń mikrokrążenia płucnego jest znacznie mniejsza. Ten typ zmian klinicznie manife-

stuje się zespołem ostrej niewydolności oddechowej (*ARDS*), a opisany został po raz pierwszy przez Ashbaugh w 1967 roku [161]. Charakteryzuje on morfologiczną i czynnościową ekspresję uszkodzenia płuc w przebiegu uogólnionego procesu zapalnego, zainicjowanego przez cały szereg różnorodnych czynników etiologicznych. Uruchomienie w obrębie miąższu płucnego kaskady procesu zapalnego (wywołanego przez czynniki bezpośrednie lub pośrednie) prowadzi do uszkodzenia jednostki włóscinkowo-pęcherzykowej, z zaburzeniem metabolizmu i funkcji surfaktantu. Klinikowym wykładnikiem tych zmian jest obrzęk płuc, zmniejszona podatność płuc, nadciśnienie płucne i niewydolność oddechowa [162]. Jednym z głównych kryteriów klinicznych rozpoznania ARDS jest nagłe wystąpienie i utrzymywanie się objawów niewydolności oddechowej.

Ultrasonograficzne kryteria rozpoznania ARDS

Przyjęto następujące kryteria ultrasonograficzne rozpoznania ARDS:

- obecność zespołów śródmiąższowo-pęcherzykowych lub tzw. „białego płuca”,
- zmiany w linii opłucnej: pogrubienie linii opłucnej >2 mm, drobne podopłucnowe obszary konsolidacji (do 2,0-3,0 mm średnicy),
- uwidocznienie tzw. *spared areas* (określenie angielskie – brak odpowiednika w języku polskim), czyli występowanie obok siebie obszarów prawidłowego obrazu płuca i obszarów z zespołami śródmiąższowo-pęcherzykowymi,
- obecność obszarów płuc z brakiem (lub znacznie zredukowanym) objawem ślizgania opłucnej w porównaniu do przylegających obszarów tkanki płucnej,
- uwidocznienie obszarów konsolidacji tkanki płucnej o echogeniczności zbliżonej do echogeniczności wątroby z widocznym bronchogramem powietrznym,
- obecność płynu w jamie opłucnej,
- stwierdzenie ultrasonograficznego objawu określanego jako *lung pulse*, który opisuje się jako brak objawu ślizgania opłucnej i przemieszczanie się płuca zgodnie z akcją serca [156, 163].

Pomimo, iż liczba publikacji odnośnie ultrasonograficznego rozpoznania ARDS jest niewielka, opracowane kryteria diagnostyczne są niezwykle przydatne w diagnostyce różnicowej zmian stwierdzanych w płucach. Pozwalają bardzo szybko na wstępną ocenę przyczyny niewydolności oddechowej w grupie pacjentów z nasiloną dusznością ukierunkowując jednocześnie dalsze postępowanie diagnostyczno-terapeutyczne.

5.2.3. Doświadczenia własne autora w diagnostyce obrzęku płuc u dzieci z chorobą nowotworową

Od 10 listopada 2009 roku w grupie pacjentów pediatrycznych z chorobą nowotworową lub jej podejrzeniem, realizowany jest opracowany przez autora rozprawy i zamieszczony w pracy algorytm diagnostyczny z wykorzystaniem diagnostyki ultrasonograficznej. Algorytm, ten zakłada, że pierwszą metodą obrazowania zmian w dowolnym obszarze ciała dziecka jest badanie z wykorzystaniem ultradźwięków. Badania za pomocą innych technik obrazowania wykonywane są po badaniu ultrasonograficznym zgodnie ze standardami diagnostycznymi zalecanymi dla danej jednostki chorobowej i w najlepiej pojętym interesie pacjenta. Zgodnie z tymi założeniami PBUP jest również pierwszym badaniem obrazowym u dzieci, u których zaistniało podejrzenie choroby układu oddechowego lub obecne są objawy podmiotowe i/lub przedmiotowe sugerujące zmiany w układzie oddechowym.

Oceniając przydatność PBUP w diagnostyce obrzęku płuc u dzieci analizie poddano wyniki przezklatkowych badań ultrasonograficznych płuc, które wykonane zostały u dzieci leczonych na Oddziałach Hematologii i Onkologii Dziecięcej Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego. W analizowanym okresie od 10 listopada 2009 roku do 30 czerwca 2012 roku w grupie pacjentów pediatrycznych z chorobą nowotworową lub jej podejrzeniem wykonano 1297 PBUP u 322 pacjentów. W tej części pracy uwzględniono tylko badania, w których na podstawie PBUP postawiono rozpoznanie obrzęku płuc. Dane odnośnie techniki badania, zastosowanego sprzętu i lekarzy wykonujących badanie omówiono w podrozdziale 4.2. „Przeklatkowe badanie ultrasonograficzne płuc”.

5.2.4. Ultrasonograficzne kryteria rozpoznania obrzęku płuc u dzieci

W analizowanej grupie pacjentów przyjęto następujące ultrasonograficzne kryteria rozpoznania obrzęku płuc:

1. uwidocznienie trzech lub więcej artefaktów linii B w jednym podłużnym przyłożeniu głowicy typu *convex* lub głowicy sektorowej [25,28],
2. uwidocznienie siedmiu lub więcej artefaktów linii B w jednym poprzecznym przyłożeniu głowicy liniowej wysokiej częstotliwości (8,0-12,0 MHz) [153],
3. zmiany te muszą być obecne nad całą powierzchnią płuc, a jeżeli nie ma możliwości wykonania badania tylnej powierzchni płuc, zmiany muszą być obecne nad całą przednio-boczną lub boczną powierzchnią klatki piersiowej[28].

Rozpoznanie ARDS stawiane było zgodnie z kryteriami zaproponowanymi przez Copetti R. i wsp. [34]:

1. tzw. zespoły śródmiąższowe* lub zespoły śródmiąższowo-pęcherzykowe** widoczne są w każdym z ocenianych obszarów płuc,
2. stwierdzenie zmian w linii opłucnej: pogrubienie linii opłucnej >2 mm i/lub obecność drobnych podopłucnowych obszary konsolidacji (do 2,0-3,0 mm średnicy) i/lub nieregularny zarys linii opłucnej,
3. obecność obszarów z brakiem lub zredukowanym objawem ślizgania opłucnej w porównaniu do przylegających obszarów płuca,
4. uwidocznienie, w co najmniej jednej przestrzeni międzyżebrowej tzw. *spared areas*, czyli występowanie obok siebie obszarów prawidłowego obrazu płuca i obszarów z zespołami śródmiąższowo-pęcherzykowymi,
5. uwidocznienie podopłucnowych obszarów konsolidacji tkanki płucnej o echogeniczności zbliżonej do echogeniczności wątroby z widocznym bronchogramem powietrznym,
6. uwidocznienie płynu w jamie opłucnej, (bezechowa przestrzeń pomiędzy przeponą a opłucną płucną przy podstawie płuca) lub obecność niewielkiej objętości płynu lokalnie przy obszarze/obszarach konsolidacji tkanki płucnej, (bezechowa przestrzeń pomiędzy blaszkami opłucnej ściennej i opłucnej płucnej widoczna przy podopłucnowym obszarze konsolidacji),
7. stwierdzenie ultrasonograficznego objawu określanego jako *lung pulse*, który opisuje się jako brak objawu ślizgania opłucnej i przemieszczanie się płuca zgodnie z akcją serca [27, 164].

*Zespół śródmiąższowy – to obecność minimum trzech artefaktów linii B w jednym podłużnym przyłożeniu głowicy *convex* lub sektorowej. Jeżeli badanie wykonuje się głowicą liniową do rozpoznania tego zespołu konieczne jest uwidocznienie 7 lub więcej artefaktów linii B w jednym przyłożeniu poprzecznym głowicy liniowej. Obraz taki odpowiada pogrubieniu lub obrzękowi przegród międzyplacikowych [34, 153].

**Zespół śródmiąższowo-pęcherzykowy stwierdzamy wówczas, gdy liczne artefakty linii B przylegają do siebie lub odległość pomiędzy tymi artefaktami jest mniejsza lub równa $3 (\pm 1)$ mm (niezależnie od typu stosowanej głowicy i jej przyłożenia). Przylegające do siebie artefakty linii B tworzą obraz tzw. białego płuca, który odpowiada obrazowi tzw. mlecznej szyby w badaniach radiologicznych. Powstaje on wówczas, gdy wraz z pogrubieniem lub obrzękiem przegród międzyplacikowych współwystępują zmiany w pęcherzykach płucnych prowadzące do ich bezpowietrzności. [25, 35].

5.2.5. Weryfikacja zmian w płucach innymi metodami obrazowymi

Celem weryfikacji zmian stwierdzanych w PBUP korzystano z wyników klasycznego badania radiologicznego klatki piersiowej i TK klatki piersiowej,

które wykonywane były przyłóżkowo lub tak jak badania płuc za pomocą tomografii komputerowej w Zakładzie Radiologii Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego, (kierownik prof. dr hab.med. Michał Studniarek). Badania te wykonane były zgodnie z potrzebami klinicznymi i zasadami sztuki medycznej w najlepiej pojętym interesie pacjenta i wykorzystywane w dalszym postępowaniu diagnostyczno-terapeutycznym.

5.2.6. Wyniki

Rozpoznanie obrzęku płuc na podstawie zmian stwierdzonych w płucach za pomocą PBUP postawiono u 10 chorych, co stanowi 3,1% wszystkich badanych. We wszystkich tych przypadkach badanie USG płuc było pierwszym badaniem obrazowym i we wszystkich rozpoznanie obrzęku płuc potwierdzone zostało badaniem RTG klatki piersiowej, a u 4 pacjentów dodatkowo badaniem za pomocą tomografii komputerowej klatki piersiowej. W 9/10 przypadkach (90%) PBUP wykonane było przyłóżkowo. W dwóch przypadkach postawiono rozpoznanie śródmiąższowego obrzęku płuc, a u 8 pacjentów ARDS. Dane te zestawiono w tabeli 13.

Tabela 13. Zestawienie pacjentów z rozpoznaniem obrzęku płuc, które postawiono przy pomocy PBUP, z uwzględnieniem wyników badań RTG i TK klatki piersiowej
Table 13. Comparison of patients with diagnosis of pulmonary edema, diagnosed with lung US, including chest X-ray and chest CT

Pacjent <i>Patient</i>	Wiek (lata) <i>Age (years)</i>	Choroba podstawowa <i>Underlying disease</i>	PBUP <i>Lung US</i>	RTG <i>X-ray</i>	TK <i>CT</i>
1	17	CCC	obrzęk płuc <i>pulmonary oedema</i>	obrzęk płuc <i>pulmonary oedema</i>	—
2	2	nephroblastoma	obrzęk płuc <i>pulmonary oedema</i>	obrzęk płuc <i>pulmonary oedema</i>	—
3	10	NHL	TRALI	ARDS	ARDS
4	11	AML	ARDS	ARDS	—
5	7	DRESS	ARDS	ARDS	ARDS

Pacjent <i>Patient</i>	Wiek (lata) <i>Age (years)</i>	Choroba podstawowa <i>Underlying disease</i>	PBUP <i>Lung US</i>	RTG <i>X-ray</i>	TK <i>CT</i>
6	5	NHL	ARDS	ARDS	—
7	14	SAA	ARDS	ARDS	ARDS
8	12	AML	ARDS	ARDS	—
9	14	NHL	ARDS	ARDS	—
10	5	ALL	ARDS	ARDS	ARDS

5.2.7. Analiza obrazu ultrasonograficznego w grupie dzieci z rozpoznaniem obrzęku płuc

Analizie poddano zmiany stwierdzone w PBUP. Oceniano obecność lub brak kryteriów ultrasonograficznych przedstawionych powyżej z uwzględnieniem miejsca ich występowania na przedniej i tylnej powierzchni płuc. W grupie pacjentów z obrzękiem płuc wynikającym z przewodnienia stwierdzono 100% zgodność stwierdzonych zmian z przyjętymi kryteriami rozpoznania obrzęku płuc w PBUP. W grupie pacjentów z rozpoznaniem ARDS wszystkie kryteria rozpoznania tego zespołu w PBUP potwierdzono u 3/8 pacjentów, a 6/7 kryteriów rozpoznania (85,7%) u 5/8 chorych. Troje dzieci, u których stwierdzono wszystkie kryteria rozpoznania ARDS wymagała leczenia w oddziale intensywnej terapii (OIT), a pozostali pacjenci leczeni byli w oddziale macierzystym. Dane te zastawiono w tabeli 14. Jedynym ultrasonograficznym kryterium różniącym te grupy chorych była obecność objawu *lung pulse*, który obserwowano tylko w grupie dzieci wymagających terapii w OIT.

Tabela 14. Zestawienie przedstawia zgodność zmian stwierdzanych w PBUP w badanej grupie dzieci z kryteriami rozpoznania obrzęku płuc
 Table 14. Summary of the compatibility of changes appearing in lung US with the diagnostic criteria of pulmonary edema in the study group

	Liczba objawów potwierdzających rozpoznanie <i>Number of signs confirming the diagnosis of pulmonary edema</i>	Liczba pacjentów <i>Number of patients</i>	Zgodność <i>Compatibility</i>
Obrzęk płuc – przewodnienie <i>Pulmonary edema – fluid overload</i>	3/3	2/2	100%
ARDS: terapia w OIT <i>ARDS: therapy in ICU</i>	7/7	3/8	100%
ARDS: terapia w oddziale macierzystym <i>ARDS: therapy in the primary department</i>	6/7	5/8	85,7%

Analiza wyników zestawionych w tabelach nr 10 prezentuje pełną ich zgodność z danymi dostępnymi dla populacji dorosłej w zakresie ultrasonograficznej diagnostyki obrzęku płuc. W dwóch przypadkach, w których obrzęk płuc był konsekwencją przewodnienia w PBUP stwierdzono obecność zespołów śródmiąższowych jako jednego objawu ultrasonograficznego. Uwidocznione zespoły śródmiąższowe spełniały kryteria rozpoznania obrzęku płuc zarówno w ocenie głowicą *convex* jaki i głowicą liniową i widoczne były w obu przypadkach nad całą powierzchnią płuc. Zmiany te ustąpiły w czasie kilku godzin po zmniejszeniu podaży płynów i podaniu leków moczopędnych. Obraz ten odpowiadał obecności płynu tylko w przestrzeni śródmiąższowej płuc, co w PBUP manifestowało się obecnością zespołów śródmiąższowych. W obu tych przypadkach rozpoznanie obrzęku płuc potwierdzone było przyłóżkowo wykonanym badaniem RTG.

W pozostałych przypadkach zmiany uwidocznione w PBUP sugerowały rozpoznanie zespołu ostrej niewydolności oddechowej, który manifestował się ciężkim przebiegiem klinicznym i typowo długim okresem ustępowania zmian w płucach. U wszystkich pacjentów z rozpoznaniem zespołu ostrej niewydolności oddechowej zmiany w PBUP widoczne były nad całą powierzchnią płuc. U dziecka

(pacjent nr 3) z klinicznym rozpoznaniem TRALI obraz ultrasonograficzny stwierdzanych zmian w PBUP nie różnił się od zmian w przebiegu ARDS. U pacjenta z klinicznym rozpoznaniem zespołu DRESS (pacjent nr 5) stopień nasilenia zmian stwierdzanych badaniu ultrasonograficznym oceniono jako mniejszy niż w pozostałej grupie dzieci, u których rozpoznano ARDS z innych przyczyn.

5.2.8. *Dyskusja*

Kryteria rozpoznania obrzęku płuc za pomocą PBUP w populacji pacjentów dorosłych są dobrze znane i w wielu ośrodkach wykorzystywane w codziennej praktyce. Walidacja metody potwierdzona została konsensusem grupy ekspertów z zakresu diagnostyki ultrasonograficznej płuc i opublikowana 2012 r. [57].

Nadal jeszcze jest wiele pytań, na które brak jednoznacznej odpowiedzi. Począwszy od braku powszechnej zgody co do istoty powstawania podstawowego artefaktu jakim jest artefakt linii B, a skończywszy na pytaniu czy zalecana ocena płuc tylko na przedniej i przednio-bocznej powierzchni klatki piersiowej jest wystarczająca do postawienia rozpoznania obrzęku płuc [57, 165]. Niezależnie jednak od tych kontrowersji PBUP coraz częściej jest pierwszym badaniem obrazowym w diagnostyce pacjentów dorosłych z dusznością o nieustalonej etiologii, szczególnie w sytuacji zagrożenia życia. Dodatkowo uważa się, że rozpoznanie obrzęku płuc w przezklatkowym badaniu ultrasonograficznym należy do jednych z łatwiejszych zadań, a nauczyć się tego można w stosunkowo krótkim czasie [156]. Jednakże, aby w pełni wykorzystać możliwości PBUP w diagnostyce różnicowej obrzęku płuc (obrzęk kardiogeny czy z innych przyczyn) wymagane jest większe doświadczenie badającego. Taka diagnostyka różnicowa jest możliwa z wykorzystaniem PBUP, a kluczowym jej elementem jest ocena linii opłucnej [34]. Opanowanie tego elementu PBUP jest niezwykle ważne, gdyż wynik badania może mieć bezpośrednie przełożenie na zastosowane leczenie.

Z pewnością PBUP wykorzystywane jest również w diagnostyce populacji pediatrycznej, brak jest jednak powszechnie dostępnych danych odnośnie możliwości wykorzystania PBUP w diagnostyce obrzęku płuc u dzieci. Przedstawione powyżej dane są pierwszą próbą przybliżenia możliwości wykorzystania PBUP w diagnostyce obrzęku płuc u dzieci. Dotyczą one szczególnej grupy pacjentów jaką są dzieci z chorobą nowotworową, które wymagają diagnostyki i terapii zbliżonej do pacjentów oddziałów intensywnej terapii. Zastosowane ultrasonograficzne kryteria diagnostyczne obrzęku płuc opierały się na danych dostępnych dla populacji dorosłej z niewielkimi modyfikacjami autora, uwzględniającymi specyfikę badanej populacji. Różnice to polegały na wykorzystaniu głowicy liniowej wysokiej częstotliwości jako podstawowej głowicy do obrazowania zmian w płucach oraz na ocenie całej dostępnej do badania powierzchni płuc. Uzyskane wyniki sugerują przydatność PBUP w diagnostyce

obrzęku płuc u dzieci. Uwzględniając następujące fakty, iż prawie wszystkie badania wykonane były przy łóżku chorego dziecka, ich pełną zgodność z innymi badaniami obrazowymi i przebiegiem klinicznym choroby, rozpoznanie obrzęku płuc u dzieci za pomocą PBUP jest możliwe i niezwykle przydatne w codziennej praktyce. We wszystkich prezentowanych przypadkach ukierunkowało dalsze postępowanie diagnostyczno-terapeutyczne.

Porównując diagnostykę obrzęku płuc za pomocą PBUP pomiędzy populacjami dorosłych i dzieci stwierdzić należy, że w grupie pediatrycznej jest ona łatwiejsza niż w populacji dorosłej. Składa się na to kilka istotnych elementów takich jak: znacznie lepiej dostępna do oceny linia opłucnej, możliwość oceny opłucnej i zmian w płucach w lokalizacji podopłucnowej głowicą liniową wysokiej częstotliwości ze znacznie większą dokładnością niż w obrazowaniu za pomocą głowicy *convex* czy sektorowej. Niezwykle istotny jest również fakt, że u dzieci w PBUP praktycznie nie stwierdza się zmian o innej etiologii a zbliżonej morfologii do zmian jakie są podstawą rozpoznania obrzęku płuc (włóknienie płuc, czy przewlekłe śródmiąższowe zapalenie płuc) co znacznie ułatwia ultrasonograficzną diagnostykę różnicową.

Możliwość wykonania badania przy łóżku chorego dziecka, krótki czas badania, brak efektów ubocznych, możliwość jego powtórzenia w dowolnej chwili i dowolną liczbę razy, przy dużej wartości diagnostycznej wydaje się przemawiać za korzystaniem z PBUP szerzej niż dotychczas w diagnostyce obrzęku płuc u dzieci. Konieczne są jednak dalsze badania potwierdzające słuszność tej tezy na znacznie większej liczbie pacjentów.

5.3. PBUP w diagnostyce zatorowości płucnej u dzieci

5.3.1. Wprowadzenie i epidemiologia

Zatorowość płucna (ZP) jest jedną z dwóch postaci klinicznych żyłnej choroby zakrzepowo-zatorowej (ŻCHZZ). Drugą manifestacją kliniczną jest zakrzepica żył głębokich (ZZG). Obie postaci mają te same czynniki predysponujące i w około 70% przypadków wstępują jednocześnie [166, 167, 168]. Obie są również szeroko opracowane zarówno w kontekście diagnostycznym jak i klinicznym w grupie pacjentów dorosłych. Żyłna choroba zakrzepowo-zatorowa, a szczególnie ZP, podobnie jak znaczna większość innych jednostek chorobowych ma odmienną manifestację kliniczną w wieku rozwojowym niż w populacji dorosłej. Poczynając od częstości występowania, poprzez objawy podmiotowe, algorytmy diagnostyczne, a skończywszy na terapii. Podkreślić należy brak dużych badań prospektywnych u dzieci odnośnie ŻCHZZ i fakt, że aktualnie wykorzystywane standardy diagnostyczne i terapeutyczne opierają się w znacznej mierze na założeniach opracowanych dla populacji dorosłej.

Od opisu pierwszych trzech przypadków zatorowości płucnej u dzieci minęło już ponad 150 lat. Rozpoznanie postawione zostały w badaniach pośmiertnych u dwóch noworodków i 9-letniego chłopca [169]. W kolejnych dziesięcioleciach zatorowość płucną u dzieci rozpoznawano tylko na podstawie badań autopsyjnych. W piśmiennictwie dostępne są pojedyncze publikacje szacujące częstość występowania ZP w populacji pediatrycznej, przy braku tych danych odnośnie populacji dzieci polskich. W 2001 roku w Holandii występowanie żylnych chorób zatorowo-zakrzepowych u dzieci oszacowano na 0,14 na 10 000 hospitalizacji [170]. Według danych amerykańskich z 2004 roku, częstość występowania żylnych chorób zatorowo-zakrzepowych u dzieci oszacowano na 0,49 na 10 000 dzieci rocznie [171]. W badaniach tych potwierdzono wcześniejsze dane o dwóch grupach wiekowych, w których ZP występuje najczęściej: u noworodków i dzieci w okresie dojrzewania [170, 171, 172, 173]. Według danych kanadyjskich z tego samego roku co badania amerykańskie, na podstawie analizy The Canadian Registry of VTE częstość występowania ŻCHZZ u dzieci oszacowano na 0,86 na 10 000 przyjęć do szpitala. Publikacja ta jest bardzo ważna, gdyż potwierdza tezę, że rozpoznanie ZP nie zawsze jest rozważane w diagnostyce różnicowej ostrej niewydolności oddechowej u dzieci. W prezentowanej grupie tylko 23% dzieci z rejestru miało wykonaną diagnostykę w kierunku ZP [172]. Podkreślić należy, że ŻCHZZ i ZP u dzieci, w przeciwieństwie do pacjentów dorosłych, w około 95% przypadków jest konsekwencją ciężkiego stanu ogólnego pacjentów w przebiegu choroby nowotworowej, zabiegu operacyjnego, urazu, wrodzonej wady serca czy choroby autoimmunologicznej [172, 173, 174, 175]. W większości przypadków brak jest charakterystycznych objawów klinicznych tego schorzenia. Najpewniej nieco odmienna etiologia zmian ma wpływ na podstawową różnicę pomiędzy dziećmi a pacjentami dorosłymi z ZP jaką jest odsetek stwierdzanych zmian pod postacią ostrej, masywnej zatorowości płucnej. Ta postać ZP w grupie pacjentów dorosłych jest przyczyną około 7-11% nagłych zgonów [176], a u dzieci stwierdzana jest w sporadycznych przypadkach. Jednakże, ryzyko zgonu pacjenta pediatrycznego, u którego rozpoznano ŻCHZZ lub ZP szacowane jest równie wysoko 5-30% według różnych autorów [177, 178].

Podobne jak w populacji dorosłej zatorowość płucna u dzieci jest najczęściej powikłaniem zakrzepicy żył głębokich. Z badań przeprowadzonych w Kanadzie wynika, że u 96% dzieci z zakrzepicą żył głębokich można było zidentyfikować przynajmniej jeden czynnik ryzyka jej wystąpienia, a u 90% dwa lub więcej [172]. Czynniki ryzyka wystąpienia ZP można podzielić na pierwotne (wrodzone) i wtórne. Pierwotne czynniki ryzyka wystąpienia zatorowości płucnej to: mutacja Leiden czynnika V, mutacja genu protrombiny, niedobór białka S, niedobór białka C, niedobór antytrombiny, niedobór plazminogenu, niedobór czynnika XII, dysfibrinogemia, zwiększona aktywność czynnika VIII [179]. Za wtórne, nabyte czynniki ryzyka uważa się: obecność centralnego cewnika żylnego, wrodzone wady serca, ciężkie infekcje, zabiegi operacyjne, choroby nerek,

unieruchomienie, hipowolemie, toczeń układowy, anemię sierpowatokrwińkową, leczenie L-asparaginazą i inne [180]. Szacuje się, że częstość występowania zatorowości płucnej wśród dzieci z wtórnymi czynnikami ryzyka jej wystąpienia waha się od 1 do 40% [180]. Jednym z najlepiej udokumentowanych wtórnych czynników ryzyka wystąpienia zakrzepicy żył głębokich i zatorowości płucnej u dzieci jest założony centralny cewnik żylny (CCŻ). Uważa się, że przeważająca większość przypadków zakrzepicy żył głębokich u noworodków spowodowana jest stosowaniem centralnych cewników żylnych, a w grupie dzieci starszych dotyczy to około 33% przypadków [170]. W prospektywnym badaniu, którym objęto 244 dzieci z ZZG będącą powikłaniem stosowania CCŻ, zatorowość płucną stwierdzono u 16% pacjentów. Zgon wśród dzieci objętych badaniem odnotowano w 3,7% przypadków [181].

5.3.2. Diagnostyka obrazowa zatorowości płucnej

U dzieci podobnie jak w grupie osób dorosłych objawy podmiotowe i przedmiotowe oraz rutynowe badania laboratoryjne nie pozwalają na wykluczenie ani na potwierdzenie rozpoznania zatorowości płucnej ze 100% pewnością. Są jednak niezwykle istotne w podejmowaniu dalszych decyzji diagnostycznych, uwzględniających diagnostykę obrazową, a w części przypadków również decyzji terapeutycznych [182]. Złotym standardem diagnostyki obrazowej ZP jest arteriografia płucna. Jednakże obecnie wykonywana niezwykle rzadko, ze względu na inwazyjność metody i na możliwość uzyskania zbliżonych danych korzystając z mniej inwazyjnej techniki obrazowania jaką jest angiografia tomokomputerowa. Jej specyficzność wynosi 81-100% a czułość 60-100% [183, 184]. Wartość diagnostyczna tej metody w znacznym stopniu zależy od klasy tomografu, na którym wykonuje się badania. Jednorzędowe tomografy pozwalają z dużą czułością i specyficznością diagnozować zatory zlokalizowane w tętnicach płatowych i segmentalnych. Natomiast wizualizacja zatorów zlokalizowanych w tętnicach subsegmentalnych wymaga użycia wielorzędowego spiralnego tomografu komputerowego (WS-TK) [185].

Z dotychczas przeprowadzonych analiz wynika, że u pacjentów dorosłych negatywny wynik spiralnej tomografii komputerowej z kontrastem nie pozwala z całą pewnością wykluczyć ZP i odstąpić od leczenia fibrynolitycznego [184, 185]. Pomimo niewątpliwych zalet metoda ta ma jednak swoje ograniczenia: w sytuacjach nagłych konieczny jest transport pacjenta w ciężkim stanie ogólnym na badanie, które odbywa się w pozycji leżącej (duszność) i często przy braku współpracy pacjenta z powodu nasilonej duszności. Ze względu na stosunkowo dużą dawkę promieniowania rentgenowskiego decyzja o jego wykonaniu u kobiet w ciąży i u najmłodszych dzieci jest często trudna do akceptacji przy klinicznej sugestii zatorowości płucnej niskiego ryzyka.

Podsumowując należy stwierdzić, że diagnostyka zatorowości płucnej u dzieci jest niezwykle trudna, ze względu na brak charakterystycznych objawów choroby, odmienną manifestację kliniczną niż w grupie chorych dorosłych i brak jednoznacznych kryteriów laboratoryjnych rozpoznania (ocena stężenia osoczonego dimeru D nie ma walidacji w populacji pediatrycznej). Uwzględnić należy również fakt, że badanie za pomocą wielorzędowego spiralnego tomografu komputerowego nie wyklucza jednoznacznie rozpoznania zatorowości płucnej.

5.3.3. PBUP w diagnostyce zatorowości płucnej

Pomimo iż, pierwsze publikacje o możliwości wizualizacji zamian zatorowych w płucach przy użyciu ultradźwięków pochodzą z przed ponad 40 lat [186, 187, 188], a obraz ultrasonograficzny zatorowości płucnej u chorych dorosłych znany jest od prawie 15 lat, metoda ta ma nadal znacznie mniej zwolenników jak adwersarzy. Dostępnych jest kilkanaście pozycji piśmiennictwa odnośnie możliwości diagnostyki ultrasonograficznej zmian zatorowych w płucach u pacjentów dorosłych i tylko dwie pozycje u dzieci. W ostatnim dziesięcioleciu ustalono przydatność kliniczną PBUP w diagnostyce zatorowości płucnej u dorosłych, a jej czułość i swoistość oszacowano odpowiednio na 80-94% i 84-92%, przy tomografii komputerowej jako metodzie referencyjnej [13]. Jednakże w chwili obecnej w zaleceniach opracowanych przez Grupę Roboczą Europejskiego Towarzystwa Kardiologicznego do spraw diagnostyki i postępowania w ostrej zatorowości płucnej u pacjentów dorosłych diagnostyka ultrasonograficzna płuc nie jest uwzględniana.

Zgodnie z zaleceniami opracowanymi przez Grupę Roboczą Europejskiego Towarzystwa Kardiologicznego do spraw diagnostyki i postępowania w ostrej zatorowości płucnej z 2009 roku, które sugerują zastąpienie terminów masywny, submasywny, niemasywny zator tętnicy płucnej szacunkowym ryzykiem wczesnego zgonu związanego z ZP, rozumianego jako śmiertelność wewnątrzszpitalna lub 30-dniowa. Do celów stratyfikacji ryzyka wczesnego zgonu wykorzystuje się przyłóżkową analizę obecności trzech grup wykładników ryzyka: objawów klinicznych, wykładników dysfunkcji prawej komory serca i wykładników uszkodzenia mięśnia sercowego. Stratyfikacja ta pozwala na wybór ścieżki diagnostycznej i terapeutycznej. Podejrzenie ostrej zatorowości płucnej wysokiego ryzyka w większości przypadków dotyczy pacjentów w ciężkim stanie ogólnym, niestabilnych krążeniowo i oddechowo, z objawami wstrząsu lub hipotonii, u których diagnostyka za pomocą tomografii komputerowej często nie jest możliwa do wykonania, a śmiertelność wczesna szacowana jest powyżej 15% [189, 190]. Zgodnie z zaleceniami proponowanymi przez Grupę Roboczą Europejskiego Towarzystwa Kardiologicznego pierwszym badaniem obrazowym jest

angiografia TK, a jeśli stan pacjenta nie pozwala na transport alternatywnym badaniem jest badanie echokardiograficzne.

Zatorowość płucną pośredniego ryzyka rozpoznaje się w przypadku stwierdzenia co najmniej jednego wykładnika dysfunkcji prawej komory serca lub wykładnika uszkodzenia mięśnia sercowego. Przy ujemnym wyniku ocenianych parametrów rozpoznaje się ZP małego ryzyka (szacowana śmiertelność wczesna <1%) [182].

W praktyce oznacza to, że ZP manifestuje się dwoma sytuacjami klinicznymi: podejrzeniem ZP wysokiego i niewysokiego ryzyka wczesnego zgonu. Zgodnie z zaleceniami opracowanymi przez Grupę Roboczą Europejskiego Towarzystwa Kardiologicznego do spraw diagnostyki i postępowania w ostrej zatorowości płucnej te dwie odmienne sytuacje kliniczne należy rozróżnić, ponieważ wymagają różnych strategii diagnostycznych. Podobnie jest z punktu widzenia diagnostyki ultrasonograficznej ZP, w zależności od sytuacji klinicznej stosuje się inną technikę badania i korzysta się z innych kryteriów diagnostycznych do jej potwierdzenia lub wykluczenia.

5.3.4. PBUP w diagnostyce ostrej zatorowości płucnej wysokiego ryzyka

PBUP, pomimo, że nie jest uwzględniane w powszechnie przyjętych zaleceniach z powodzeniem wykorzystywana jest na oddziałach ratunkowych w wielu ośrodkach na całym świecie. Koncepcja ultrasonograficznej diagnostyki ZP u pacjentów w stanie zagrożenia życia opracowana została przez Daniela Lichtensteina i wsp. Opublikowana została w 2008 roku jako algorytm diagnostyczny pacjenta z dusznością, który nazwano w języku angielskim jako *Blue protocol*. W algorytmie tym diagnostyka ZP jest jedną ze ścieżek diagnostycznych. Idea *Blue protocol* jest niezwykle prosta, gdyż za pomocą prostego aparatu ultrasonograficznego i przyłożeń głowicy ultrasonograficznej w sześciu miejscach na przedniej i bocznej ścianie klatki piersiowej można wstępnie wnioskować o przyczynie ostrej niewydolności oddechowej u pacjenta w ciężkim stanie ogólnym [28].

5.3.5. Technika badania i wymagania sprzętowe

Przezskłatkowe badanie ultrasonograficzne płuc w diagnostyce ZP możliwe jest do wykonania dowolnym aparatem ultrasonograficznym, opcje dopplerowskie i zaawansowane opcje poprawiające jakość obrazowania nie są wymagane. Korzysta się z głowicy typu *convex*, optymalnie z małą powierzchnią przyłożenia, o częstotliwości 3,5-5,0 MHz, wykorzystując ustawienie wstępne obrazowania dla oceny narządów jamy brzusznej, optymalizujące je do oceny płuc, jeśli sprzęt nie posiada wstępnych ustawień przeznaczonych do ich oceny. Sto-

suje się przekroje podłużne w ściśle określonych miejscach na klatce piersiowej. Miejsca te zgodne są z przyłożeniami głowicy opracowanymi przez Lichtensteina dla algorytmu *Blue protocol*. Oceny dokonuje się z sześciu przyłożeń głowicy: czterech na przedniej ścianie klatki piersiowej i dwóch na bocznych powierzchniach w ściśle określonych miejscach.

Wykonanie badania ultrasonograficznego płuc zgodnie z *Blue protocol* nie utrudnia innych czynności diagnostycznych i terapeutycznych, czas badania nie jest dłuższy niż 3 min, a pozwala na potwierdzenie lub wykluczenie: odmy jamy opłucnej, obrzęku płuc, zapalenia płuc i zatorowości płucnej. W tej grupie pacjentów rozpoznanie ZP stawiane jest na podstawie wykluczenia innych przyczyn ostrej niewydolności oddechowej, z możliwością potwierdzenia zmian zakrzepowo-zatorowych w naczyniach żylnych kończyn dolnych na podstawie ultrasonograficznego testu uciskowego, który jest jednym z elementów tego protokołu diagnostycznego. Zgodnie z patofizjologią zmian w przypadku ostrej, masywnej zatorowości płucnej, gdy skrzeplina lokalizuje się w dużych gałęziach tętnicy płucnej uwidocznienie tych zmian za pomocą PBUP nie jest możliwe. Jednakże w tym wczesnym okresie ZP, ocena płuc w 6 standardowych przyłożeniach pozwala na sugerowanie rozpoznania ZP, gdy stwierdza się prawidłowy objaw ślizgania opłucnej i profil zmian określany jako profil A, odpowiadający prawidłowemu obrazowi płuc. Taki obraz ultrasonograficzny pozwala na wstępne wykluczenie innych przyczyn ostrej niewydolności oddechowej i sugeruje konieczność analizy ultrasonograficznej naczyń kończyn dolnych. Uwidocznienie materiału zatorowego w tych naczyniach lub dodatni test uciskowy dodatkowo wzmacnia sugestię rozpoznania ZP, gdyż u 90% chorych źródłem pochodzenia materiału zatorowego jest zakrzepica kończyn dolnych [191]. Czulość ultrasonografii kompresyjnej naczyń żylnych (*compression venous ultrasonography*, CUS) w przypadku proksymalnej zakrzepicy naczyń żylnych kończyn dolnych wynosi ponad 90%, natomiast swoistość około 95% [192, 193]. Pomimo, iż test ten u dzieci wykonywany jest tylko sporadycznie, gdyż w przypadku incydentu zatorowo-zakrzepowego zalecane jest wykonanie pełnego badania dopplerowskiej naczyń, nie ma żadnych racjonalnych przesłanek, aby w sytuacjach nagłych z niego nie korzystać. Czulość i swoistość PBUP wykonanego zgodnie z *Blue protocol* w diagnostyce zatorowości płucnej u pacjentów dorosłych z wysokim ryzykiem jej rozpoznania wynosi odpowiednio 81% i 99% [28].

Przedstawione powyżej dane odnośnie wykorzystania *Blue protocol* w diagnostyce pacjentów z ostrą niewydolnością oddechową o nieznanym etiologii dotyczą diagnostyki pacjentów dorosłych. W dostępnym piśmiennictwie brak jest danych co do populacji pediatrycznej, poza jedną publikacją, w której uwzględniono możliwość wykorzystania *Blue protocol* u noworodków w diagnostyce odmy jamy opłucnej [96]. Wydaje się, że uwzględniając proste założenia tego protokołu diagnostycznego nic nie stoi na przeszkodzie, aby korzystać z

niego w diagnostyce ostrej niewydolności oddechowej również u dzieci. Dla potwierdzenia tej tezy konieczne są badania prospektywne uwzględniające grupę dzieci z ostrą niewydolnością oddechową. Doświadczenia własne autora pracy ograniczają się do niewielkiej grupy dzieci z ostrą niewydolnością oddechową, wynikającą ze specyfiki oddziały. W analizowanym w pracy okresie nie odnotowano przypadku zatorowości wysokiego ryzyka. Wstępnie wydaje się, że u dzieci protokół ten będzie miał szersze zastosowanie w diagnostyce odmy jamy opłucnej i obrzęku płuc niż zatorowości płucnej wysokiego ryzyka.

5.3.6. PBUP w ostrej zatorowości płucnej niewysokiego ryzyka

Uwzględniając zalecenia opracowane przez Grupę Roboczą Europejskiego Towarzystwa Kardiologicznego w zatorowości płucnej niewysokiego ryzyka wyróżnia się ZP pośredniego i ZP niskiego ryzyka wczesnego zgonu. W zatorowości płucnej niewysokiego ryzyka zatory są mniejsze, lokalizują się obwodowo i w większości przypadków nie mają wpływu na hemodynamikę układu krążenia. Powodują powstawanie obszarów krwawień do pęcherzyków płucnych. Ta postać określana jest jako zawał płuca, który klinicznie może manifestować się krwiopluciem, miernego stopnia dusznością, często tylko wysiłkową, zapaleniem opłucnej z obecnością wysięku opłucnowego. W przebiegu zawału płuca wymiana gazowa upośledzona jest tylko w niewielkim stopniu, z wyjątkiem osób z istniejącym wcześniej schorzeniem krążeniowo-oddechowym. Przemawiają za tym obserwacje kliniczne, które potwierdzają, że u chorych z uprzednio zdrowymi płucami, tzw. zawał niekompletny, z krwawieniem do pęcherzyków płucnych bez martwicy ich ścian jest znacznie częstszą formą zmian w przebiegu ZP niż zmiany zatorowe w dużych gałęziach tętnicy płucnej [194, 195]. Zawał niekompletny, z krwawieniem do pęcherzyków płucnych najczęściej stwierdza się w ciągu dwóch pierwszych dni od wystąpienia zatoru. Zmiany te ustępują całkowicie w kolejnych 2-4 dniach [194].

Fakt ten jest niezwykle istotny z punktu widzenia diagnostyki obrazowej, gdyż zmiany te obserwowane są zarówno w angiografii TK jak i w WS-TK, często potwierdzając prawidłowość podejrzenia klinicznego ZP. Ten typ zmian w przebiegu zatorowości płucnej niewysokiego ryzyka jest również możliwy do uwidocznienia za pomocą diagnostyki ultrasonograficznej w przeklatkowym badaniu płuc [196, 197]. Przystępując do oceny ultrasonograficznej płuc w poszukiwaniu zmian typowych dla tej postaci ZP należy uwzględnić kilka istotnych elementów patofizjologicznych, które mają swoje odzwierciedlenie w obrazie ultrasonograficznym. Nagłe zamknięcie gałęzi tętnicy płucnej przez materiał zatorowy powoduje liczne przejściowe konsekwencje patofizjologiczne: mechaniczne, odruchową reakcję naczyń, uwalnianie mediatorów wazoaktywnych i mediatorów zapalnych. Konsekwencją zamknięcia gałęzi tętnicy płucnej może być: niedodma obszarów płuc położonych dystalnie od miejsca zamknię-

cia naczynia, „lokalny” obrzęk płuc, wzrost objętości płynu w jamie opłucnej (lokalnie w obszarze przylegającym do zmiany zatorowej i/ lub u podstawy płuca). Wszystkie te zmiany składają się na obraz ultrasonograficzny zatorowości płucnej niewysokiego ryzyka w PBUP [197, 198, 199, 200, 201].

5.3.7. Technika badania i wymagania sprzętowe

PBUP w diagnostyce zatorowości płucnej niewysokiego ryzyka różni się istotnie od przedstawionej powyżej diagnostyki zatorowości płucnej wysokiego ryzyka. Inna jest technika badania i inne są również wymagania sprzętowe. Optymalnie powinien być to aparat ultrasonograficzny co najmniej średniej klasy. Zaleca się wykonywanie badania głowicą typu convex o częstotliwości od 3,5 do 7,0 MHz i głowicą liniową o częstotliwości 8,0-12,0-14,0 MHz. Aparat powinien posiadać możliwość obrazowania opcjami dopplerowskim, zarówno dopplerem kodowanym kolorem i dopplerem spektralnym. Podczas badania ocenia się całą dostępną powierzchnię płuc we wszystkich możliwych przekrojach, z podłużnego jak i poprzecznego przyłożenia głowicy, a badanie wykonywane jest w pozycji siedzącej pacjenta. Jeżeli nie jest to możliwe, badanie może być wykonane także, w pozycji leżącej. Zaleca się pacjentom założenie ręki za głowę. Pozwala to na poszerzenie przestrzeni międzyżebrowych, do których należy przyłożyć głowicę. Jeżeli pacjent odczuwa ból w klatce piersiowej, badanie należy rozpocząć od miejsca, w którym ból jest zlokalizowany. Podczas badania pacjent powinien oddychać swobodnie. Czasami jednak maksymalny wydech i wdech mogą być pomocne, aby uwidocznić fragmenty płuca leżące tuż pod elementami kostnymi rusztowania klatki piersiowej.

5.3.8. Obraz ultrasonograficzny zatorowości płucnej niewysokiego ryzyka

W diagnostyce ultrasonograficznej zatorowości płucnej niewysokiego ryzyka wykorzystuje się cztery kryteria diagnostyczne:

1. miąższowe,
2. opłucnowe,
3. naczyniowe,
4. śródmiąższowe (modyfikacja własna).

Możliwość wykorzystania tych kryteriów diagnostycznych w znacznym stopniu odpowiada opisanym powyżej zmianom patofizjologicznym. Zmiany możliwe do zobrazowania muszą lokalizować się pod linią opłucnej, lub opłucną płucną w przypadku obecności płynu w jamie opłucnej. Oknem akustycznym umożli-

wijającym obrazowanie zmian jest obszar konsolidacji miąższu płucnego [13, 202]. W okolicy zamkniętego światła naczynia, w miąższu płucnym pojawia się niedodma. W części dystalnej do miejsca zamknięcia naczynia, niedodma jest wynikiem zmniejszenia się ilości surfaktantu wyścielającego pęcherzyki płucne jak i krwawienia do pęcherzyków płucnych [203]. W części płuca proksymalnej do miejsca zamknięcia światła naczynia niedodma jest efektem zwiększonego ciśnienia hydrostatycznego, uwolnienia mediatorów zapalnych, zwiększonej przepuszczalności naczyń i w konsekwencji gromadzenia się płynu w pęcherzykach płucnych [13].

Kryterium miąższowe

Obraz ultrasonograficzny zmian przylegających do opłucnej płucnej jest dość charakterystyczny. Najczęściej spotyka się hipoechogeniczne, prawie bezechowe zmiany, klinowatego kształtu (85%), rzadziej okrągłe, czy z nieregularnym zarysem brzeżnym podstawą zwrócone do linii opłucnej [13]. Liczba i wymiary stwierdzanych zmian mogą być bardzo różne, od pojedynczych zmian powyżej 30 mm do kilku i więcej zmian poniżej 5 mm. W największym badaniu przedstawionym przez Mathisa i wsp, średnia wielkość zmiany położonej podopłucnowo wynosiła 15,5×12,4 mm [64]. W części zmian w ich wnętrzu można uwidocznic prawie centralnie zlokalizowaną miernie hiperechogenną strukturę, która odpowiada obecności materiału zatorowego w tętnicy segmentalnej [64]. Artefakt linii C jest kolejnym elementem obserwowanym w tych zmianach. Widoczny jest on jako hiperechogenne pasmo, wymiarami zbliżone do szerokości podopłucnowo położonego obszaru konsolidacji. Rozpoczyna się na dolnym brzegu zmiany i przebiegając pionowo w dół kończy się na granicy ekranu [204]. Wraz z rezolucją zmian zatorowych obserwuje się wzrost ich echogeniczności, a zarysy brzeżne mogą być zarówno regularne, dobrze odgraniczone jak i nieregularne, czy zazębione z nieostрым odgraniczeniem [13, 64]. Według Mathisa i wsp. aż 66% stwierdzanych zmian lokalizuje się w segmentach tylnopodstawnych płuc i częściej po stronie prawej, co zgodne jest z anatomią tętnic płucnych [64]. Analizując obraz ultrasonograficzny zmian zawsze należy uwzględnić kontekst kliniczny i wywiad często sugerujący czas wystąpienia zmian zatorowych.

Kryterium opłucnowe

Na kryterium opłucnowe składają się dwa rodzaje zmian: obecność płynu w jamie opłucnowej i zmiany w linii opłucnej (*plural line*). W większości przypadków w jamie opłucnowej stwierdza się niewielką objętość płynu lokalnie przy obszarze konsolidacji tkanki płucnej, a w części przypadków płyn widoczny jest również przy podstawie płuca. W grupie pacjentów z zatorowością płucną obecność płynu w jamach opłucnowych stwierdza u 51% pacjentów w bada-

niu RTG klatki piersiowej, u około 57% pacjentów w tomografii komputerowej oraz u 70% w przekłatkowym badaniu USG [179, 197, 205]. Mechanizm gromadzenia się płynu może być związany z uwalnianiem mediatorów zapalnych i zwiększoną przepuszczalnością naczyń, jak również ze zwiększonym ciśnieniem w kapilarach opłucnej ściennej [179]. Płyn w jamie opłucnej w obszarze konsolidacji pojawia się bezpośrednio po incydencie zamknięcia naczynia tętniczego, zwykle w niewielkiej objętości, a maksymalna jego objętość stwierdzana jest około 3 dnia od wystąpienia zmian zatorowych i wówczas może być widoczny przy podstawie płuca. Uważa się, że częstość występowania płynu w jamie opłucnowej w przebiegu ZP może być w znacznym stopniu niedoszacowana, gdyż rozpoznanie ZP często nie jest brane pod uwagę w przypadku obecności płynu bez jednoznacznego rozpoznania, a z drugiej strony zbyt mała jego objętość nie jest widoczna w klasycznym badaniu rtg płuc [206].

Zmiany w linii opłucnej stwierdzić można w około 60% zmian zatorowych. Widoczne są przy obszarach konsolidacji tkanki płucnej przylegających do opłucnej. Zakres zmian obejmuje zmniejszenie echogeniczności linii opłucnej, jej odcinkowe przerwanie, jak również brak możliwości jej uwidocznienia. Uważa się, że zmiany te są konsekwencją zapalenia opłucnej [64].

Dodatkowym objawem ultrasonograficznym obserwowanym w ZP niewysokiego ryzyka jest „odcinkowy” brak objawu ślizgania opłucnej widoczny przy podstawie obszaru konsolidacji tkanki płucnej. Niestety potwierdzenie obecności tego typu zmian nie jest możliwe w innych technikach obrazowych, a częstość występowania tego objawu w ZP nie jest jeszcze określona.

Kryteria naczyniowe

Kryteria naczyniowe rozpoznania ZP obejmują trzy rodzaje zmian: (1) brak widocznego przepływu w gałęziach tętnicy płucnej w obszarze konsolidacji tkanki płucnej w ocenie z wykorzystaniem opcji dopplera kodowanego kolorem lub dopplera mocy, (2) ultrasonograficzny objaw określany jako *vascular sign* i (3) efekt rekanalizacji naczyń w obszarze konsolidacji.

Stwierdzenie braku przepływu w naczyniach tętnicy płucnej w obszarze konsolidacji tkanki płucnej w ocenie z wykorzystaniem opcji dopplera kodowanego kolorem lub dopplera mocy jest ważnym objawem potwierdzającym rozpoznanie ZP, pozwalającym jednocześnie wykluczyć zmiany o etiologii zapalnej. Zjawisko to określa się jako konsolidację z małym przepływem (*consolidation with little perfusion*) [18]. Kolejnym kryterium naczyniowym jest objaw określany jako *vascular sign*. Objaw ten w badaniu ultrasonograficznym możliwy jest do uwidocznienia tylko w obrazowaniu z wykorzystaniem opcji naczyniowych. Obserwuje się wówczas przepływ w naczyniach dochodzących do podpłucnowo położonego obszaru konsolidacji tkanki płucnej, bez możliwości ich wizualizacji w tym obszarze. Potwierdza on rozpoznanie ZP, gdyż odpowiada zamknięciu światła naczynia na szczycie zmiany przez materiał zatorowy.

Podobne zmiany widoczne są w badaniu wykonanym za pomocą tomografii komputerowej wysokiej rozdzielczości, z której to pochodzi określenie tego objawu [207]. Korzystając z PBUP zmiany te udokumentować można w czasie rzeczywistym, a oceniając dodatkowo spektrum przepływu w opcji dopplera spektralnego potwierdzić można, że amputacja przepływu na szczycie zmiany dotyczy gałęzi tętnicy płucnej. Trzecim kryterium naczyniowym jest tzw. efekt rekanalizacji naczyń w obszarze konsolidacji. PBUP umożliwia monitorowanie zmian w przebiegu ZP, a ocena przepływu w obszarze konsolidacji pozwala uwidocznnić powrót przepływu w uprzednio zamkniętych naczyniach. Zjawisko to obserwować można wykonując seryjne badania ultrasonograficzne podczas monitorowania terapii, czy też jako efekt samoistnej rekanalizacji [208]. Znajomość tego kryterium jest również niezwykle przydatna, gdy badanie wykonywane jest po drugiej dobie od wystąpienia zmian zatorowych, kiedy to rozpoczyna się samoistna rekanalizacja. Stwierdzenie wówczas tego efektu może potwierdzić kliniczną sugestię przebytej ZP.

Kryterium śródmiąższowe

Kryterium śródmiąższowe nie było dotychczas uwzględniane w diagnostyce ultrasonograficznej ZP niewysokiego ryzyka i brak jest danych na ten temat w dostępnym piśmiennictwie, jednakże obrzęk płuc opisywany jest sporadycznie w przebiegu ZP w klasycznym badaniu RTG płuc [209], a w badaniu za pomocą TK cechy obrzęku płuc stwierdzane są w około 10% badań wykonanych u chorych z ZP [210]. Według doświadczeń autora u dzieci zmiany ultrasonograficzne odpowiadające „lokalnemu” obrzękowi płuc w obszarach przylegających do zmiany typowych dla zatorowości płucnej niewysokiego ryzyka występują stosunkowo często. Widoczne są pod postacią zespołów śródmiąższowo-pęcherzykowych otaczających podopłucnowy obszar konsolidacji z typową charakterystyką dla ZP. Uważa się, że obrzęk płuc w przebiegu ZP powstaje w wyniku wzrostu ciśnienia w kapilarach płucnych [209, 211] i/lub wzrostu przepuszczalności naczyń okołopęcherzykowych [212, 213, 214]. Kolejnym wytłumaczeniem obecności „lokalnych” zespołów śródmiąższowo-pęcherzykowych towarzyszących zmianom zatorowym może być fakt, że w wyniku wzrostu przepuszczalności naczyń około 20 % płynu gromadzi się w przestrzeni śródmiąższowej [215]. Wzrost objętości płynu w tej przestrzeni w obrazie ultrasonograficznym odpowiada zespołom śródmiąższowym, a dodatkowo przy obecności płynu w świetle pęcherzyków płucnych widoczne są zespoły śródmiąższowo-pęcherzykowe. Kolejnym argumentem za współwystępowaniem ZP i lokalnego obrzęku płuc jest fakt, że zmiany odpowiadające „lokalnemu” obrzękowi płuc w kolejnych badaniach ustępują wcześniej niż podopłucnowe obszary konsolidacji tkanki płucnej (obserwacje własne autora pracy).

5.3.9. Ultrasonograficzne kryteria rozpoznania zatorowości płucnej niewysokiego ryzyka w PBUP u pacjentów dorosłych

Pierwsze ultrasonograficzne kryteria rozpoznania zatorowości płucnej opracowane zostały przez Mathis i wsp. i przedstawione 2005 r. Wyróżnia się trzy typy zmian jakie możliwe są do uwidocznienia w PBUP: typ I – zatorowość płucna pewną, typ II – zatorowość płucna prawdopodobna, typ III – zatorowość płucna możliwa. O typie I ZP rozpoznania zatorowości płucnej można mówić, gdy w badaniu uwidoczni się dwie lub więcej charakterystyczne zmiany, okrągłego lub trójkątnego kształtu, podstawą zwrócone do opłucnej. Typ II stwierdza się, gdy uwidoczni się jedną typową zmianę i płyn w jamie opłucnej. Typ III, czyli możliwą zatorowość płucną rozpoznaje się, gdy uwidocznione zmiany są zmianami małymi (<5 mm) podstawą zwróconymi do opłucnej płucnej z widoczną niewielką objętością płynu w jamie opłucnej.

Przedstawione kryteria dotyczą pacjentów dorosłych, a opracowane zostały na grupie 352 pacjentów. Analizując I i II typ zmian czułość i swoistość metody wyniosła odpowiednio 74% i 95%, przy angiografii TK jako metodzie referencyjnej [64]. Zwraca uwagę fakt, iż nie zawierają one kryteriów naczyniowych rozpoznania ZP i w kolejnych publikacjach odnośnie ZP również nie uwzględnia się tych kryteriów. Wynika to najpewniej z techniki badania, która zakłada, że większość badań płuc u pacjentów dorosłych wykonywana jest głowicami innymi niż głowice liniowe oraz dostępności zmian w płucach u pacjentów dorosłych, u których badanie w opcjach dopplerowskich utrudniać może znaczna grubość tkanek klatki piersiowej, przy jednocześnie stosunkowo niewielkich wymiarach podopłucnowych konsolidacji.

5.3.10. Doświadczenia własne w diagnostyce ZP u dzieci

Z prezentowanej powyżej grupy pacjentów do analizy wybrano dzieci, u których na podstawie badania ultrasonograficznego płuc postawiono rozpoznanie zatorowości płucnej. Rozpoznanie to stawiane było w oparciu o przedstawione kryteria rozpoznania ZP. Podstawowe dane odnośnie techniki badania, zastosowanego sprzętu i lekarzy wykonujących badanie omówiono w podrozdziale 4.2 „Przezskłatkowe badanie ultrasonograficzne płuc”. W związku z tym, że jednym z kryteriów rozpoznania ZP jest kryterium naczyniowe, badanie płuc w tej grupie chorych zawsze wykonywane było z wykorzystaniem opcji dopplerowskich. Podczas każdego badania korzystano z opcji dopplera kodowanego kolorem, dopplera mocy i dopplera spektralnego. PBUP z wykorzystaniem tych opcji omówiono w podrozdziale 2.4 „PBUP – ocena zmian w opcjach dopplerowskich”.

W analizowanym w rozprawie okresie od 10 listopada 2009 roku do 30 czerwca 2012 roku rozpoznanie zatorowości płucnej u dzieci w PBUP posta-

wiono u 7/322 pacjentów, co stanowi 2,2% analizowanej grupy. U wszystkich pacjentów wstępne rozpoznanie ZP postawione zostało na podstawie zmian stwierdzanych w PBUP. We wszystkich przypadkach była to zatorowość płucna niewysokiego ryzyka. W 5 przypadkach rozpoznanie postawiono u pacjentów ze znanymi czynnikami ryzyka ZP, a w dwóch przypadkach u pacjentów z białaczką (ALL i AML). Charakterystykę grupy wraz z wynikiem badania TK weryfikującym rozpoznanie ZP przedstawiono w tabeli 15.

Tabela 15. Charakterystyka grupy pacjentów z rozpoznaniem zatorowości płucnej, z uwzględnieniem wyniku badania TK klatki piersiowej

Table 15. Characteristics of patients with a diagnosis of pulmonary embolism with the results of the chest CT

Pacjent <i>Patient</i>	Wiek (lata) <i>Age (years)</i>	Choroba podstawowa <i>Underlying disease</i>	Weryfikacja TK <i>CT verification</i>
1	17	Zespół antyfosfolipidowy <i>Antiphospholipid syndrome</i>	Tak <i>Yes</i>
2	17	Zespół antyfosfolipidowy <i>Antiphospholipid syndrome</i>	Tak <i>Yes</i>
3	16	Trombofilia <i>Thrombophilia</i>	Tak <i>Yes</i>
4	10	ARDS	Tak <i>Yes</i>
5	14	ARDS	Tak <i>Yes</i>
6	14	ALL	Nie <i>No</i>
7	14	AML	Tak <i>Yes</i>

Obraz ultrasonograficzny zmian stwierdzonych w prezentowanej grupie dzieci spełniał wszystkie kryteria rozpoznania ZP zaproponowane przez Mathisa i wsp. jak również kryteria naczyniowe i śródmiąższowe.

We wszystkich przypadkach wynik badania ultrasonograficznego płuc weryfikowano badaniem za pomocą TK - WR. W 6 na 7 badań weryfikujących potwierdzono obecność zmiany o charakterze zatorowym w lokalizacji zgodnej z oceną ultrasonograficzną. W jednym przypadku, u dziecka z rozpoznaniem ALL, ZP nie potwierdzono. W tym przypadku rozpoznanie ZP potwierdzone zostało na podstawie obserwacji klinicznych i danych laboratoryjnych.

5.3.11. Dyskusja

Od 1990 roku dostępne są stosunkowo liczne publikacje odnośnie diagnostyki ultrasonograficznej ZP u chorych dorosłych, które wykorzystują przedstawione powyżej kryteria rozpoznania ZP, poza kryteriami śródmiąższowymi, które zaproponowane zostały przez autora rozprawy. Praktycznie brak jest prac dotyczących diagnostyki ZP u dzieci. Dostępne są jedynie dwie publikacje: jedna anglojęzyczna i jedna polskojęzyczna oraz trzy doniesienia zjazdowe. Wszystkie te prace pochodzą z ośrodka autora rozprawy i których jest on współautorem. Prezentowane dane dotyczą małej liczby chorych i wykorzystują kryteria opracowane dla pacjentów dorosłych zaadaptowane dla populacji pediatrycznej. Niewątpliwie wynika to z faktu, że częstość występowania ZP w obu tych populacjach to dwa skrajne bieguny tej choroby. Jeśli dodatkowo uwzględni się odmienną etiologię incydentów zatorowo-zakrzepowych, która u dzieci w większości przypadków jest wtórna do choroby podstawowej i fakt dobrego rokowania klinicznego ZP u dzieci, to przedstawione powyżej dane znajdują uzasadnienie. Powstaje zatem pytanie, czy PBUP może być przydatne w diagnostyce ZP u dzieci. Odpowiedź na to pytanie przynoszą publikacje z ostatnich dwóch lat, w których podkreśla się kilka ważnych aspektów ZP u dzieci. Po pierwsze grupy zwiększone ryzyka wystąpienia zmian zatorowych w płucach są stosunkowo liczne, a ocena płuc w badaniach TK sugeruje, że częstość stwierdzanych zmian jest istotnie większa niż do tej pory sądzono. Uwzględniając stosunkowo wysoką dawkę promieniowania rentgenowskiego podczas angiografii TK, a jeszcze wyższą w przypadku WS-TK, przy braku przydatności klasycznego badania RTG płuc w diagnostyce ZP, wydaje się, że korzystanie z diagnostyki ultrasonograficznej może być w pełni uzasadnione, szczególnie w diagnostyce wstępnej i monitorowaniu zmian.

Pomimo, że metoda ta nie posiada odpowiedniej walidacji w diagnostyce ZP również u dorosłych pacjentów, podstawy teoretyczne sugerują możliwość wykorzystania jej w diagnostyce ZP u dzieci. Szczególną grupą pacjentów pediatrycznych, w której PBUP powinno być wykorzystywane we wczesnej diagnostyce zmian zatorowych w płucach jest grupa dzieci leczonych z powodu choroby nowotworowej. Uwzględniając czynniki ryzyka ZP takie jak choroba nowotworowa, terapia przeciwnowotworowa i powikłania infekcyjne z nią związane oraz długotrwałe implantacje cewników centralnych, to grupa tych pacjentów wydaje się być najbardziej liczną z grup ryzyka ZP u dzieci. Ważnymi argumentami za korzystaniem z PBUP w diagnostyce ZP w tej grupie chorych są: dostępność metody, nieinwazyjność, szybkość i wydaje się, że duża skuteczność diagnostyczna, która wymaga jednak dalszych badań prospektywnych. Tym bardziej, że wiele zagadnień związanych z ZP w pediatrii, nie tylko związanych z diagnostyką, lecz również z terapią czeka jeszcze na opracowanie. Doświadczenia własne autora w diagnostyce ZP u dzieci za pomocą PBUP przemawiają za jej stosowaniem, pomimo iż dotyczą niewielkiej liczebnie grupy chorych. W

latach 2007-2012 na podstawie zmian stwierdzanych w PBUP rozpoznanie ZP postawiono u 13 pacjentów (w latach 2007-2008 u 6 pacjentów; w latach 2009-2012 u 7 pacjentów). W grupie pacjentów z lat 2009-2012 rozpoznanie ZP potwierdzone zostało w 6/7 przypadków badaniem TK. W jednym przypadku pacjentki z podstawowym rozpoznaniem ALL możliwość ZP potwierdziła dalsza obserwacja kliniczna i badania laboratoryjne na podstawie, których postawiono rozpoznanie inwazyjnej aspergilozy płucnej.

Pierwsza grupa chorych z lat 2007-2008 omówiona została w publikacjach z 2008 roku [216, 217]. Grupa z lat 2009-2012 obejmowała 7 dzieci leczonych w oddziale hematologii dziecięcej. Wstępne rozpoznanie ZP postawione zostało na podstawie zmian stwierdzanych w PBUP i obejmowało 3 dzieci z zakrzepicą naczyń obwodowych, 2 dzieci z rozpoznaniem ARDS i 2 dzieci leczonych z powodu choroby rozrostowej układu krwiotwórczego (ALL i AML). W ostatniej grupie dzieci stwierdzenie w płucach zmian o charakterze zatorowym umożliwiło rozpoznanie inwazyjnej aspergilozy płucnej (IAP). We wszystkich przypadkach w PBUP uwidocznione zmiany spełniały kryteria rozpoznania ZP podane przez Mathisa i wsp.[64], uzupełnione o kryteria naczyniowe i śródmiąższowe opracowane przez autora rozprawy. O ile w pierwszych dwóch grupach pacjentów stwierdzane zmiany dotyczyły pacjentów ze znanymi czynnikami ryzyka ZP, to w trzeciej grupie wykorzystane zostały do postawienia wstępnego rozpoznania IAP. W tych przypadkach zmiany zatorowe były konsekwencją zmian w naczyniach w przebiegu zakażenia grzybiczego. Rozpoznanie to potwierdzono w jednym przypadku w badaniu patomorfologicznym, a w drugim diagnostyką laboratoryjną i przebiegiem klinicznym. Podkreślić należy brak zgodności wyników PBUP z wynikami badania TK i dotyczyło to obu tych przypadków. W pierwszym przypadku wynik badania TK potwierdził zmiany typowe dla IAP, jednak bez cech angioinwazyjnej jej postaci, która rozpoznana była w PBUP i potwierdzona w badaniu autopsyjnym. W drugim przypadku wynik badania TK nie potwierdził rozpoznania IAP, które postawione zostało w PBUP. Wydaje się, że mimo bardzo małej liczebności prezentowanej grupy PBUP można być wykorzystywane w diagnostyce zmian zatorowych w płucach u dzieci. Kolejnym ważnym aspektem jest znajomość obrazu ultrasonograficznego zatorowości płucnej u dzieci w kontekście diagnostyki różnicowej zmian zapalnych w płucach. Znajomość obrazu ZP i korzystanie z opcji dopplerowskich pozwala na natychmiastowe postawienie prawidłowego rozpoznania wstępnego. Dodatkowo korzystając z PBUP możliwe jest monitorowanie dynamiki zmian patologicznych w płucach na przestrzeni czasu oraz odpowiedzi na stosowaną terapię.

5.4. Diagnostyka ultrasonograficzna zapalenia płuc

W tej części pracy przedstawiono doświadczenia własne autora w diagnostyce inwazyjnej choroby grzybiczej płuc (IChGP) za pomocą przezklatkowego

badania ultrasonograficznego płuc. Celem przybliżenia obrazu ultrasonograficznego zmian w płucach w przebiegu IChGP autor uznał za zasadne przedstawienie na wstępie kryteriów diagnostycznych i obrazu ultrasonograficznego zmian zapalnych w płucach o innej etiologii niż grzybicza, ponieważ wykorzystywane są one w diagnostyce różnicowej.

5.4.1. Podstawy rozpoznania zapalenia płuc w PBUP

Stwierdzenie obecności płynu w jamie opłucnej było jednym z pierwszych klinicznych zastosowań ultradźwięków, a uwidocznienie obszarów konsolidacji tkanki płucnej w przebiegu zmian zapalnych jednym z pierwszych zastosowań ultradźwięków w diagnostyce chorób płuc. W chwili obecnej w obu tych przypadkach diagnostyka ultrasonograficzna uznawana jest za metodę komplementarną lub alternatywną do klasycznego badania radiologicznego klatki piersiowej [57]. Dotyczy to zarówno pacjentów dorosłych jak i dzieci, przy złotym standardzie diagnostyki obrazowej zmian zapalnych w płucach jakim jest badania za pomocą tomografii komputerowej (TK).

Obrazy ultrasonograficzne zmian zapalnych w mięszu płuc u pacjentów dorosłych, podobnie jak i obecność płynu w jamie opłucnej, znane i opisywane są od ponad 30 lat [2, 3]. Pierwszy opis klasycznego płatowego zapalenia płuc u dziecka przedstawili Versluis i Lamers w 1993 roku [218]. Pomimo znaczącego postępu technologicznego i jakościowego skoku w wykorzystywanym sprzęcie, podstawowe kryteria rozpoznania zmian zapalnych w płucach na przestrzeni ostatnich 30 lat rozwoju diagnostyki ultrasonograficznej płuc uległy tylko niewielkim modyfikacjom. Postęp jaki dokonał się w diagnostyce ultrasonograficznej zmian zapalnych w płucach przebiegał zgodnie z dwoma trendami rozwoju badań ultrasonograficznych płuc: diagnostyką ultrasonograficzną zmian w płucach w grupie pacjentów w stanie zagrożenia życia i diagnostyką planową ukierunkowaną na grupę pacjentów z problemami ze strony układu oddechowego. Specyfika pacjentów każdej z tych grup determinuje zarówno technikę badania płuc, jak i parametry stosowanego sprzętu ultrasonograficznego. Nieco inne są również podstawowe kryteria rozpoznania zmian zapalnych w płucach w obu tych grupach, które szczegółowo omówiono w dalszej części pracy.

5.4.2. Diagnostyka ultrasonograficzna zapalenia płuc w przezklatkowym badaniu ultrasonograficznym u pacjentów w stanie zagrożenia życia

Generalnie uważa się, że podstawą możliwości obrazowania zmian zapalnych w płucach za pomocą ultradźwięków jest ich bezpośredni kontakt z opłucną płucną i tylko takie zmiany możemy uwidocznić w PBUP. W grupie pacjentów w stanie zagrożenia życia powyższe stwierdzenie nie stanowi ograniczenia

metody, gdyż 98,5% zmian istotnych klinicznie ma taką lokalizację [204]. Podstawą rozpoznania zapalenia płuc jest stwierdzenie dwóch objawów ultrasonograficznych określanych w języku angielskim jako: *tissue - like sign* i *shred sign* [137]. Objaw *tissue - like sign* definiowany jest jako obecność obszaru konsolidacji tkanki płucnej, który przylega do linii opłucnej, lub do opłucnej płucnej, jeżeli obecny jest płyn w jamie opłucnej. Obszar ten we wczesnej fazie zapalenia płuc w obrazie ultrasonograficznym zbliżony jest echogenicznością i echostrukturą do obrazu wątroby [137] i dobrze wyróżnia się na tle przylegającego do niego prawidłowego mięszu płuca. Kolejny objaw określany jako *shred sign*, jest objawem opisującym obszar konsolidacji, a odpowiada postrzępionemu, nieregularnemu zarysowi zewnętrznemu zmiany. Stwierdzenie obu tych objawów w grupie pacjentów ocenianych w stanie zagrożenia życia jest wystarczające do postawienia rozpoznania zapalenia płuc z czułością szacowaną na 90% i swoistością na 98% [62].

Ultrasonograficzne kryteria diagnostyczne obszaru konsolidacji tkanki płucnej w PBUP w badaniach wykonywanych w trybie nagłym, w stanach zagrożenia życia najpełniej przedstawił Daniel Lichtenstein [62]. Kryteria te z uwzględnieniem modyfikacji własnej autora zestawiono poniżej.

1. Zmiana zlokalizowana jest w obszarze klatki piersiowej.
2. Zmiana ma bezpośredni kontakt z linią opłucnej.
3. Widoczny jest rzeczywisty obraz zmiany, bez typowych artefaktów ultrasonograficznych.
4. Obraz zmiany określany jest jako *tissue-like pattern* – zbliżony morfologią ultrasonograficzną do obrazu prawidłowego mięszu wątroby (często określony jako *hepatization* – obszar zwątrobienia).
5. Ograniczenie zmiany zarówno powierzchniowe przy granicy linii opłucnej jak i w obszarach wewnątrz mięszu płuca jest nieregularne, a regularne w przypadku, gdy zmiana obejmuje cały płat płuca.
6. Ocena objawu określanego jako *sinusoid sign** jest konieczna celem wykluczenia lub potwierdzenia obecności płynu w jamie opłucnej, który w pewnych sytuacjach może imitować obszar konsolidacji w tkance płucnej.
7. Uwidocznienie bronchogramu powietrznego, płynowego lub mieszane-go (w klasycznym bakteryjnym zapaleniu płuc widoczny jest tzw. dynamiczny bronchogram powietrzny)
8. Uwidocznienie można przemieszczanie się obszaru konsolidacji zgodnie z akcją oddechową, obserwowane na ekranie monitora jako przemieszczanie się zmiany ze strony lewej na stronę prawą, lecz nigdy w kierunku od góry ku dołowi (głowica przyłożona podłużnie).

**Sinusoid sign* – objaw ten oceniany jest w opcji obrazowania *M-mode*. Pozwala potwierdzić bądź wykluczyć obecność płynu w jamie opłucnej. Sinusoidalny przebieg linii,

która odpowiada opłucnej płucnej potwierdza obecność płynu w jamie opłucnej, równoległy przebieg tej linii wyklucza obecność płynu. Sinusoidalny przebieg linii odpowiadającej opłucnej płucnej powstaje w wyniku przemieszczaniu się opłucnej płucnej ku górze i dołowi ekranu zgodnie z akcją oddechową, ku górze podczas wdechu ku dołowi podczas wydechu, zmieniając wymiar odpowiadający obecności płynu pomiędzy przeponą a opłucną płucną.

Analizując przedstawione powyżej kryteria diagnostyczne zapalenia płuc, uwzględnić należy, fakt, iż badanie w stanach nagłych wykonywane jest głównie głowicą *convex*, lub głowicą sektorową i z wykorzystaniem typowych przyłożeń głowicy zalecanych w tym typie badań (przyłożenie podłużne). Takie ograniczenia wymagają innych kryteriów diagnostycznych niż badania wykonywane ze wskazań ogólnych. Jednakże dzięki tym prostym kryteriom czas potrzebny do lokalizacji i oceny obszaru konsolidacji dla doświadczonego w tym typie badań lekarza szacuje się na około 2 min.

Pomimo, iż przedstawione powyżej kryteria rozpoznania zapalenia płuc w PBUP dotyczą pacjentów dorosłych z niewydolnością oddechową wydaje się, że w wybranych sytuacjach klinicznych mogą mieć zastosowanie u dzieci, gdyż w bardzo krótkim czasie umożliwiają postawienie wstępnego rozpoznania i ukierunkowanie dalszej diagnostyki. Uwzględniając specyfikę pacjentów pediatrycznych diagnostyka różnicowa ostrej niewydolności oddechowej u dzieci za pomocą PBUP jest łatwiejsza, obejmuje mniejszą liczbę schorzeń i znacznie rzadziej dotyczy pacjentów z już współistniejącymi zmianami w układzie oddechowym. Niewątpliwymi atutami tej metody są: możliwość wykorzystania jej w dowolnym miejscu, krótki czas badania i nieinwazyjność, a uzyskane dane możliwe są do wykorzystania natychmiast w procesie diagnostyczno-terapeutycznym.

5.4.3. PBUP w diagnostyce zapalenia płuc ze wskazań innych niż stany nagłe

Podstawowe ultrasonograficzne kryteria rozpoznania zapalenia płuc za pomocą PBUP po raz pierwszy przedstawił Germacher ponad 15 lat temu [8]. W 2007 roku zostały one uzupełnione i szczegółowo opracowane przez Angelikę Rensing i wsp. [15] dla diagnostyki zmian zapalnych w płucach ze wskazań innych niż stan bezpośredniego zagrożenia życia. W tych przypadkach PBUP wykonuje się nie tylko głowicami sektorowymi, czy typu *convex*, lecz również głowicami liniowymi wysokiej częstotliwości z zastosowaniem obrazowania harmonicznego i za pomocą opcji dopplerowskich [15, 157, 219]. Podstawowe założenia diagnostyki ultrasonograficznej zmian zapalnych w płucach są takie same jak u pacjentów w stanie zagrożenia życia. Inna jest jednak technika badania i dodatkowo wykorzystuje się kryteria rozpoznania zapalenia płuc, na które składają się kryteria mięsaszowe, opłucnowe i naczyniowe.

5.4.4. Ultrasonograficzne kryteria rozpoznania zapalenia płuc

5.4.4.1. Kryteria mięszowe

Kryteria mięszowe rozpoznania zapalenia płuc uwzględniają następujące zmiany:

1. Podopłucnowe obszary konsolidacji tkanki płucnej
2. Bronchogram powietrzny
3. Bronchogram płynowy
4. Bronchogram mieszany płynowo-powietrzny
5. Objaw pułapki powietrznej
6. Powierzchnowy płynny alweologram

Ad. 1. Podopłucnowe obszary konsolidacji tkanki płucnej to obecność pod opłucną płucną różnej wielkości i kształtu obszarów tkanki płucnej, z nieregularnym i ząbkowanym zarysem brzeżnym, o echogeniczność zbliżonej do echogeniczności mięszu wątroby i niejednorodnej echostrukturze zmian. Za obszar konsolidacji tkanki płucnej w PBUP uznaje się każdą bezpowietrzną zmianę ogniskową przylegającą do opłucnej płucnej. Zmiany te prawie we wszystkich przypadkach są dobrze widoczne na tle prawidłowo upowietrzonego płuca i widocznych w ich otoczeniu artefaktów ultrasonograficznych linii B, linii Z i linii I. Stwierdzenie tych artefaktów jest często markerem sugerującym konieczność poszukiwania obszarów konsolidacji tkanki płucnej.

Ad. 2. Bronchogram powietrzny – określenia tego używa się dla opisu obecności w obszarach konsolidacji tkanki płucnej licznych, drobnych hiperechogennych odbić, najczęściej układających się w linijne, hiperechogenne struktury odpowiadające anatomicznemu układowi drzewa oskrzelowego. Hiperechogeniczność tych zmian jest artefaktem wynikającym z obecności powietrza w drogach oddechowych.

Wyróżnia się bronchogram powietrzny dynamiczny i statyczny:

- bronchogram powietrzny dynamiczny – rozpoznaje się wówczas, gdy w obszarze konsolidacji tkanki płucnej uwidoczni się przemieszczanie hiperechogennych odbić zgodnie z akcją oddechową [219, 220].
- bronchogram powietrzny statyczny – to obecność hiperechogennych struktur układających się w kształcie drzewa oskrzelowego bez widocznego ich przemieszczania się zgodnie z akcją oddechową. Stwierdzenie tego typu bronchogramu pozwala na rozpoznanie zmian niedodmowych, które współwystępować mogą ze zmianami zapalnymi tkanki płucnej [27].

Ad. 3. Bronchogram płynowy to obecność płynu wysiękowego w drogach oddechowych. Widoczny jest jako bezechowe, liniowe struktury w obszarach konsolidacji tkanki płucnej, układające się w kształcie drzewa oskrzelowego. W przypadku stwierdzenia takich zmian konieczna jest ich ocena za pomocą opcji dopplerowski, która pozwala na odróżnienie drobnych oskrzeli wypełnionych płynem od naczyń płucnych. Należy pamiętać, że jedne i drugie struktury mają taki sam układ anatomiczny. W zmianach zapalnych bronchogram płynowy stwierdzany jest znacznie rzadziej niż bronchogram powietrzny, a jego obecność jednoznacznie sugeruje niedrożność oskrzela lub oskrzeli.

Ad. 4. Bronchogram mieszany płynowo-powietrzny rozpoznaje się wówczas, gdy uwidoczni się zmiany typowe dla bronchogramu płynowego z dodatkowo widocznymi drobnymi, hiperechogennymi odbiciami na tle bezechowych tabularnych struktur, bez przemieszczania się tych odbić zgodnie z akcją oddechową. Podobnie jak bronchogram płynowy jednoznacznie sugeruje niedrożność oskrzela lub oskrzeli. Czasami zaobserwować można pulsację tych hiperechogennych odbić zgodną z akcją serca, objaw ten określany jest jako *cardiac puls*. Zjawisko to wynika z przeniesienia energii skurczu serca na przylegający do osierdzia obszar konsolidacji i sugeruje znacznego stopnia rozległości zmian zapalnych w płucach [15 219].

Ad. 5. Objaw pułapki powietrznej odpowiada obecności obszaru o podwyższonej echogeniczności i soczewkowatym kształcie, który widoczny jest wewnątrz obszaru konsolidacji tkanki płucnej [9].

Ad. 6. Powierzchnowy płynny alweologram definiowany jest jako obecność wąskiego, jednorodnie bezechowego obszaru położonego bezpośrednio pod opłucną płucną, bez widocznego w nim bronchogramu powietrznego ani płynnego. Kryterium to stwierdzane jest stosunkowo rzadko i tylko we wczesnej fazie zapalenia płuc [15, 219].

5.4.5. Kryteria opłucnowe

Kryteria opłucnowe wykorzystywane w diagnostyce zmian zapalnych w płucach obejmują dwa typy zmian, które opisują objętości płynu stwierdzanego w jamie opłucnowej. Obecność niewielkiej objętości płynu w jamie opłucnej bezpośrednio przy obszarze konsolidacji tkanki płucnej i obecność znacznej objętości płynu w jamie opłucnej, który uwidocznili można przy podstawie płuca.

5.4.5.1. Kryteria naczyniowe

W PBUP kryteria naczyniowe zmian zapalnych w płucach obejmują ocenę unaczynienia obszaru konsolidacji. Ocena ta możliwa jest z wykorzystaniem trzech technik obrazowania:

1. opcji dopplera kodowanego kolorem, lub dopplera mocy,
2. opcji dopplera spektralnego,
3. obrazowania z wykorzystania ultrasonograficznych środków kontrastujących.

Ad. 1. Ocena w opcji dopplera kodowanego kolorem, lub dopplera mocy pozwala na uwidocznienie przepływu w naczyniach obszaru konsolidacji. Widoczny jest wówczas charakterystyczny układ naczyń w kształcie gałęzi drzewka, które rozgałęziają się od części centralnej do obwodu płuca zgodnie z ich anatomicznym układem.

Ad. 2. Analiza półilościowa przepływu w opcji dopplera spektralnego polega na stwierdzeniu charakteru przepływu w naczyniach ocenianego obszaru, pozwala na określenie czy jest to tętnica płucna czy tętnica oskrzelowa. Szczegółowa charakterystyka i kryteria oceny przepływu w obszarze konsolidacji przedstawiona została szczegółowo w podrozdziale 4.2 „PBUP – ocena zmian w opcjach dopplerowskich”.

Ad. 3. Ocena unaczynienia obszaru konsolidacji z wykorzystaniem ultrasonograficznych środków kontrastujących (UŚK). Opcja ta jest niezwykle przydatna w diagnostyce różnicowej zapalenia płuc z zatorowością płucną, ropniem płuca czy obwodowo położonym guzem nowotworowym płuca u pacjentów dorosłych [221, 222]. Niestety do tej pory UŚK nie posiadają rejestracji do stosowania w populacji pediatrycznej i nie są wykorzystywane.

Rozpoznanie zapalenia płuc w przekłatkowym badaniu ultrasonograficznym stawiane jest na podstawie wyżej podanych kryteriów. Korzystając z nich możemy określić lokalizację i rozległość procesu zapalnego, ocenić zajęcie jamy opłucnowej, opłucnej płucnej i opłucnej ściennej, monitorować skuteczność terapii i ewentualnych powikłań. W każdym przypadku konieczna jest ocena zmian stwierdzanych w badaniu ultrasonograficznym w połączeniu z obrazem klinicznym, z uwzględnieniem danych z wywiadu i wyników badań dodatkowych. Dodatkowo należy uwzględnić fakt, że zapalenie płuc jest procesem dynamicznym, tak więc zarówno czas, w którym wykonujemy badanie, jak i etiologia zapalenia mają istotne znaczenie dla uzyskiwanych obrazów.

5.4.6. *Obraz ultrasonograficzny zapalenia płuc w zależności od etiologii*

Zapalenie płuc to stan zapalny dolnych dróg oddechowych obejmujący miąższ płucny. Uwzględniając kryteria histologiczne i radiologiczne zapalenia płuc klasyfikowane są jako: płatowe zapalenie płuc (obszar konsolidacji tkanki płucnej, ograniczony do jednego płata lub segmentu płuca), odoskrzelowe zapalenie płuc (obecność rozsianych zagęszczeń tkanki płucnej, związanych z procesem zapalnym pierwotnie zlokalizowanym w małych oskrzelach), śródmiąższowe zapalenie płuc (proces zapalny zlokalizowany w przestrzeniach międzypęcherzykowych i międzyplacikowych, charakterystyczny zwłaszcza dla zakażeń wirusowych) i ropień płuca (martwicze zapalenie płuc – stan, w którym dochodzi do destrukcji tkanki płucnej i tworzenia jam) [223].

Podobnie jak w ocenie klinicznej i w innych technikach obrazowych, obraz zmian zapalnych w płucach stwierdzany w PBUP w znacznym stopniu zależy od etiologii zakażenia, odpowiedzi gospodarza na czynnik sprawczy i czasu trwania choroby. Inne zmiany stwierdza się w przypadku infekcji wywołanych bakteriami, wirusami czy w przebiegu inwazyjnego zakażenia grzybiczego. Dlatego też przystępując do wykonania PBUP płuc konieczna jest możliwie pełna znajomość danych z wywiadu. Obrazy zmian zapalnych w płucach stwierdzane w PBUP wraz z danymi z wywiadu mogą w wielu przypadkach sugerować ich etiologię.

5.4.7. *Płatowe zapalenie płuc*

W etiologii tych zapaleń płuc zasadniczą rolę przypisuje się pneumokokom (*Streptococcus pneumoniae*) [224]. Obraz zapalenia płuc o tej etiologii jest najlepiej poznanym i najszerzej opracowanym zagadnieniem w diagnostyce ultrasonograficznej zapalenia płuc. Jest stosunkowo charakterystyczny i powtarzalny. Składają się na niego ultrasonograficzne kryteria przedstawione powyżej. Należy podkreślić, że stwierdzane pojedynczo nie są one w pełni specyficzne dla zmian zapalnych w płucach, jednak występując wspólnie pozwalają na postawienie rozpoznania. Specyficzność stwierdzanych zmian znacznie wzrasta, jeżeli uzyskiwane obraz analizowane będą w kontekście klinicznym z uwzględnieniem czasu trwania choroby, gdyż okres choroby, w którym wykonane jest badanie ma istotny wpływ na obraz stwierdzanych zmian w PBUP w tym typie zapalenia płuc.

5.4.8. *Wczesna faza zapalenia płuc*

We wczesnej fazie zapalenia uwidacznia się różnej wielkości obszary konsolidacji tkanki płucnej, od stosunkowo niewielkich zmian położonych podopłuc-

nowo, poprzez zmieniony zapalnie segment płuca, aż po zmiany obejmujące cały jego płat. Obserwowane w tym okresie zmiany są niskoechogeniczne, o jednorodnej echostrukturze, obrazem przypominające echostrukturę wątroby. W przypadku mniejszych zmian istotnym elementem jest stwierdzenie nieregularnego, ząbkowanego zarysu brzeżnego zmiany z silnie echogenicznymi odbiciami na jego granicy. Bronchogram powietrzny widoczny jest w około 87% przypadków [8, 225], w ocenie dynamicznej stwierdza się przemieszczanie się zgodnie z akcją oddechową drobnych hiperechogenicznych odbić wzdłuż gałęzi drzewa oskrzelowego. Bronchogram wodny lub mieszany powietrzno-wodny obserwuje się w około 16-92% badań [10]. Dane te dotyczą pacjentów dorosłych, a tak znaczna rozbieżność w częstości występowania tego objawu wynika najpewniej z doboru ocenianej grupy pacjentów. Jego obecność jest jednak bardziej charakterystyczna dla poststenotycznych zmian zapalnych, w zapaleniach płuc z obturacją drzewa oskrzelowego, najczęściej w przebiegu procesu nowotworowego [225, 226].

Zastosowanie dopplera kodowanego kolorem do oceny naczyń w obszarze konsolidacji tkanki płucnej jest ważnym elementem badania. Potwierdzeniem etiologii zapalnej jest stwierdzenie w obszarze konsolidacji prawidłowego przebiegu naczyń tętniczych i żylnych od części centralnej płuca do jego obwodu zgodnego z ich anatomicznym układem. Dodatkowo w przypadkach wątpliwych ocena parametrów przepływu w naczyniach tętniczych może w wielu przypadkach pozwolić na różnicowanie pomiędzy prostym a poststenotycznym zapaleniem płuc. W przypadku poststenotycznego zapalenia płuc wartości indeksów oporu i indeksów pulsacji są znacznie wyższe niż w przebiegu klasycznego bakteryjnego zapalenia płuc [18].

5.4.9. Faza zdrowienia

Wraz z czasem trwania choroby i skutecznym leczeniem echogeniczność obszaru konsolidacji wzrasta. Ta faza choroby charakteryzuje się w obrazie USG zmniejszaniem wymiarów obszaru konsolidacji oraz pojawieniem się licznych artefaktów ultrasonograficznych pod postacią silnie echogenicznych odbić powodujących „zamazanie” dobrze widocznego poprzednio obszaru konsolidacji tkanki płucnej [137, 226]. Związane jest to ze zwiększonym stopniem upowietrzniania się miększu płuca w obszarze konsolidacji.

5.4.10. Odoskrzelowe zapalenie płuc

Dla tego typu zmian zapalnych charakterystyczne jest stwierdzenie w badaniu radiologicznym klatki piersiowej licznych rozsianych zagęszczeń tkanki płucnej, jako konsekwencji procesu zapalnego pierwotnie zlokalizowanego w

obrębie małych oskrzeli. Brak jest dostępnych danych odnośnie obrazu ultrasonograficznego dla tego typu zmian zapalnych. Poniżej przedstawiono obraz ultrasonograficzny odoskrzelowego zapalenia płuc u dzieci na podstawie doświadczeń własnych autora, z wykorzystaniem głowicy liniowej jako podstawowej głowicy stosowanej w PBUP. Tak samo jak w przypadku płatowego zapalenia płuc w PBUP zmiany te możliwe są do uwidocznienia tylko w przypadku ich podopłucnowej lokalizacji. Stwierdza się wówczas obecność licznych drobnych obszarów konsolidacji przylegających do opłucnej płucnej, o średnicy od kilku do kilkunastu milimetrów z widocznym poniżej zmian artefaktem linii C. Często spotykanym objawem jest obecność w obszarach płuca bezpośrednio przylegających do tych zmian licznych ultrasonograficznych artefaktów linii B. W części przypadków bezpośrednio przy obszarach konsolidacji tkanki płucnej uwidacznia się obecność niewielkiej objętości płynu w jamie opłucnej. Dodatkowo obserwuje się występowanie licznych ultrasonograficznych artefaktów linii I i linii Z oraz „ogniskowo” widocznych zespołów śródmiąższowo-pęcherzykowych. W większości przypadków powyższe zmiany stwierdzone są w obu płucach, zarówno na przednio-bocznej, jak i tylnej powierzchni płuc, najczęściej na tylnej powierzchni płuc nadprzeponowo. Interpretacja stwierdzanych zmian wydaje się być stosunkowo prosta, poza stwierdzanymi w znacznej liczbie ultrasonograficznymi artefaktami linii I i linii Z, gdyż dotychczas nie opracowano dla tych artefaktów jednoznacznego modelu fizycznego.

Podobnie jak w przypadku płatowego zapalenia płuc obszary konsolidacji tkanki płucnej odpowiadają bezpowietrznemu miąższowi płuca jaki powstaje w przebiegu toczącego się procesu zapalnego. Widoczne liczne zespoły śródmiąższowe i śródmiąższowo-pęcherzykowe przy zmianach litych mogą odpowiadać zarówno obszarom o mniej nasilonym procesie zapalnym, z niewielką objętością wysięku w pęcherzykach płucnych, czy też, albo również tzw. efektowi masy, który powstaje jako impresja zmiany litej na otaczający miąższ płuca powodując częściowe zmniejszenie liczby w pełni powietrznych pęcherzyków, oraz utrudnienie drenażu chłonnego z tej okolicy.

„Ogniskowo” widoczne zespoły śródmiąższowo-pęcherzykowe to nic innego jak liczne, zlewające się ze sobą ultrasonograficzne artefakty linii B. Uwzględniając dotychczasową wiedzę o ich naturze, obecność tego typu zmian w odoskrzelowym zapaleniu płuc sugerować może obecność zmian we wczesnej fazie zapalenia jako etap do powstania obszaru konsolidacji tkanki płucnej, lub jako efekt masy w przypadku, gdy obszar konsolidacji nie ma bezpośredniego kontaktu z opłucną płucną. Uwzględnienie tej drugiej możliwości jest konieczne do pełnej analizy zmian zarówno w kontekście klinicznym jak i w planowaniu badań kontrolnych.

5.4.11. Śródmiąższowe zapalenie płuc

W śródmiąższowym zapaleniu płuc proces zapalny lokalizuje się głównie w przestrzeniach międzypłacikowych. U dzieci jest to najbardziej typowa lokalizacja zmian w przebiegu infekcji wirusowych. W grupie pacjentów dorosłych zmiany w tych przestrzeniach mogą znacznie częściej mieć inną niż wirusowa etiologię [57]. Ten typ zapalenia charakteryzuje się akumulacją komórek jednojądrzastych w błonie podśluzowej i przestrzeni okołonaczyniowej. Konsekwencją tych zmian jest częściowe zwężenie dróg oddechowych. Choroba postępuje, gdy komórki pęcherzykowe typu II tracą swoją strukturalną integrację i zdolność produkcji surfaktantu. Proces ten prowadzi do rozwoju błon hialinowych i obrzęku płuc. Zdecydowanie inny patomechanizm zmian w tym typie zapalenia płuc w porównaniu do zapalenia o etiologii bakteryjnej ma swoje odzwierciedlenie w obrazie ultrasonograficznym. Kryteria oceny zapalenia płuc powszechnie przyjęte dla zapaleń bakteryjnych zastąpione są kryteriami stosowanymi w diagnostyce obrzęku płuc. W tych przypadkach w diagnostyce wykorzystuje się artefakty ultrasonograficzne. Zmiany obserwowane we wczesnym okresie zapalenia widoczne mogą być jako proces lokalny ograniczony do kilku segmentów w każdym płacie, z czasem trwania procesu zapalnego obserwowana jest tendencja do uogólnionego obrzęku płuc. W PBUP stwierdzamy wówczas typowy obraz dla obrzęku płuc, na który składa się obecność licznych zmian określanych, jako zespoły śródmiąższowo-pęcherzykowe. Zmiany te w obrazie ultrasonograficznym widoczne są pod postacią licznych linii B oddalonych od siebie w odległości mniejszej niż 3,0 mm, a w skrajnych przypadkach jest to obraz tzw. „białego płuca” [25,30].

Uzyskiwane obrazy zawsze wymagają analizy w kontekście klinicznym. Spektrum stwierdzanych zmian jest szerokie, od obrazu prawidłowego płuc, poprzez uwidocznienie obszarów płuc z licznymi zespołami śródmiąższowo-pęcherzykowymi i niewielką objętością płynu w jamie opłucnowej widoczną przy podstawie płuc, aż po nasilone cechy obrzęku płuc, a w skrajnych przypadkach stwierdzane zmiany odpowiadają obrazowi jaki obserwuje się ARDS. Obraz ultrasonograficzny obrzęku płuc i ARDS u dzieci omówiono w rozdziale 5.3. „Obraz ultrasonograficzny i kryteria rozpoznania obrzęku płuc u dzieci”.

5.4.12. Ropień płuca (martwicze zapalenie płuc)

Jest to stan chorobowy, w którym dochodzi do destrukcji tkanki płucnej z tworzeniem się jam. W około 6% przypadków płatowych zapaleń płuc stwierdza się obecność ropnia w badaniach radiologicznych płuc [227], brak jest jednak danych populacyjnych co do rzeczywistej częstości jego występowania. W PBUP uwidocznienie ropnia w tkance płucnej możliwe jest tylko wówczas, gdy zlokalizowany jest w obszarze konsolidacji przylegającym do opłucnej płucnej. Obraz

ultrasonograficzny jest charakterystyczny i zależy od czasu jaki upłynął od momentu jego formowania się. We wczesnej fazie stwierdzamy dość dobrze ograniczoną, owalną lub okrągłą zmianę litą o niższej echogeniczności niż otaczający go obszar konsolidacji tkanki płucnej. Już w tej fazie zmian nie uwiadcza się w nim naczyń w ocenie dopplerem kodowanym kolorem. Wraz z postępowaniem choroby zmiana staje się prawie bezechowa, ograniczona miernie hiperechogenną torebką. Często stwierdza się obecność drobnych hiperechogenicznych odbić wewnętrznych odpowiadających bogatokomórkowej zawartości, lub wysokobiałkowej treści ropnej. W dalszym okresie rozwoju choroby uwiadczyć można hiperechogenne linijne odbicia dzielące zmianę na mniejsze kompartmenty, a odpowiadające obecności przegród. W przypadku infekcji bakteriami gazotwórczymi stwierdza się obraz typowy dla obecności pęcherzyków gazu w płynie: drobne, hiperechogenne odbicia, z wygaszeniem echa poniżej, przemieszczające się zgodnie z akcją oddechową [227]. Obraz taki należy różnicować z ropniem posiadającym łączność z drzewem oskrzelowym. W tym przypadku jednak uwiadcza się z reguły znacznie więcej hiperechoogenicznych odbić wewnętrznych oraz zmieniającą się objętość ropnia w zależności od akcji oddechowej. W PBUP częściej niż w klasycznym badaniu radiologicznym uwiadcza się małe ropnie. Są to zmiany o średnicy poniżej 2,0 cm, których obraz ultrasonograficzny we wczesnej fazie ich powstawania w PBUP przypomina obraz drobnych torbieli jakie uwiadcza się w narządach mięszzowych jamy brzusznej [225, 228]. Widoczne są wówczas jako bezechowe obszary, owalne lub okrągłe, o średnicy do kilku milimetrów. W diagnostyce ropnia płuc przydatne jest badanie ultrasonograficzne z zastosowaniem ultrasonograficznych środków kontrastujących. Obraz ropnia jest charakterystyczny, obserwuje się wówczas brak ultrasonograficznego środka kontrastującego w obszarze ropnia, przy typowym obrazie zmian w obszarze konsolidacji [221, 222].

5.4.13. Atypowe zapalenie płuc

Spośród czynników etiologicznych atypowych zapaleń płuc za trzy główne uznaje się: *Chlamydia pneumoniae*, *Mycoplasma pneumoniae* i *Legionella pneumoniae*. Ta etiologia zapalenia płuc jest częstsza w łagodnych i ambulatoryjnych przypadkach zapaleń płuc. Najłagodniej przebiega mykoplazmatyczne zapalenie płuc, najcięższy kliniczny przebieg ma zapalenie płuc, wywołane przez pałeczki z rodzaju *Legionella* [223]. Częstość występowania atypowych zapaleń płuc, szacuje się na 6-20% wśród chorych ambulatoryjnych i na powyżej 40% wśród chorych hospitalizowanych z powodu zapalenia płuc [223, 229]. Zakażenie następuje drogą wziewną, powodując uszkodzenie komórek nabłonka oddechowego, do którego dochodzić może na drodze różnych mechanizmów: od bezpośredniego uszkodzenia komórek, do reakcji na drodze immunologicznej. Stwierdzane zmiany zapalne dotyczą głównie obwodowych partii płuc i często

występują obustronnie. Obraz ultrasonograficzny zmian zapalnych płuc w przebiegu atypowej infekcji nie jest charakterystyczny. Wyróżnić można dwa typy zmian: ograniczony i rozlany. W postaci ograniczonej stwierdza się przylegający do opłucnej płucnej obszar konsolidacji tkanki płucnej różnej wielkości, z możliwością zajęcia całego płata. Dodatkowymi objawami możliwymi do uwidocznienia są: widoczny lokalnie przy konsolidacji wolny płyn w jamie opłucnej, z reguły w niewielkiej objętości, liczne ultrasonograficzne artefakty linii B na obwodzie zmiany i nieregularny zarys linii opłucnej.

Typ rozlany zmian zapalnych charakteryzuje się obecnością licznych, drobnych od 2,0 do 10,0 mm zmian ogniskowych litych odpowiadających obszarom konsolidacji, które przylegają do opłucnej płucnej. Konsolidacje te stwierdzone są w różnych obszarach płuc, rzadziej uwidoczniona niewielką lokalną warstwę płynu w jamie opłucnowej. Częstym objawem jest obecność licznych artefaktów linii Z i artefaktów linii I. Przedstawiony powyżej obraz zmian wymaga dalszych prospektywnych badań, podane dane oparte są na doświadczeniu autora. Jednakże ze względu na fakt, że problem zakażeń atypowych to nie kwestia częstości ich występowania, lecz trudności diagnostycznych, autor uznał za zasadne podzielenie się własnymi obserwacjami.

5.4.14. Zapalenie płuc o etiologii grzybiczej

W ogólnej populacji pediatrycznej rozpoznanie inwazyjnej choroby grzybiczej płuc (IChGP) należy do zupełnie wyjątkowych i przez większość lekarzy pediatrów słusznie uważane za kazuistykę. Sytuacja zmienia się diametralnie, jeśli uwzględni się pacjentów z grupy ryzyka, bądź wysokiego ryzyka rozwoju inwazyjnego zakażenia grzybiczego (IZG). Najlicniejszą grupę ryzyka rozwoju IZG stanowi grupa pacjentów oddziałów hematologii ze względu na również najlicniejszą grupę czynników rozwoju tego zakażenia. W tej grupie chorych częstość występowania IZG szacuje się na 4,9-29% dzieci poddawanych intensywnej chemioterapii [230], a rzeczywista częstość występowania IChGP nie jest znana. Należy również podkreślić fakt, iż dostępna liczba publikacji odnośnie epidemiologii zarówno IZG jak i IChGP jest nieliczna. Istotny jest jednak notowany w ostatnich latach wzrost liczby rozpoznawanych zakażeń grzybiczych nie tylko w badaniach autopsyjnych [231, 232], lecz również życiowo i w innych grupach ryzyka niż pacjenci z chorobą nowotworową, dotyczy to głównie u pacjentów leczonych w oddziałach intensywnej terapii [231, 232, 233, 234, 235]. Obserwacje te odnoszą się głównie do pacjentów dorosłych, lecz podobne dane prezentowane są dla populacji pediatrycznej [236]. W obu tych grupach chorych prawidłowe i wczesne rozpoznanie IChGP nabiera zupełnie innego wymiaru. Jest to często rozpoznanie ratujące życie, a w znacznej większości przypadków może mieć istotny wpływ na jakość życia tych chorych po zakończonym leczeniu z powodu choroby nowotworowej. Z tego też względu

nadal poszukuje się metod diagnostycznych, które pozwalałyby szybko i precyzyjnie potwierdzić, bądź wykluczyć IChGP. Skalę problemu diagnostyki IChGP najlepiej ilustruje fakt wprowadzenia w grupie pacjentów wysokiego ryzyka rozwoju IZG tzw. terapii wyprzedzającej, opartej na obserwacji klinicznej, bez konieczności potwierdzenia rozpoznania dostępnymi metodami.

A. fumigates i *A. terreus* są głównymi czynnikami etiologicznymi grzybiczego zapalenia płuc, które jest jednocześnie głównym objawem klinicznym inwazyjnej aspergilozy płucnej (IAP). [237]. Szacuje się, że każdy z nas wdycha od 100 do 200 tych mikroorganizmów dziennie. Jeżeli dodatkowo uwzględnimy czynniki sprzyjające rozwojowi infekcji grzybiczej związane ze stanem odporności gospodarza, takie jak głęboka ($<100/\text{mm}^3$) i przedłużona (>15 dni) neutropania oraz fakt, iż w grupie dzieci z największym ryzykiem rozwoju IAP zmiany patomorfologiczne odpowiadają angioinwazyjnej jej postaci z krwawieniem do pęcherzyków płucnych i zawałem płuca, to IAP jest to jedną z najczęstszych i zarazem najcięższych manifestacji klinicznych inwazyjnej choroby grzybiczej [238].

Wczesne rozpoznanie inwazyjnej aspergilozy płucnej nadal pozostaje niezwykle wielkim wyzwaniem dla klinicystów. Pomimo dysponowania coraz nowocześniejszymi metodami diagnostycznymi ich przydatność w codziennej praktyce jest jednak mocno ograniczona [238]. Zgodnie z ustaleniami zawartymi w raporcie EORTC/MSG (European Organisation for Research and Treatment of Cancer and the Mycoses Study Group) pewne rozpoznanie inwazyjnej choroby grzybiczej możliwe jest tylko w przypadku dodatniego wyniku badania histopatologicznego albo wyizolowania i hodowli patogenu metodami mikrobiologicznymi z materiału pochodzącego z biopsji tkanki lub dodatni wynik posiewu materiału pochodzącego z fizjologicznie jałowych płynów ustrojowych [239]. Uwzględniając powyższe kryteria rozpoznania inwazyjnej choroby grzybiczej zdawać sobie musimy sprawę, że rozpoznanie inwazyjnej aspergilozy płucnej jako pewnego zakażenia we wczesnym okresie rozwoju zmian w codziennej praktyce klinicznej w większości przypadków nie jest możliwe. I jest to tylko przysłowiowy wierzchołek góry lodowej problemów jakie napotykamy w przypadku nie tylko diagnostyki, ale i terapii IAP, gdyż decyzja o rozpoczęciu systemowego leczenia przeciwgrzybiczego opiera się głównie na kryteriach klinicznych i diagnostyce obrazowej płuc [238], której złotym standardem jest badanie za pomocą tomografii komputerowej wysokiej rozdzielczości (TK-WR).

5.4.15. Doświadczenia własne w diagnostyce IAP za pomocą PBUP

W dostępnym piśmiennictwie, nie ma publikacji odnośnie możliwości wykorzystania PBUP w diagnostyce inwazyjnej choroby grzybiczej płuc. Celem przybliżenia obrazu ultrasonograficznego zmian w płucu w przebiegu tej choroby autor uznał za zasadne przedstawienie na wstępie obrazu ultrasonograficznego i kryteriów diagnostycznych zmian zapalnych w płucach o etiologii innej niż

grzybicza, ponieważ są one wykorzystywane w diagnostyce różnicowej i były podstawą opracowania ultrasonograficznych kryteriów rozpoznania IAP u dzieci. Kryteria te opracowane były przez autora rozprawy w oparciu o obraz ultrasonograficzny bakteryjnego zapalenia płuc z uwzględnieniem patofizjologii zmian typowych dla infekcji grzybiczej płuc. W tej części opracowania przedstawiono analizę obrazów ultrasonograficznych zmian w płucach u dzieci z klinicznie potwierdzoną IAP. Analizy tej dokonano, aby ocenić i ewentualnie uzupełnić wykorzystywane do tej pory, a oparte głównie na założeniach teoretycznych, ultrasonograficzne kryteria rozpoznania inwazyjnej grzybicy płuc u dzieci.

W analizowanym w rozprawie okresie od 10 listopada 2009 roku do 30 czerwca 2012 roku na podstawie wyniku PBUP wstępne rozpoznanie IAP postawiono 30-krotnie w grupie 26 dzieci (12 dziewczynek i 14 chłopców, w wieku od 6 do 18 lat, do średnia wieku 12,7 lat), leczonych w oddziale Hematologii Dziecięcej Katedry i Kliniki Pediatrii, Hematologii i Onkologii Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego w Gdańsku z podstawowym rozpoznaniem ALL (13 pacjentów), AML (8 pacjentów) i SAA (1 pacjent). U 4 pacjentów IAP rozpoznano dwukrotnie, u jednego pacjenta z rozpoznaniem AML i u 3 z ALL.

Kryterium włączenia pacjenta do analizowanej grupy badań było potwierdzone innymi metodami diagnostycznymi i przebiegiem klinicznym rozpoznanie inwazyjnej aspergilozy płucnej. W trzech incydentach było to rozpoznanie udokumentowane, w 12 incydentach zostało zakwalifikowane jako prawdopodobne, a w 15 incydentach jako możliwe. Kryteria kwalifikacji IAP dokonano zgodnie z ustaleniami zawartymi w raporcie EORTC/MSG [239]. Analizie poddano obrazy ultrasonograficzne zmian w płucach na podstawie, których postawione zostało wstępne rozpoznanie IAP. Przeanalizowano sekwencje filmowe rejestrowane podczas każdego badania ultrasonograficznego płuc w tej grupie chorych. Filmy nagrywane były w formie plików elektronicznych w formacie WMV lub AVI o długości od 9 do 25 sekund i zawierały dokumentację zmian patologicznych jakie uwidoczniło podczas wykonanych badań.

W 29/30 badań przeanalizowano zgodność wstępnego rozpoznania ultrasonograficznego IAP z wynikiem badania za pomocą tomografii komputerowej płuc. W jednym przypadku (pacjent z rozpoznaniem SAA) badania tomograficznego nie wykonywano ze względu na rozpoznanie podstawowe i bardzo ciężki stan ogólny pacjenta. W tym przypadku przebieg terapii z punktu widzenia diagnostyki obrazowej monitorowano tylko za pomocą PBUP.

Podstawowe dane odnośnie lekarzy wykonujących badania, jego techniki i zastosowanego sprzętu i omówiono w podrozdziale 4.2 „Przezskłatkowe badanie ultrasonograficzne płuc”.

Ultrasonograficzne kryteria na podstawie, których w analizowanej grupie postawione było wstępne rozpoznanie IAP obejmowały kryteria mięszkowe, opłucnowe i naczyniowe zgodnie z kryteriami rozpoznania bakteryjnego zapalenia płuc z uwzględnieniem specyfiki etiologii grzybiczej zapalenia płuc. Ustalając te kryteria uwzględniono dwie charakterystyczne cechy dla tego zakażenia:

angioinwazyjność i destrukcje tkanek w zajętych obszarze z powstawaniem obszarów martwicy.

Za kryteria mięszkowe uznano obecność obszarów konsolidacji tkanki płucnej zlokalizowanych w bezpośrednim kontakcie z opłucną płucną. Uwzględniano następujące cechy charakteryzujące te zmiany:

- największy, możliwy do oceny wymiar zmiany,
- ograniczenie zmiany (większość zmian jest źle ograniczona, często nie udaje się jednoznacznie określić ich wymiarów,
- kształt zmiany (może mieć znaczenie w przypadku zmian mniejszych do 30 mm w największym wymiarze, gdyż zgodnie z zajęciem naczyń lub naczyń ma wówczas najczęściej kształt trójkąta z podstawą zwróconą do linii opłucnej, podobnie jak ma to miejsce w zatorowości płucnej),
- echogeniczność zmiany (zbliżona jest do echogeniczności wątroby, a niższa w przypadku nasilonych zmian martwiczych)
- echostruktura zmiany (niejednorodna z widocznymi licznymi hiperechogenicznymi odbiciami, które odpowiadają bronchogramowi statycznemu, układ tych struktur, w przeciwieństwie do zmian zapalnych o etiologii bakteryjnej, jest nieregularny i nie można uwiarygodnić charakterystycznego, anatomicznego ich układu, najpewniej jest to efekt nasilonych zmian destrukcyjnych w mięszku płucnym),
- bronchogram (częściej widoczny bronchogram statyczny, niż dynamiczny, a w dużych zmianach również bronchogram mieszany lub płynny),
- obecność martwicy tkanek (obraz tych zmian może być różny: od zmiany typowych dla ropnia płuc do zmian odpowiadających małym ropniom na obwodzie zmiany, widoczne są wówczas jako owalne lub okrągłe, niskoechogeniczne lub bezechowe zmiany, do 5,0-8,0 mm średnicy).

Za kryteria opłucnowe przyjęto takie same kryteria jak dla rozpoznania bakteryjnego zapalenia płuc, które obejmują ocenę: linii opłucnej, objawu ślizgania opłucnej i ocenę płynu w jamie opłucnej.

Kryteria naczyniowe, w których ocenie podlega unaczynienie obszarów konsolidacji tkanki płucnej z zastosowaniem opcje dopplera kodowanego kolorem, dopplera mocy i ocena ultrasonograficznych artefaktów dopplerowskich. W obszarach konsolidacji tkanki płucnej stwierdza się trzy typy zmian:

- układ naczyń w kształcie charakterystycznego drzewka – obraz typowy dla bakteryjnego zapalenia płuc i obszarów niedodmy,
- układ naczyń inny niż typowy, z nieregularnym ich przebiegiem i/lub z obszarami bez widocznego przepływu, (efekt nasilonych zmian martwiczych)

- amputacja przepływu w naczyniu na szczycie zmiany- objaw ten określany jako *vascular sign* (podobnie do zmian obserwowanych w zatorowości płucnej, jako konsekwencja zmian zatorowo-zakrzepowych w gałęziach tętnicy płucnej)

Przedstawione kryteria są bardzo zbliżone do kryteriów rozpoznania bakteryjnego zapalenia płuc, różnią się jednak istotnie w kilku elementach:

1. Ograniczenie zmiany: większość zmian w IAP jest źle ograniczona, często nie udaje się jednoznacznie określić ich wymiarów.
2. Echostruktura zmiany: niejednorodna z obszarami o niższym echu na tle podstawowej echogeniczności typowej dla echogeniczności wątroby.
3. Bronchogram: częściej widoczny jest bronchogram statyczny, niż dynamiczny, jeśli widoczny jest bronchogram dynamiczny to nie układa się on zgodnie z układem anatomicznym oskrzeli.
4. Obecność martwicy tkanek głównie na obwodzie zmiany.
5. Układ naczyń w zmianie inny niż typowy, z nieregularnym ich przebiegiem i/lub z obszarami bez widocznego przepływu, lub amputacja przepływu w naczyniu na szczycie zmiany.

5.4.16. Wyniki

Analizę obrazów ultrasonograficznych zmian w płucach w prezentowanej grupie pacjentów z rozpoznaniem IAP zestawiono w tabeli 16. Uwzględniono w niej kryteria rozpoznania wraz częstością ich występowania w badanej grupie dzieci.

Tabela 16. Charakterystyka obrazu ultrasonograficznego zmian w płucach u dzieci z rozpoznaniem inwazyjnej choroby grzybiczej płuc (30 incydentów u 26 pacjentów) potwierdzonym badaniem TK i przebiegiem klinicznym

Table 16. Characteristics of the ultrasound changes in the lungs in children with a diagnosis of invasive pulmonary mycosis (30 events in 26 patients) confirmed by CT and clinical outcome

Charakterystyka zmian <i>Changes characteristic</i>		Liczba <i>Number</i>	Odsetek <i>Percentage</i>
Lokalizacja <i>Location</i>	Strona lewa <i>Left side</i>	7/30	23,3
	Strona prawa <i>Right side</i>	8/30	26,7
	Obustronnie <i>Both side</i>	15/30	50,0

Charakterystyka zmian <i>Changes characteristic</i>		Liczba <i>Number</i>	Odsetek <i>Percentage</i>
<i>Liczba zmian</i> <i>Number of lesions</i>	<i>1</i>	3/30	10,0
	<i>2</i>	4/30	13,3
	<i>3</i>	4/30	13,3
	<i>>3</i>	19/30	63,3
Wielkość zmian <i>Size of the lesions</i>	<i>Małe</i> <i>Small</i>	4/30	13,3
	<i>Średnie</i> <i>Medium</i>	10/30	33,3
	Duże Large	16/30	53,3
Ograniczenie zmiany <i>Borders of change</i>	Złe – nieregularny, zatarty Bad - irregular, obliterated	22/30	73,3
	<i>Dobre - regularny, gładki</i> <i>Good - regular, smooth</i>	8/30	26,6
<i>Płyn w jamie opłucnej</i> <i>Pleural effusion</i>	Lokalnie Locally	17/30	56,7
	<i>Przy podstawie płuca</i> <i>At the base of the lungs</i>	4/30	13,3
	<i>W obu lokalizacjach</i> <i>In both locations</i>	9/30	30,0
<i>Linia opłucnej</i> <i>Pleural line</i>	<i>Prawidłowa</i> <i>Normal</i>	0/30	0
	Nie widoczna Not visible	30/30	100
Echogeniczność zmian <i>Echogenicity of changes</i>	Zbliżona do wątroby Similar to the liver	16/30	53,3
	<i>Niższa niż wątroby</i> <i>Lower than the liver</i>	12/30	40,0
	<i>Ropień płuca</i> <i>Lung abscess</i>	1/30	3,3
	<i>Tylko artefakty linii B</i> <i>Only B-line artifacts</i>	1/30	3,3

Charakterystyka zmian <i>Changes characteristic</i>	Liczba <i>Number</i>	Odsetek <i>Percentage</i>	
Bronchogram <i>Bronchogram</i>	Widoczny <i>Visible</i>	18/30	60,0
	Nie widoczny <i>Not visible</i>	12/30	40,0
	Powietrzny dynamiczny, zgodny z układem anatomicznym oskrzeli <i>Dynamic air bronchogram, with the anatomical structure of bronchi</i>	0/18	0
	Powietrzny dynamiczny niezgodny z układem anatomicznym oskrzeli <i>Dynamic air bronchogram, incompatible with the anatomical structure of bronchi</i>	8/18	44,4
	Powietrzny statyczny <i>Static air bronchogram</i>	10/18	55,6
	Płynny <i>Fluid bronchogram</i>	2/18	11,1
	Powietrzno-płynny <i>Air/fluid bronchogram</i>	0/18	0
Obecność pułapki powietrznej <i>Air trap</i>	Tak <i>Yes</i>	25/30	83,3
	Nie <i>No</i>	5/30	16,7
Artefakty linii B przy zmianie <i>B-line artifact by the lesion</i>	Tak <i>Yes</i>	27/30	90,0
	Nie <i>No</i>	3/30	10,0
Przepływ w zmianie <i>Flow in the change</i>	Brak danych <i>No data</i>	3/30	10,0
	Tak <i>Yes</i>	17/30	56,7
	Nie <i>No</i>	3/30	10,0
	<i>Vascular sign</i>	7/30	23,3

Analiza poszczególnych cech obrazu ultrasonograficznego zmian w płucach u dzieci z rozpoznaniem IAP

- **Lokalizacja zmian**

We wszystkich analizowanych przypadkach zmiany zlokalizowane były podopłucnowo: w 7/30 incydentach po stronie prawej, w 8/30 po lewej, a w 15/30 obustronnie. Lokalizacja zmian w zależności od rozpoznania podstawowego przedstawiała się następująco: po stronie lewej zmiany stwierdzono w 5 przypadkach u dzieci z rozpoznaniem ALL, w dwóch z AML, w jednym z NHL, po stronie prawej w 4 incydentach IAP u dzieci z rozpoznaniem ALL, u 2 z AML, w jednym przypadku z NHL. Obustronnie zmiany uwidoczniło w 7 przypadkach w przebiegu ALL, w pięciu w AML, dwóch w NHL i u jednego dziecka z anemią aplastyczną.

- **Liczba stwierdzanych zmian**

W trzech incydentach IAP uwidoczniło jedną zmianę, w czterech dwie, w czterech trzy zmiany, w pozostałych przypadkach stwierdzono powyżej trzech zmian.

- **Wielkość zmian**

Ocenę wielkości zmian przyjęto zgodnie z przedstawionym poniżej kryteriami. W przypadku, jeżeli u jednego pacjenta stwierdzano kilka zmian różnej wielkości w analizie uwzględniano wymiar największej zmiany. W 16/30 przypadkach IAP stwierdzono zmiany duże (maksymalny wymiar największej zmiany powyżej 30 mm), w 10/30 zmiany średnie (maksymalny wymiar największej zmiany nie przekraczał 30 mm), zmiany małe 4/30 (maksymalny wymiar największej zmiany nie przekraczał 10 mm).

- **Ograniczenie zmiany**

Oceniając ograniczenie zmiany analizowano jej zarys brzeżny, w stosunku do otaczających struktur. Za dobre ograniczenie uznano jej ostre odgraniczenie od prawidłowo powietrznego płuca, ze złe ograniczenie, jeżeli zarys ten był zatarty. Dobre ograniczenie zmian stwierdzono w 8/30 IAP, w tym w 3/8 dotyczyło to zmian małych i 5/8 zmian średnich. W pozostałych 22/30 przypadkach zmiany miały złe widoczne zarysy brzeżne.

- **Płyn w jamie opłucnej**

Wolny płyn w jamie opłucnej stwierdzono we wszystkich analizowanych incydentach IAP (30/30). W 17/30 przypadkach płyn widoczny był tylko lokalnie

przy zmianie, w 4/30 przy podstawie płuca, a w 9/30 zarówno przy zmianie jak i przy podstawie płuca. W przypadkach, gdy płyn w jamie opłucnej widoczny był tylko przy podstawie płuca a nie był widoczny lokalnie przy podstawowej zmianie dotyczyło to zmian dużych zajmujących cały segment płuca.

- **Ocena linii opłucnej**

We wszystkich przypadkach w miejscu przylegania zmiany do opłucnej płucnej nie uwidoczniono ultrasonograficznej linii opłucnej, w związku z tym nie uwidoczniono również objawu ślizgania opłucnej.

- **Ocena echogeniczności zmian**

Analizując echogeniczność zmian w przebiegu IAP porównywano ją do echogeniczności mięszu wątroby. W 16/30 zmian echogeniczność ich oceniono jako zbliżoną, a w 12/30 jako niższą niż echogeniczności wątroby. W jednym przypadku zmiany ogniskowej nie uwidoczniono, a w jednym jej obraz był w pełni typowy dla ropnia płuca.

- **Ocena bronchogramu**

W analizowanych zmianach w żadnym przypadku IAP nie stwierdzono bronchogramu powietrznego typowego dla zmian zapalnych o etiologii bakteryjnej. W 12/30 zmian nie uwidoczniono bronchogramu, w 8/30 widoczny był bronchogram dynamiczny z nieprawidłowym układem, w 10/30 bronchogram statyczny. W 2/30 widoczny był bronchogram płynny z jednocześnie widocznym bronchogramem statycznym.

Przypadki, w których nie uwidoczniono bronchogramu powietrznego ani płynowego stwierdzono w 3 zmianach małych, 4 zmianach średnich i 3 dużych. W dwóch incydentach IAP nie było możliwości jego oceny ze względu na obecność ropnia płuca w jednym przypadku i nie widocznego obszaru konsolidacji w drugim incydencie. O ile w zmianach małej i średniej wielkości do 30 mm w największym wymiarze można nie uwidocznić bronchogramu ze względu na ich wymiar o tyle w zmianach dużych w większości przypadków powinien być widoczny. W jednym z tych trzech przypadków brak bronchogramu stwierdzono u pacjenta z niedodmą dolnego płata i znaczną objętością płynu a jamie opłucnej, a w dwóch pozostałych przypadkach nie ustalono przyczyny jego braku.

- **Obecność pułapki powietrznej**

Objaw pułapki powietrznej stwierdzono 25/30 ocenianych incydentów IAP. Z pięciu analizowanych zmian, w których tego objawu nie uwidoczniono trzy

były to zmiany małe poniżej 10 mm w największym wymiarze, jeden ropień płuca i w jednym przypadku brak zmiany ogniskowej litej widocznej w ocenie USG. W trzech pierwszych przypadkach zmiany najpewniej były zbyt małe, aby objaw ten mógł być widoczny, a w dwóch ostatnich objawu tego nie można uwidocznić. W obu tych przypadkach widoczne były liczne zmiany śródmiąższowo-pęcherzykowe, w przypadku ropnia płuca na jego obwodzie, a w drugim przypadku zespoły te były jednym objawem IAP. W tym przypadku, przy dużym prawdopodobieństwie klinicznym IChGP, na podstawie badania USG sugerowano obecność obszaru konsolidacji położonego głębiej w mięszu płuca, a widoczne zespoły śródmiąższowe oceniono jako efekt wynikający z lokalizacji zmiany. Obecność tej zmiany potwierdzono badaniem TK.

- **Ocena zmian ogniskowych w opcji dopplera kodowanego kolorem**

W analizowanej grupie w dwóch przypadkach brak było oceny zmian w opcji dopplerowskiej na zapisanym w formacie elektronicznym badaniu, w jednym zmiana lita nie była widoczna, dlatego też analizie poddano tylko 27/30 incydentów IAP. Nieprawidłowy wzorzec unaczynienia zmiany w porównaniu z obrazem typowym dla bakteryjnego zapalenia płuc uwidoczniono w 17/27 ocenianych zmian. Objaw określany jako *vascular sign* widoczny był w kolejnych 7/27 badaniach. Przepływu nie uwidoczniono w trzech zmianach: w dwóch zmianach małych i w ropniu płuca.

- **Obecność lub brak „płucnych” artefaktów ultrasonograficznych w obszarach przylegających do konsolidacji mięszu płucnego**

Zespoły śródmiąższowo-pęcherzykowe w obszarach przylegających do konsolidacji mięszu płucnego uwidoczniono 27/30 incydentów IAP, dodatkowo w 6 zmianach współwystępowały z nimi artefakty linii B, a w 7 artefakty linii Z i linii I. Artefakty linii C widoczne były w czterech zmianach, w dwóch jako jedyny artefakt, a w dwóch jednocześnie z zespołami śródmiąższowo-pęcherzykowymi.

Na podstawie powyższych danych określono wzorzec zmian w PBUP stwierdzany w IAP u dzieci i porównano go ze wzorcem zmian stwierdzanym w klasycznym bakteryjnym zapaleniu płuc. Dane te przedstawiono w tabeli 17.

Tabela 17. Porównanie kryteriów ultrasonograficznych bakteryjnego i grzybiczego zapalenia płuc

Table 17. Comparison of ultrasound criteria of the bacterial and fungal pneumonia

Lp. No.	Zmiany w PBUP <i>Changes in lung US</i>	Bakteryjne zapalenie płuc <i>Bacterial pneumonia</i>	Grzybicze zapalenie płuc <i>Fungal pneumonia</i>
1	ograniczenie zmiany <i>borders of change</i>	dobrze widoczne, z nieregularnym zarysem brzeżnym <i>clearly visible, with irregular margin</i>	małe i średnie zmiany dobrze ograniczone; duże zmiany źle ograni- czone, często nie jest moż- liwe określenie ich granic <i>small and medium changes well limited; major changes poorly limited, it is often not pos- sible to determine their borders</i>
2	echogeniczność zmiany <i>echogenicity</i>	zbliżona do echogeniczno- ści wątroby <i>similar to the echogenicity of the liver</i>	zbliżona lub niższa od echogeniczności wątroby <i>similar or lower than the echogenicity of the liver</i>
3	echostruktura zmiany <i>echostructure</i>	jednorodna – jak wątroba <i>homogeneous – as the liver</i>	w większości niejednorodna <i>in most heterogeneous</i>
4	ultrasonograficzna linia opłucnej <i>pleural line</i>	nie widoczna <i>not visible</i>	nie widoczna <i>not visible</i>
5	objaw ślizgania opłucnej w obszarze konsolidacji <i>lung sliding in con- solidation area</i>	brak <i>lack</i>	brak <i>lack</i>
6	dynamiczny bron- chogram powietrzny <i>dynamic air bronchogram</i>	obecny, z typowym anato- micznym układem <i>present, with the typical anatomical structure</i>	obecny, z nieprawidłowym układem, często widoczny tylko odcinkowo <i>present, with incorrect structure, often visible only in sections</i>

Lp. No.	Zmiany w PBUP <i>Changes in lung US</i>	Bakteryjne zapalenie płuc <i>Bacterial pneumonia</i>	Grzybicze zapalenie płuc <i>Fungal pneumonia</i>
6 a	statyczny bronchogram powietrzny <i>static air bronchogram</i>	sporadycznie widoczny/ typowy dla niedodmy <i>occasionally visible / typical for atelectasis</i>	często obserwowany <i>frequently observed</i>
6 b	bronchogram płynny <i>fluid bronchogram</i>	sporadycznie widoczny <i>sporadically visible</i>	często obserwowany <i>frequently observed</i>
6 c	bronchogram mieszany <i>mixed bronchogram</i>	sporadycznie widoczny <i>sporadically visible</i>	obserwowany <i>observed</i>
7	objaw pułapki powietrznej <i>air trapping</i>	obserwowany <i>observed</i>	często obserwowany <i>frequently observed</i>
8	płyn w jamie opłucnej – lokalnie <i>pleural effusion – locally</i>	może być obecny <i>can be present</i>	często obecny <i>frequently present</i>
8 a	płyn w jamie opłucnej – w znacznej objętości przy podstawie płuc <i>pleural fluid – large volume at the base of the lungs</i>	może być obecny <i>can be present</i>	często obecny przy zmianach powyżej 3,0 cm <i>frequently present in changes over 3.0 cm in diameter</i>

Lp. No.	Zmiany w PBUP <i>Changes in lung US</i>	Bakteryjne zapalenie płuc <i>Bacterial pneumonia</i>	Grzybicze zapalenie płuc <i>Fungal pneumonia</i>
9	unaczynienie obszaru konsolidacji <i>vascularization</i>	widoczne naczynia z układem zgodnym z ich anatomicznym przebiegiem <i>visible vessels with structure characteristic for the anatomical course</i>	widoczne naczynia z nieprawidłowym przebiegiem (widoczne przemieszczenie naczyń) lub brak widocznych naczyń z objawem amputacji przepływu u podstawy zmiany <i>visible vessels with improper course (the displacement of blood vessels) or no visible vessels and with the amputation sign at the base of the change</i>
10	granice zmiany <i>borders</i>	nieregularne, poszarpane <i>irregular, serrated</i>	nieregularne, poszarpane <i>irregular, serrated</i>
11	zmiany w obszarach przylegających do obszaru konsolidacji <i>changes in the areas adjacent to consolidation</i>	generalnie brak, mogą być obecne w przypadku infekcji mieszanej bakteryjno – wirusowej lub w odoskrzelowym zapaleniu płuc <i>generally none, may be present in mixed bacterial and viral infections or bronchogenic pneumonia</i>	często widoczne zespoły śródmiąższowe i/lub śródmiąższowo – pęcherzykowe i/lub liczne artefakty linii B, linii Z, linii I <i>frequently seen interstitial syndromes and/or alveolar-interstitial syndroms and/or multiple B-, Z-, I-line artifacts</i>

5.4.17. Dyskusja

O ile rozpoznanie bakteryjnego zapalenia płuc za pomocą diagnostyki ultrasonograficznej zarówno w populacji pacjentów dorosłych jak i u dzieci w chwili obecnej nie budzi już u większości lekarzy emocji, o tyle możliwość rozpoznania inwazyjnej aspergilozy płucnej jest na pewno zagadnieniem niezwykle kontrowersyjnym i dyskusyjnym skłaniającym do zadania licznych pytań. Począwszy od pytania jak to jest możliwe, a skończywszy na wiarygodności metody, z licznymi znakami zapytania pomiędzy. Takie podejście do tego zagadnienia jest w pełni uzasadnione i poparte silnymi argumentami. Po pierwsze, w dostępnych

bazach danych brak jest choćby jednej publikacji na ten temat, po wtóre nawet w diagnostyce wykonanej za pomocą TK z wykorzystaniem najnowszych zdobytych techniki często pewne rozpoznanie IAP nie jest możliwe. Trudno w takiej sytuacji nie być sceptykiem, co do możliwości badania ultrasonograficznego płuc w diagnostyce IAP, jeśli dodatkowo uwzględni się fakt braku powszechnej akceptacji dla PBUP i to nie tylko w populacji pediatrycznej. Jak zatem jest to możliwe, aby stawiać wstępne rozpoznanie IAP na podstawie badania ultrasonograficznego? Odpowiedź jest niezwykle prosta, zmiany te są widoczne w tej technice obrazowania. Jednakże warunkiem koniecznym do prawidłowej interpretacji stwierdzanych zmian jest znajomość nie tylko prawidłowego obrazu płuc i zmian obserwowanych w bakteryjnym zapaleniu płuc w przekłatkowym badaniu ultrasonograficznym, lecz również zagadnień związanych z kliniką tego typu zakażeń. Na podstawie własnych doświadczeń stwierdzić mogę, że bez wiedzy klinicznej i współpracy z lekarzem leczącym postawienie prawidłowego wstępnego rozpoznania IAP za pomocą PBUP nie jest możliwe. Sugestia kliniczna IAP wraz z opracowanym przez autora pracy wzorcem zmian obserwowanych w IAP umożliwia postawienie takiego rozpoznania. Uwzględniając przedstawione powyżej kryteria diagnostyczne IAP można z dużym prawdopodobieństwem sugerować rozpoznanie IAP u pacjenta z grupy ryzyka jej rozwoju. Kryteria te wzorowane są na kryteriach rozpoznania bakteryjnego zapalenia płuc u pacjentów dorosłych, które Rensing A. i wsp. opublikowali w 2007 roku [15]. Uzupełnione zostały one o dodatkowe elementy, takie jak kryterium oceny zmian w mięszu płuca przylegającym do obszaru konsolidacji tkanki płucnej.

Taka koncepcja ustalenia kryteriów rozpoznania IAP ma jedną dużą zaletę, pozwala porównać zmiany w obu tych typach infekcji według tych samych parametrów. Różnice w obrazie ultrasonograficznym między „klasycznym” bakteryjnym zapaleniem płuc a IAP zestawiono w tabeli 17. Wynika z niej, że na 15 ocenianych elementów mniejsze lub większe różnice stwierdzić można aż w 11 pozycjach, co sugeruje, że obraz usg IAP różni się od bakteryjnego zapalenia płuc. Analizując obraz ultrasonograficzny zmian u pacjenta z grypy ryzyka lub sugestią kliniczną IAP wszystkie te kryteria powinny być uwzględniane. Na podstawie własnych doświadczeń stwierdzić mogę, że w dotychczasowej praktyce największe znaczenie w rozpoznawaniu wstępnym IAP miały kryteria miąższowe i naczyniowe. Inna echostruktura obszaru konsolidacji tkanki płucnej, inny wzorzec unaczynienia w opcji dopplerowskiej tego obszaru i obecny bronchogram statyczny lub płynny najsilniej sugerowały rozpoznanie IAP i wykluczały zarazem etiologię bakteryjną stwierdzanych zmian. Z kryteriów naczyniowych bardzo istotny jest objaw określany w anglojęzycznej nomenklaturze jako *vascular sign*. Objaw ten wywodzący się z diagnostyki radiologicznej opisywany jest w zatorowości płucnej niewysokiego ryzyka i odpowiada amputacji przepływu na szczycie konsolidacji płucnej sugerując zamknięcie naczynia. Uwzględniając angioinwazyjny patomechanizm rozwoju zmian w IAP w części przypadków, możemy w PBUP obserwować zmiany odpowiadające zatorowości

płucnej, których potwierdzeniem będzie obecność *vascular sign*. Objaw ten widoczny jest w zmianach małych i średnich, a ze względu na swoją niejednoznaczność zatorowość płucna z innej przyczyny niż IAP powinna być uwzględniana w diagnostyce różnicowej. Na podstawie własnych doświadczeń nie udało się jednoznacznie określić czy jest to objaw wczesnych czy późnych zmian w przebiegu IAP, pomimo, że stwierdzono go 26% analizowanych przypadków IAP. U wszystkich tych pacjentów zmiany te współwystępowały z bardziej nasilonymi zmianami.

Znaczenie wczesnego rozpoznania IAP dla dalszych losów pacjenta nie wymaga komentarza, jednak taką metodą obecnie nie dysponujemy, co więcej w chwili obecnej nie sprecyzowano jednoznacznie co oznacza powszechnie używany termin wczesne rozpoznanie inwazyjnej aspergilozy płucnej. Przyjmuje się, że zmiany w płucach stwierdzane w badaniu za pomocą TK-WR określane jako objaw „halo” odpowiadają wczesnej manifestacji IAP [240, 241, 242, 243, 244]. Dostępne dane dotyczą głównie populacji pacjentów dorosłych. Odnośnie pacjentów pediatrycznych są one znacznie uboższe i prezentują nieco odmienny obraz zmian w płucach niż obserwowany w populacji dorosłej, lecz również w tej grupie chorych stwierdzenie objawu „halo” w badaniu za pomocą TK-WR uznawane jest za wczesny objaw IAP. Obserwowany jest on jednak znacznie rzadziej niż u chorych dorosłych, gdyż tylko w 30% badań w porównaniu do 70% badań wykonanych u chorych dorosłych.[237]. Analizując obecność objawu „halo” jako wczesnego objawu sugerującego IAP uwzględnić należy także fakt jego ograniczonej swoistości [238]. Stwierdzany jest on bowiem również w innych jednostkach chorobowych o etiologii infekcyjnej jak i nie związanej z infekcją takich jak odoskrzelowe zapalenie płuc, czy zatorowość płucna [245, 246, 247, 248].

Jaka zatem jest wiarygodność PBUP w diagnostyce IAP? Dane przedstawione przez Irgę-Jaworską N w rozprawie habilitacyjnej z 2013 [249], a opracowane na tej samej grupie chorych szacują czułość PBUP w diagnostyce IAP na 100%, swoistość na 73,3%, przy dodatniej wartości predylekcyjnej (PPV) 65,6% a ujemnej wartości predylekcyjnej (NPV) 100%, przy TK jako metodzie referencyjnej. Dane te są w pełni zadowalające, uwzględnić jednak należy, że dotyczą one małej liczebnie grupy chorych, a do pewnego potwierdzenia IAP badanie TK nie jest wystarczające. Analizując jednak przebieg kliniczny i terapię IAP w prezentowanej grupie chorych w kontekście wstępnego rozpoznania postawionego na podstawie badania ultrasonograficznego płuc stwierdzić należy, że zgodność w tej grupie była 100%.

Czy na podstawie prezentowanych kryteriów diagnostycznych i wzorca zmian stwierdzanego w IAP można sugerować jej rozpoznanie? Wydaje się, że tak, a przemawia za tym kilka faktów.

Po pierwsze rozpoznanie bakteryjnego zapalenia płuc za pomocą PBUP jest możliwe i potwierdzone zostało i konsensusem grupy ekspertów, który opublikowany został w 2012 roku [57]. Po wtóre kryteria rozpoznania IAP wykorzy-

stują założenia opracowane dla bakteryjnego zapalenia płuc, a prezentowane cechy poszczególnych kryteriów rozpoznania różnią się w obu tych jednostkach chorobowych. Sugeruje to, iż ich obraz ultrasonograficzny, pomimo, że bardzo zbliżony jest jednak różny, a jego ocena w kontekście klinicznym może znacznie ułatwić prawidłową interpretację i jest w każdym przypadku konieczna.

Różna częstość z jaką stwierdzane były poszczególne cechy w prezentowanej analizie jest utrudnieniem w jednoznacznej interpretacji stwierdzanych zmian podobnie jak w badaniu tomograficznym klatki piersiowej jak i diagnostyce zapalenia płuc o etiologii bakteryjnej [15, 240, 245]. Wynika ona najpewniej z kliniki tego zakażenia u pacjentów z neutropenią i okresu rozwoju zakażenia, w którym wykonane było badanie, gdyż sugestia kliniczna IAP często pojawia się w już bardzo zaawansowanej fazie zakażenia.

Nowym, wydaje się, że ważnym aspektem jaki stwierdzono na podstawie dokonanej analizy obrazów ultrasonograficznych zmian w płucach w tej grupie chorych jest konieczność uwzględnienia w ocenie zmian jakie widoczne są w obszarach przylegających do konsolidacji tkanki płucnej. Ta cecha obrazu w PBUP stwierdzana była w 90% analizowanych incydentów IAP. Tak wysoki odsetek stwierdzanych zmian sugeruje, że cecha ta może być cennym, dodatkowym marker sugerujący etiologię grzybiczą stwierdzanych zmian. Konieczna jest jednak analiza tej cechy w zmianach o etiologii bakteryjnej, gdyż dotychczas nie była ona uwzględniana w rozpoznaniu klasycznego bakteryjnego zapalenia płuc.

Wnioski

1. Analiza obrazu ultrasonograficznego zmian w płucach u dzieci z udokumentowanym klinicznie rozpoznaniem IAP potwierdza, że diagnostyka IAP z wykorzystaniem PBUP jest możliwa.
2. Obraz ultrasonograficzny zmian w płucach w przebiegu IAP różni się od zmian obserwowanych w klasycznym bakteryjnym zapaleniu płuc.
3. Obecność lub brak „płucnych” artefaktów ultrasonograficznych w obszarach przylegających do konsolidacji miąższu płucnego uznano za nową cechę charakteryzującą zmiany w przebiegu IAP.

6. POSUMOWANIE

Pacjenci, u których symptomatologia kliniczna schorzenia narzuca konieczność diagnostyki układu oddechowego w większości przypadków wymagają realizacji badań obrazowych w zakresie klatki piersiowej. Pierwszym krokiem w diagnostyce narządów klatki piersiowej jest klasyczne, przeglądowe zdjęcie rentgenowskie, które stanowi zarazem około 50% wszystkich badań obrazowych wykonywanych u dzieci. Standardem diagnostyki obrazowej zmian w płucach ocenianym jako badanie wnoszące najwięcej informacji jest badanie za pomocą tomografii komputerowej. Przyczyniła się do tego zarówno dostępność tego badania jak i doskonalenie w interpretacji wyników spowodowane wzrostem liczebności badanych. Wydaje się jednak, że mamy tu do czynienia z pewnym paradoksem, z jednej strony niewątpliwie skuteczniejszą i pewniejszą diagnostyką zmian chorobowych, a z drugiej strony świadomie ekspozujemy pacjentów pediatrycznych na stosunkowo wysokie dawki promieniowanie rentgenowskiego, z trudnym do oszacowania i niejednoznacznym efektem ostatecznym takiego postępowania. Długofalowe efekty powtarzalnej diagnostyki za pomocą TK nie są znane i trudne do jednoznacznej ekstrapolacji, zwłaszcza u pacjentów leczonych z powodu choroby nowotworowej, którzy są poddawani agresywnej chemioterapii. Istotnym obciążeniem dla tej grupy pacjentów pediatrycznych jest również konieczność ich transportu do pracowni tomografii komputerowej. Wiązać się ono może z potencjalnym ryzykiem wystąpienia dodatkowych komplikacji głównie infekcyjnych, jako efekt nadkażenia pacjenta w stanie często bardzo głębokiej i długotrwałej neutropenii. Stopień ryzyka takiego postępowania do tej pory nie został jednak jednoznacznie oszacowany i wydaje się, że jest to bardzo trudny do rozwiązania problem, a być może nie jest możliwy do realizacji, gdyż w takich sytuacjach należy zawsze uwzględnić element jednostkowy. W każdym przypadku ryzyko to powinno być rozpatrywane jako problem indywidualny, który może mieć wpływ na ostateczny wynik postępowania diagnostyczno-terapeutycznego u danego pacjenta. Idealnym rozwiązaniem byłoby posiadanie przez oddział hematologii dziecięcej własnej pracowni tomografii komputerowej wyposażonej w system filtrów przeciwbakteryjnych i możliwie najwyższy standard zabezpieczeń transmisji infekcji, przeznaczonej tylko do badań pacjentów z tego oddziału. Rozwiązanie takie z punktu widzenia dnia dzisiejszego z wielu oczywistych względów nie jest możliwe do realizacji.

Kolejnym istotnym zagadnieniem jest dopuszczalność powtarzalności badań TK klatki piersiowej u tego samego pacjenta, które zawsze powinno być rozpatrywane indywidualnie. Ciężki stan ogólny pacjenta narzuca konieczność śledzenia dynamiki procesu chorobowego i uzyskanej odpowiedzi terapię. Co zatem należy robić aby nie narażać chorego na zbyt częste badania TK klatki piersiowej? Być może PBUP pozwoli częściowo rozwiązać ten problem.

Jednakże w chwili obecnej ocena zmian w płucach w populacji pediatrycznej z wykorzystaniem ultradźwięków jest praktycznie mało znaną metodą dia-

agnostyczną. Analiza piśmiennictwa w pełni dokumentuje tą tezę. Dostępne publikacje w przeważającej większości to prace kazuistyczne, w których wykorzystano PBUP, tylko pojedyncze publikacje uwzględniają większe liczebnie grupy dzieci i tylko w zakresie diagnostyki zmian zapalnych w płucach. Brak jest danych odnośnie możliwości diagnostyki zatorowości płucnej (poza jedną publikacją), obrzęku płuc (poza jedną pracą odnośnie diagnostyki ALI/ARDS), czy odmy opłucnowej. Brak jest publikacji uwzględniających ultrasonograficzną diagnostykę płuc w grupie pacjentów pediatrycznych z chorobą nowotworową.

Uwzględniając możliwości diagnostyki ultrasonograficznej płuc u dzieci, która jest znacznie łatwiejsza nie tylko do praktycznego wykonania, ale również do interpretacji stwierdzanych zmian niż w populacji dorosłej wydaje się, że powinna być znacznie częściej wykonywana. Porównując diagnostykę ultrasonograficzną zmian w płucach pomiędzy populacjami chorych dorosłych i dzieci nie można postawić między nimi znaku równości. Są to dwie różne grupy chorych, a uwzględniając specyfikę dzieci leczonych w oddziale hematologii różnica ta jest jeszcze większa, gdyż grupa ta jest bardziej zbliżona do populacji pacjentów oddziałów intensywnej terapii niż populacji ogólnej. Pomimo tych różnic korzystając ze wzorców diagnostycznych opracowanych dla pacjentów dorosłych diagnostyka chorób płuc w populacji pediatrycznej z wykorzystaniem ultradźwięków jest możliwa. Koniecznym warunkiem jest jednak zrozumienie idei tych badań i zmiana sposobu myślenia. Pomimo, iż powietrze jest ośrodkiem na granicy, którego następuje prawie całkowite odbicie fali ultradźwiękowej ocena zmian w płucach jest możliwa. Uwzględnić należy tylko kilka prostych faktów. Po pierwsze zmiana, która nie przylega do opłucnej płucnej i nie daje „efektu masy” nie jest możliwa do uwidocznienia w PBUP. Po wtóre linia opłucnej stanowi granicę pomiędzy dwoma obszarami o diametralnie różnej zawartości wody: tkanką płuc zawierającą niewielką objętość wody i tkankami powłok klatki piersiowej ze znaczną zawartością wody. Taki układ sprawia, że na granicy tych dwóch ośrodków powstają artefakty, które stanowią podstawę diagnostyki ultrasonograficznej zmian w płucach. Obecność lub brak tych artefaktów jest kluczem do rozpoznania odmy jamy opłucnej, obrzęku płuc, zapaleniu płuc czy zatorowości płucnej, a w populacji dorosłej również zmian w przewlekłych chorobach śródmiąższowych płuc. O ile interpretacja artefaktów w diagnostyce ultrasonograficznej jamy brzusznej jest tylko dodatkowym źródłem informacji diagnostycznych (np. artefakt ogona komety, czy artefakt dopplera kodowanego kolorem), o tyle w PBUP jest ona jej podstawą. Dlatego też korzystając czynnie lub biernie z oceny ultrasonograficznej płuc za pomocą ultradźwięków konieczna jest zmiana sposobu myślenia na wykorzystanie artefaktów jako klucza do postawienia rozpoznania, a nie uznawanie ich za elementy przeszkadzające w diagnostyce.

Co przemawia za korzystaniem z PBUP diagnostyce zmian w płucach u pacjentów z chorobą nowotworową?

Dostępność metody, jej wiarygodność w porównaniu do metod uznanych za referencyjne, możliwość wykonania badania praktycznie w każdych warunkach i jego wielokrotnego powtarzania, bez udokumentowanych działań niepożądanych to tylko podstawowe argumenty za powszechnym jej stosowaniem. Nabierają one szczególnego znaczenia, gdy dotyczy to dzieci z chorobą nowotworową w okresie intensywnej chemioterapii z wszystkim jej konsekwencjami. PBUP pozwala wówczas na uzupełnienie badania fizykalnego płuc stając się nowoczesnym stetoskopem, gdy badanie wykonamy przy łóżku chorego. Realizacja tej idei możliwa będzie po przeprowadzeniu dalszych prospektywnych badań oceniających przydatności PBUP w diagnostyce chorób układu oddechowego u dzieci. Na podstawie własnych obserwacji i ponad 7 letniego okresu wykonywania PBUP u dzieci uważam, że metoda ta pozwala na wstępne postawienie rozpoznania najczęściej spotykanych zmian patologicznych w układzie oddechowym u dzieci leczonych w oddziale hematologicznym. Co więcej doskonale sprawdza się w diagnostyce określanej jako ultrasonografia „*point of care*”, czyli pozwala na rozwiązanie większości problemów diagnostycznych z wykorzystaniem ultrasonografu, przy łóżku chorego, przez lekarza nie będącego radiologiem. W grupie pacjentów z chorobą nowotworową jest to niezwykle istotne, nie tylko ze względu na nieco inny przebieg klinicznych schorzeń układu oddechowego (inna dynamika, inna manifestacja kliniczna, w wielu przypadkach konieczność terapii wyprzedzającej), lecz również na ograniczoną dostępność do badań tomograficznych klatki piersiowej (głównie ze względu na stan ogólny pacjenta i konieczność transportu do zakładu radiologii), jak również ograniczoną przydatność klasycznego badania radiologicznego klatki piersiowej wykonywanego przy łóżku chorego dziecka (inna niż klasyczna ekspozycja i często przymusowa pozycja pacjenta). Podobnie jak w grupie pacjentów dorosłych leczonych w oddziale intensywnej terapii w grupie dzieci leczonych w oddziale hematologii czułość i swoistość PBUP jest wyższa niż badania fizykalnego i klasycznego badania radiologicznego klatki piersiowej, a porównywalna z badaniem wykonanym za pomocą tomografii komputerowej w diagnostyce obrzęku płuc, zatorowości płucnej czy zapalenia płuc[82]. Unikalną wartością PBUP w prezentowanej grupie pacjentów jest bardzo wysoka zgodność z badaniem TK w diagnostyce inwazyjnej aspergilozy płucnej. Niestety dane te dotyczą bardzo małej liczebnie grupy chorych dzieci, stanowią jednak doskonałą bazę wyjściową do dalszych prospektywnych badań. Szansa realizacji tych badań możliwa będzie tylko wówczas, jeśli PBUP wykonywane będzie powszechnie i uzyska akceptację klinicystów. Niestety w chwili obecnej żaden z tych warunków jeszcze nie jest spełniony.

Należy zadać sobie pytanie, czy przezklatkowe badanie ultrasonograficzne płuc ma realne szanse stać się podstawowym badaniem obrazowym płuc w populacji pediatrycznej?

Jeśli szukalibyśmy odpowiedzi na to pytanie analizując dane z dostępnego piśmiennictwa odpowiedź mogłaby być tylko jedna, dotychczas brak jest argu-

mentów na tak. Pojedyncze publikacje omawiające możliwość diagnostyki zmian zapalnych w płucach wyczerpują ten temat. Jest to zdecydowanie za mało, aby PBUP realizowało koncepcję ultrasonografii *point of care* w zakresie układu oddechowego. Jednakże, na podstawie własnych doświadczeń w diagnostyce zmian w płucach za pomocą ultradźwięków stwierdzić mogę, że jest to w pełni możliwe. Idea ultrasonografii *point of care* w zakresie układu oddechowego realizowana jest w naszym ośrodku od ponad 5 lat. W tym czasie udało się przekonać znaczną liczbę lekarzy oddziałów hematologii i onkologii dziecięcej do PBUP, które w chwili obecnej jest podstawowym badaniem obrazowym płuc w naszym ośrodku zarówno w diagnostyce wstępnej jak i w monitorowaniu zmian w płucach. W wielu przypadkach „otwiera drzwi do rozpoznania” i ukierunkowuje dalszą diagnostykę. Pozwala na postawienie wstępnego rozpoznania w większości jednostek chorobowych, które dotychczas rozpoznawane były w klasycznym badaniu rtg klatki piersiowej czy badaniu za pomocą tomografii komputerowej. Na podstawie własnych doświadczeń uważam, że w populacji pediatrycznej możliwa jest diagnostyka nie tylko zapalenia płuc, lecz także odmy jamy opłucnej, zatorowości płucnej i obrzęku płuc z taką samą czułością i swoistością z jaką rozpoznaje się te schorzenia w grupie pacjentów dorosłych w oddziale intensywnej terapii. Dla pewnego potwierdzenia tej tezy konieczne są badania na znacznie większej grupie pacjentów niż grupa prezentowana w tej pracy. Podkreślić jednak należy, że jest to pierwsze zbiorcze opracowanie danych odnośnie diagnostyki ultrasonograficznej tych jednostek chorobowych w populacji pediatrycznej. Udokumentowano dużą zgodność pomiędzy PBUP a badaniem TK zarówno w diagnostyce zmian zapalnych w płucach jak i zatorowości płucnej czy obrzęku płuc. Wczesna, nieinwazyjna diagnostyka tych zmian w płucach jest niezwykle istotna nie tylko w grupie pacjentów z chorobą nowotworową, a jeśli dodatkowo uwzględnimy unikalne zalety PBUP takie jak: możliwość wykonania badania praktycznie w każdym miejscu i wielokrotnego jego powtarzania, to ultrasonograf idealnie wkomponowuje się w ideę „nowego stetoskopu”.

Jakie są ograniczenia, aby idea ta z fazy koncepcji przeszła do etapu realizacji?

Pierwszym, podstawowym i zarazem krytycznym ograniczeniem jest brak powszechnej akceptacji klinicystów dla tej metody obrazowania zmian w płucach. Uwzględniając aktualne algorytmy diagnostyczne, dostępne piśmiennictwo i nieliczną grupę osób wykonujących PBUP to postawa taka jest w pełni zrozumiała. Z drugiej jednak strony w ośrodkach, w których pracują osoby wykonujące PBUP metoda ta bardzo szybko zostaje doceniona i jest to kolejny paradoks związany z diagnostyką ultrasonograficzną płuc. Znajomość ograniczeń metody jest konieczna do prawidłowego z niej korzystania, a jest ich wiele. Począwszy od brak pełnej wiedzy o wpływie ultradźwięków na tkankę płucną rozwijającego się organizmu, poprzez interpretację obserwowanych zmian w płucach, a skończywszy na braku PBUP w algorytmach diagnostycznych chorób

płuc u dzieci. Zagadnienia te, poza ostatnim, omówiono w poszczególnych podrozdziałach. PBUP, podobnie jak klasyczne badanie RTG klatki piersiowej, na pewno nie jest i z pewnością nigdy nie będzie metodą referencyjną dla większości chorób układu oddechowego. Na podstawie własnych doświadczeń uważam, że korzystając z tej metody możliwe jest znaczne zmniejszenie liczby wykonywanych klasycznych zdjęć rtg klatki piersiowej i uwzględnienie PBUP w algorytmach diagnostycznych chorób płuc. W pierwszym etapie wprowadzania metody jako badania równorzędnego z badaniem RTG klatki piersiowej, a w przyszłości być może jako jedyne w wstępnej diagnostyce. Kolejnym miejscem w algorytmach diagnostycznych jest pozycja monitorowania zmian w przebiegu terapii. Pozycja niezwykle istotna, gdyż korzystając z PBUP możliwa jest ocena zmian w porównaniu do badania wstępnego w dowolnie wybranym momencie i wielokrotnie, a wynik badania uzyskujemy w czasie rzeczywistym. Fakt ten może mieć istotne znaczenie w przypadku znacznej dynamiki zmian chorobowych szczególnie w grupie pacjentów z chorobą nowotworową podczas terapii przeciwnowotworowej.

Taki algorytm z wykorzystaniem PBUP stosowany jest w naszym ośrodku od ponad 2 lat i w pełni sprawdził się w praktyce klinicznej u pacjentów w oddziałach hematologii i onkologii dziecięcej.

Pomimo iż od pierwszej polskojęzycznej publikacji [49] omawiającej możliwości diagnostyki płuc u dzieci z wykorzystaniem ultradźwięków upłynęły 4 lata, a w okresie ostatnich 3 lat ponad 300 lekarzy pediatrów zapoznało się z tą metodą podczas kursów prowadzonych przez autora pracy w ramach Roztoczańskiej Szkoły Ultrasonografii, nadal liczba ośrodków stosujących tą metodę jest bardzo mała. Nadal również bardzo mała jest liczba klinicystów akceptujących PBUP w diagnostyce innych zmian w płucach niż ocena płynu w jamie opłucnej. Brak jest kompleksowego opracowania podręcznikowego zagadnień dotyczących diagnostyki ultrasonograficznej płuc u dzieci. Być może powyższe opracowanie częściowo przyczyni się do upowszechnienia tej jakże prostej a zarazem niezwykle przydatnej metody diagnostycznej w chorobach płuc u dzieci, nie tylko w oddziale hematologii.

7. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonej w niniejszej rozprawie analizy sformułowano następujące wnioski:

1. Przekłatkowe badanie ultrasonograficzne płuc może być wykorzystywane w diagnostyce chorób płuc u dzieci jako metoda uzupełniająca dotychczas stosowane techniki obrazowania zmian w płucach.

2. W populacji pediatrycznej możliwa jest diagnostyka ultrasonograficzna nie tylko zapalenia płuc, lecz także odmy jamy opłucnej, zatorowości płucnej i obrzęku płuc.

3. Przekłatkowe badanie ultrasonograficzne płuc jest niezwykle przydatne we wczesnej diagnostyce inwazyjnej aspergilozy płucnej u dzieci leczonych z powodu z choroby nowotworowej.

4. U dzieci w diagnostyce jatrogennej odmy jamy opłucnej PBUP powinno być pierwszym badaniem obrazowym, a inne techniki obrazowania płuc wykonywane tylko w przypadku wątpliwości klinicznych.

5. Przedstawiona w rozprawie koncepcja diagnostyki chorób płuc u dzieci za pomocą PBUP wymaga dalszych badań prospektywnych na znacznie większej liczbie pacjentów, aby ten cel zrealizować konieczna jest jednak dalsza i bardziej skuteczna niż dotychczas promocja tej metody wśród lekarzy.

8. PIŚMIENICTWO

1. <http://www.sciencedaily.com/releases/2006/11/061128140624.htm>
2. Pell R.L.: Ultrasound for routine clinical investigations. *Ultrasonics*, 1964, 2, 2, 87-89.
3. Joyner C.R. Herman R.J., Reid J.M.: Reflected ultrasound in the detection and localization of pleural effusion. *JAMA*. 1967, 200, 5, 399-402.
4. Grymiński J.: Rozdział 5 Diagnostyka ultrasonograficzna chorób układu oddechowego. w: Ilmurzyńska K.: Diagnostyka ultrasonograficzna. Warszawa, PZWL, 1980, s. 139. ISBN 83-200-0257-5.
5. Grymiński J.: Use of the ultrasound method in the diagnosis of pleural diseases. *Gruźlica*, 1971, 39, 7, 694-699.
6. Grymiski J., Krakówka P., Lypacewicz G.: The diagnosis of pleural effusion by ultrasonic and radiologic techniques. *Chest*, 1976, 70, 33-37.
7. Grymiski J.: Ultrasonics in the diagnosis of lung diseases. *Pneumonol Pol.* 1981, 49, 2, 121-132.
8. Gehmacher O., Mathis G., Kopf A., Scheier M.: Ultrasound imaging of pneumonia. *Ultrasound Med Biol.* 1995, 21, 1119-1122.
9. Mathis G.: Thoraxsonography II. Peripheral pulmonary consolidation. *Ultrasound Med Biol.* 1997, 23, 1141-1153.
10. Mathis G.: Thoraxsonography. I. Chest and pleura. *Ultrasound Med Biol.* 1997, 23, 1131-1139.
11. Mathis G., Metzeler J., Feuerstein M., Fussenegger D., Sutterlutti G.: Pulmonary infarction is detectable by ultrasound. *Ultraschall Med.* 1990, 11, 281-283.
12. Gehmacher O.: Ultrasound pictures of pneumonia. *EJU.* 1996, 3, 161-167.
13. Reissig A., Kroegel C.: Transthoracic ultrasound of lung and pleura in the diagnosis of pulmonary embolism: a novel non-invasive bedside approach. *Respiration*, 2003, 70, 5, 441-452.
14. Reissig A., Heyne J.P., Kroegel C.: Ancillary lung parenchymal findings at spiral CT scanning in pulmonary embolism. Relationship to chest sonography. *Eur J Radiol.* 2004, 49, 3, 250-257.
15. Reissig A., Kroegel C.: Sonographic Diagnosis and Follow-Up of Pneumonia: A Prospective Study. *Respiration*, 2007, 74, 537-547.
16. Wu R.G., Yang P.C., Kuo S.H., Luh K.T.: „Fluid color“ sign: A useful indicator for discrimination between pleural thickening and pleural effusion. *J Ultrasound Med.* 1995, 14, 767-769.
17. Yuan A., Yang P.C., Chang C.B.: Pulmonary infarction: Use of color Doppler sonography for diagnosis and assessment of reperfusion of the lung. *Am J Roentgenol.* 1993, 160, 419-420.
18. Yang P.C.: Color Doppler ultrasound of pulmonary consolidation. *Eur J Ultrasound.* 1996, 3, 169-178.

19. Yu C.J., Yang P.C., Chang D.B., Luh K.T.: Diagnostic and therapeutic use of chest sonography: value in critically ill patients. *AJR Am J Roentgenol.* 1992 Oct, 159, 4, 695-701.
20. Yang P.C., Luh K.T., Chang D.B., Wu H.D., Yu C.J., Kuo S.H.: Value of sonography in determining the nature of pleural effusion: analysis of 320 cases. *AJR.* 1992, 159, 29-33.
21. Wu R.G., Yuan A., Liauw Y.S., Chang D.B., Yu C.J., Wu H.D., Kuo S.H., Luh K.T., Yang P.C.: Image comparison of real-time gray-scale ultrasound and color Doppler ultrasound for use in diagnosis of minimal pleural effusion. *Am J Respir Crit care Med.* 1994, 150, 510-514.
22. Yuan A., Chang D.B., Yu C.J., Kuo S.H., Luh K.T., Yang P.C.: Color Doppler sonography of benign and malignant pulmonary masses. *AJR Am J Roentgenol.* 1994, 163, 3, 545-549.
23. Hsu W.H., Ikezoe J., Chen C.Y., Kwan P.C., Hsu CP., Hsu N.Y., Chiang C.D., HO W.L.: Color Doppler ultrasound signals of thoracic lesions. Correlation with resected histologic specimens. *Am J Respir Crit Care Med.* 1996, 153, 1938-1951.
24. Lichtenstein D.A., Menu Y.: A bedside ultrasound sign ruling out pneumothorax in the critically ill. Lung sliding. *Chest,* 1995, 108, 5, 1345-1348.
25. Lichtenstein D., Mézière G., Biderman P., Gepner A., Barré O.: The comet-tail artifact. An ultrasound sign of alveolar-interstitial syndrome. *Am J Respir Crit Care Med.* 1997, 156, 5, 1640-1646.
26. Lichtenstein D., Mezière G.: A lung ultrasound sign allowing bedside distinction between pulmonary edema and COPD: The comet-tail artifact. *Intensive Care Med.* 1998, 24: 1331-1334.
27. Lichtenstein D.A., Lascols N., Prin S., Mezière G.: The "lung pulse": an early ultrasound sign of complete atelectasis. *Intensive Care Med.* 2003, 29, 12, 2187-192.
28. Lichtenstein D.A., Mezière G.A.: Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol. *Chest,* 2008, 134, 1, 117-125.
29. Lichtenstein D.: *General Ultrasound in the Critically Ill.* Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2010, s 117-127. ISBN 978-3-540-20822-8.
30. Volpicelli G., Mussa A., Garofalo G., Cardinale L., Casoli G., Perotto F., Fava C., Frascisco M.: Bedside lung ultrasound in the assessment of alveolar interstitial syndrome. *Am J Emerg Med.* 2006, 24, 689-696.
31. Volpicelli G., Audino B.: The double lung point: an unusual sonographic sign of juvenile spontaneous pneumothorax. *Am J Emerg Med.* 2011, 29, 3, 355.
32. Copetti R., Cattarossi L., Macagno F., Violino M., Furlan R.: LUS in respiratory distress syndrome: a useful tool for early diagnosis. *Neonatology,* 2008, 94, 52-59.

33. Copetti R., Cattarossi L.: The 'double lung point': an ultrasound sign diagnostic of transient tachypnea of the newborn. *Neonatology*, 2007, 91, 203-209.
34. Copetti R., Soldati G., Copetti P.: Chest sonography: a useful tool to differentiate acute cardiogenic pulmonary edema from acute respiratory distress syndrome. *Cardiovascular Ultrasound*, 2008, 29, 6, 16-26.
35. Agricola E., Bove T., Oppizzi M., Marino G., Zangrillo A., Margonato A., Picano E.: "Ultrasound Comet -Tail Images": a marker of pulmonary edema: a comparative study with wedge pressure and extravascular lung water. *Chest*, 2005, 127, 1690-1695.
36. Picano E., Frassi F., Agricola E., Gligorova S., Gargani L., Mottola G.: Ultrasound lung comets: a clinically useful sign of extravascular lung water. *J Am Soc Echocardiogr*. 2006, 19, 3, 356-363.
37. Jambrik Z., Monti S., Coppola V., Agricola E., Mottola G., Miniati M., Picano E.: Usefulness of ultrasound lung comets as a nonradiologic sign of extravascular lung water. *Am J Cardiol*. 2004, 15, 1265-1270.
38. Soldati G., Copetti R., Sher S.: Sonographic interstitial syndrome: the sound of lung water. *J Ultrasound Med*. 2009, 28, 2, 163-174.
39. Soldati G., Sher S.: Bedside lung ultrasound in critical care practice. *Minerva Anesthesiol*. 2009, 75, 9, 509-517.
40. Soldati G., Testa A., Silva F.R., Carbone L., Portale G., Silveri N.G.: Chest ultrasonography in lung contusion. *Chest*, 2006, 130, 2, 533-538.
41. Caiulo V.A., Gargani L., Caiulo S., Fiscaro A., Moramarco F., Latini G., Picano E.: Lung ultrasound in bronchiolitis: comparison with chest X-ray. *Eur J Pediatr*. 2011, 170, 11, 1427-1433.
42. Volpicelli G., Caramello V., Cardinale L., Mussa A., Bar F., Frascisco M.F.: Detection of sonographic B-lines in patients with normal lung or radiographic alveolar consolidation. *Med Sci Monit*. 2008, 14: 122-128.
43. Sperandeo M., Varriale A., Sperandeo G., Filabozzi P., Piattelli M.L., Carnevale V., Decuzzi M., Vendemiale G.: Transthoracic ultrasound in the evaluation of pulmonary fibrosis: our experience. *Ultrasound Med Biol*. 2009, 35, 5, 723-729.
44. Kirkpatrick A.W., Sirois M., Laupland K.B., Liu D., Rowan K., Ball C.G., Hameed S.M., Brown R., Simons R., Dulchavsky S.A., Hamilton D.R., Nicolaou S.: Hand-held thoracic sonography for detecting post-traumatic pneumothoraces: the Extended Focused Assessment with Sonography for Trauma (EFAST). *J Trauma*, 2004, 57, 288-295.
45. Kirkpatrick A.W., Ng A.K., Dulchavsky S.A., Lyburn I., Harris A., Torregiani W., Simons R.K., Nicolaou S.: Sonographic diagnosis of a pneumothorax inapparent on plain radiography: Confirmation by computed tomography. *J Trauma*, 2001, 50, 750-752.
46. Haynes R.B., McKibbon K.A., Wilczynski N.L., Walter S.D., Werre S.R.: *Hedges Team*. Optimal search strategies for retrieving scientific-

- ly strong studies of treatment from Medline: analytical survey. *BMJ*. 2005, 330, 1179-1184.
47. Montori V.M, Wilczynski N.L., Morgan D., Haynes R.B.: Hedges Team. Optimal search strategies for retrieving systematic reviews from Medline: analytical survey. *BMJ*. 2005: 8, 330, 68-73.
 48. Piwowarczy K., Ceglecka-Tomaszewska K., Koczyński A.: Przydatność ultrasonografii do diagnostyki torbieli płuc u dzieci. *Polski Przegląd Radiol*. 1984, 48, 4, 213-217.
 49. Kosiak W.: Ultrasonografia klatki piersiowej u dzieci – dlaczego tak? *Ultrasonografia*, 2008, 32, 8, 9.
 50. Paczkowski K., Czczeko K., Kosiak W., I. Haponiuk I., Chojnicki M., Jaworski R., Steffek M.: Przezskatkowe badanie ultrasonograficzne płuc podczas monitorowania przebiegu pooperacyjnego u dzieci z wrodzonymi wadami serca. *Kardiochir. Torakochir. Pol.* 2012, 9, 1, 114-120.
 51. Szymański P. i wsp.: Zastosowanie ultrasonografii w diagnostyce odmy opłucnowej u noworodków. *Postępy Neonatologii*, 2012, 2, 20-26.
 52. Görg C., Bert T.: Transcutaneous colour Doppler sonography of lung consolidations: review and pictorial essay. Part 1: pathophysiologic and colour Doppler sonographic basics of pulmonary vascularity. *Ultraschall Med.* 2004,25, 3, 221-226.
 53. Görg C., Bert T.: Transcutaneous colour Doppler sonography of lung consolidations: review and pictorial essay. Part 1: pathophysiologic and colour Doppler sonographic basics of pulmonary vascularity. *Ultraschall Med.* 2004,25, 3, 285-291.
 54. Görg C., Seifart U., Görg K., Zugmaier G.: Color Doppler sonographic mapping of pulmonary lesions: evidence of dual arterial supply by spectral analysis. *J Ultrasound Med.* 2003, 22, 10, 1033-1039.
 55. Kamaya A., Tuthill T., Rubin J.M.: Twinkling Artifact on Color Doppler Sonography dependence on machine parameters and underlying cause. *AJR Am J Roentgenol.* 2003, 180, 1, 215-222.
 56. Yuan A., Yang P.C., Lee L., Wu D.H., Kuo S.H., Luh K.T., Chen W.J., Lin F.Y.: Reactive pulmonary artery vasoconstriction in pulmonary consolidation by color doppler ultrasonography. *Ultrasound Med Biol.* 2000, 26, 49–56.
 57. Volpicelli G., Elbarbary M., Blaivas M., Lichtenstein D.A., Mathis G., Kirkpatrick A.W., Melniker L., Gargani L., Noble V.E., Via G., Dean A., Tsung J.W., Soldati G., Copetti R., Bouhemad B., Reissig A., Agricola E., Rouby J.J., Arbelot C., Liteplo A., Sargsyan A., Silva F., Hoppmann R., Breikreutz R., Seibel A., Neri L., Storti E., Petrovic T.: International Liaison Committee on Lung Ultrasound (ILC-LUS) for International Consensus Conference on Lung Ultrasound (ICC-LUS). International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med.* 2012, 38, 4, 577-591.

58. Lichtenstein D., Hulot J.S., Rabiller A., Tostivint I., Mezière G.: Feasibility and safety of ultrasound-aided thoracentesis in mechanically ventilated patients. *Intensive Care Med.* 1999, 25, 9, 955-958.
59. Park S.C., Ryu J.H., Yeom S.R., Jeong J.W., Cho S.J.: Confirmation of endotracheal intubation by combined ultrasonographic methods in the Emergency Department. *Emerg Med Australas.* 2009, 21, 293-297.
60. Kerrey B.T., Geis G.L., Quinn A.M., Hornung R.W., Ruddy R.M.: A prospective comparison of diaphragmatic ultrasound and chest radiography to determine endotracheal tube position in a pediatric emergency department. *Pediatrics.* 2009, 123, 6, e1039-1044.
61. Marciniak B., Fayoux P., Hébrard A., Krivosic-Horber R., Engelhardt T., Bissonnette B.: Airway management in children: ultrasonography assessment of tracheal intubation in real time? *Anesth Analg.* 2009, 108, 2, 461-465.
62. Lichtenstein D.A., Lascols N., Mezière G., Gepner A. Ultrasound diagnosis of alveolar consolidation in the critically ill. *Intensive Care Med.* 2004, Feb, 30, 2, 276-281.
63. Lichtenstein D., Mezière G., Biderman P., Gepner A.: The comet-tail artifact: an ultrasound sign ruling out pneumothorax. *Intensive Care Med.* 1999, 25, 4, 383-388.
64. Mathis G., Blank W., Reissig A., Lechleitner P., Reuss J., Schuler A., Beckh S.: Thoracic Ultrasound for Diagnosis Pulmonary Embolism. A prospective multicenter study of 352 patients. *Chest,* 2005, 128, 1531-1538.
65. Kulus M.: Antybiotykoterapia w zapaleniach płuc u dzieci. *Pol. Merk. Lek.* 2011, 30, 179, 346.
66. Clark J.E., Hammal D., Hampton F., Spencer D, Parker L.: Epidemiology of community acquired pneumonia in children seen in hospital. *Epidem. Infect.* 2007, 135, 262-269.
67. Senstad A.C., Suren P., Brauteset L. Eriksson J.R, Høiby E.A, Wathne K.O.: Community-acquired pneumonia (CAP) in children in Oslo, Norway. *Acta Paediatr.* 2009, 98, 332-336.
68. Moore Ch. L, Copel J.: A Point-of-Care Ultrasonography. *N Engl J Med.* 2011, 364, 749-757.
69. Eikenberry M., Bartakova H., Defor T., Haddad I.Y., Ramsay N.K., Blazar B.R., Milla C.E., Cornfield D.N.: Natural history of pulmonary complications in children after bone marrow transplantation. *Biol Blood Marrow Transplant* 2005, 11, 56-64.
70. Ewig S., Torres A., Riquelme R., El-Ebiary M., Rovira M., Carreras E., Raño A., Xaubet A.: Pulmonary complications in patients with haematological malignancies treated at a respiratory ICU. *Eur Respir J.* 1998, 12, 116-122.

71. Zachary J.F, O'Brien W.D. Jr.: Lung lesions induced by continuous-and pulsed-wave, diagnostic ultrasound in mice, rabbits, and pigs. *Vet Pathol.* 1995, 32, 43-54.
72. Baggs R., Penney D.P., Cox C., Child S.Z., Raeman C.H., Dalecki D., Carstensen E.L.: Thresholds for ultrasonically induced lung hemorrhage in neonatal swine. *Ultrasound Med Biol.* 1996 , 22, 1, 119-128.
73. Dalecki D., Child S.Z., Raeman C.H., Cox C., Carstensen E.L.: Ultrasonically induced lung hemorrhage in young swine. *Ultrasound Med Biol.* 1997, 23, 5, 777-778.
74. O'Brien W.D. Jr., Frizzell L.A., Weigel R.M., Zachary J.F.: Ultrasound-induced lung hemorrhage is not caused by inertial cavitation. *J Acoust Soc Am.* 2000, 108, 1290 -1297.
75. O'Brien W.D. Jr., Kramer J.M., Waldrop T.G., Frizzell L.A., Miller R.J., Blue J.P., Zachary J.F.: Ultrasound-induced lung hemorrhage: Role of acoustic boundary conditions at the pleural surface. *J Acoust Soc Am.* 2002, 111, 1102-1109.
76. Dalecki D.: Mechanical bioeffects of ultrasound. *Annu Rev Biomed Eng.* 2004, 6, 229 - 248.
77. Church C.C., Carstensen E.L., Nyborg W.L., Carson P.L., Frizzell L.A., Bailey M.R.: The risk of exposure to diagnostic ultrasound in postnatal subjects: Nonthermal mechanisms. *J Ultrasound Med.* 2008, 27, 565-592.
78. Shankar H, Pagel P.S.: Potential adverse ultrasound-related biological effects: a critical review. *Anesthesiology*, 2011, 115, 5, 1109-1124.
79. Meltzer R.S., Adsumelli R., Risher W.H., Hicks G.L. Jr., Stern D.H., Shah P.M., Wojtczak J.A., Lustik S.J., Gayeski T.E., Shapiro J.R., Carstensen E.L.: Lack of lung hemorrhage in humans after intraoperative transesophageal echocardiography with ultrasound exposure conditions similar to those causing lung hemorrhage in laboratory animals. *J Am Soc Echocardiogr.* 1998, 11, 57- 60.
80. Fowlkes J.B: Bioeffects Committee of the American Institute of Ultrasound in Medicine: American Institute of Ultrasound in Medicine consensus report on potential bioeffects of diagnostic ultrasound: Executive summary. *J Ultrasound Med.* 2008, 27, 503-515.
81. Ter Haar G.: Review. Ultrasonic imaging: safety considerations. *Interface Focus*, 2011, 1: 686-697.
82. Lichtenstein D.A., Goldstein I., Mourgeon E., Cluzel P., Grenier P., Rouby J.J.: Comparative diagnostic performances of auscultation, chest radiography, and lung ultrasonography in acuterespiratory distress syndrome. *Anesthesiology*, 2004, 100: 9-15.
83. Chung M.J., Goo J.M., Im J.G., Cho J.M., Cho S.B., Kim S.J.: Value of high-resolution ultrasound in detecting a pneumothorax. *Eur Radiol.* 2005, 15, 5, 930-935.

84. Zanobetti M., Poggioni C., Pini R.: Can chest ultrasonography replace standard chest radiography for evaluation of acute dyspnea in the ED? *Chest*, 2011, 139, 5, 1140-1147.
85. Ding W., Shen Y., Yang J., He X., Zhang M.: Diagnosis of pneumothorax by radiography and ultrasonography: a meta-analysis. *Chest*, 2011, 140, 4, 859-866.
86. Pollard J.M., Gatti R.A.: Clinical radiation sensitivity with DNA repair disorders: an overview. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2009, 1, 74, 5, 1323-1331.
87. Andrieu N., Easton D.F., Chang-Claude J., Rookus M.A., Brohet R., Cardis E., Antoniou A.C., Wagner T., Simard J., Evans G., Peock S., Fricker J.P., Nogues C., Van't Veer L., Van Leeuwen F.E., Goldgar D.E.: Effect of chest X-rays on the risk of breast cancer among *BRCA1/2* mutation carriers in the international *BRCA1/2* carrier cohort study: a report from the EMBRACE, GENEPSO, GEO-HEBON, and IBCCS Collaborators' Group. *J Clin Oncol.* 2006, 20, 24, 21, 3361-3366.
88. Brenner D., Elliston C., Hall E.B.: Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT. *AJR Am J Roentgenol.* 2001, 176, 289-296.
89. Slovis T.L.: Children, computed tomography radiation dose, and the As Low As Reasonably Achievable (ALARA) concept. *Pediatrics*, 2003, 112, 971-972.
90. Frush D.P., Donnelly L.F., Rosen N.S.: Computed tomography and radiation risks: what pediatric healthcare providers should know. *Pediatrics*, 2003, 112, 951-957.
91. Donnelly L.F.: Reducing radiation dose associated with pediatric CT by decreasing unnecessary examinations. *AJR Am J Roentgenol.* 2005, 184, 655-657.
92. Brenner D.J., Hall E.J.: Computed tomography—an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med.* 2007, 357, 2277-2284.
93. Brody A.S., Frush D.P., Huda W., Brent R.L.: Radiation risk to children from computed tomography. *Pediatrics*, 2007, 120, 677-682.
94. Chodick G., Ronckers C.M., Shalev V., Ron E.: Excess lifetime cancer mortality risk attributable to radiation exposure from computed tomography examinations in children. *Isr Med Assoc J.* 2007, 9, 584-587.
95. Verdun F.R., Bochud F., Gundinchet F., Aroua A., Schnyder P., Meuli R.: Quality initiatives radiation risk: what you should know to tell your patient. *Radiographics*, 2008, 28, 7, 1807-1816.
96. Lichtenstein D.A.: Ultrasound examination of the lungs in the intensive care unit. *Pediatr Crit Care Med.* 2009, 10, 693-698.
97. Xirouchaki N., Magkanas E., Vaporidi K., Kondili E., Plataki M., Patrianakos A., Akoumianaki E., Georgopoulos D.: Lung ultrasound in criti-

- cally ill patients: comparison with bedside chest radiography. *Intensive Care Med.* 2011, 37, 9, 1488-1493.
98. Peris A., Tutino L., Zagli G., Batacchi S., Cianchi G., Spina R., Bonizzoli M., Migliaccio L., Perretta L., Bartolini M., Ban K., Balik M.: The use of point-of-care bedside lung ultrasound significantly reduces the number of radiographs and computed tomography scans in critically ill patients. *Anesth Analg.* 2010, 111, 3, 687-692.
 99. Ahmed B.A., Connolly B.L., Shroff P., Chong A.L., Gordon C., Grant R., Greenberg M.L., Thomas K.E.: Cumulative effective doses from radiologic procedures for pediatric oncology patients. *Pediatrics*, 2010, 126, 4, 851-858.
 100. Chong A.L., Grant R.M., Ahmed B.A., Thomas K.E., Connolly B.L., Greenberg M.: Imaging in pediatric patients: time to think again about surveillance. *Pediatr Blood Cancer*, 2010, 55, 3, 407-413.
 101. Reissig A., Kroegel C.: Accuracy of transthoracic sonography in excluding post-interventional pneumothorax and hydropneumothorax. Comparison to chest radiography. *Eur J Radiol.* 2005, 53, 3, 463-470.
 102. Sartori S., Tombesi P., Trevisani L., Nielsen I., Tassinari D., Abbasciano V.: Accuracy of transthoracic sonography in detection of pneumothorax after sonographically guided lung biopsy: prospective comparison with chest radiography. *Am J Roentgenol.* 2007, 188, 37-41.
 103. Galbois A., Ait-Oufella H., Baudel J.L., Kofman T., Bottero J., Viennot S., Rabate C., Jabbouri S., Bouzeman A., Guidet B., Offenstadt G., Maury E.: Pleural ultrasound compared to chest radiographic detection of pneumothorax resolution after drainage. *Chest*, 2010, 138, 648-655.
 104. Kreuter M., Eberhardt R., Wenz H., Schmitteckert H., Heussel C.P., Herth F.: Diagnostic Value of Transthoracic Ultrasound Compared to Chest Radiography in the Detection of a Post-Interventional Pneumothorax. *Ultraschall Med.* 2011, 32, 2, 20-23.
 105. Chung M.J., Goo J.M., Im J.G., Cho J.M., Cho S.B., Kim S.J.: Value of high-resolution ultrasound in detecting a pneumothorax. *Eur Radiol.* 2005, 15, 5, 930-935.
 106. Kosiak W.: Badanie usg płuc i opłucnej. W: Jakubowski W. (red.): *Standardy Badań Ultrasonograficznych.* Warszawa-Zamość: Roztoczańska Szkoła Ultrasonografii, 2011, s. 79-83. ISBN 978-83-922237-9-5.
 107. Sahn S.A., Heffner J.E.: Spontaneous pneumothorax. *N Engl J Med.* 2000, 342, 12, 868-874.
 108. Gupta D., Hansell A., Nichols T., Duong T., Ayres J.G., Strachan D.: Epidemiology of pneumothorax in England. *Thorax*, 2000, 55, 8, 666-671.
 109. Alter S.J.: Spontaneous pneumothorax in infants: a 10-year review. *Pediatr Emerg Care*, 1997, 13, 401-403.

110. Wilcox D.T., Glick P.L., Kramanoukian H.L., Allen J.E., Azizkhan R.G.: Spontaneous pneumothorax: a single institution 12-year experience in patients under 16 years of age. *J Pediatr Surg.* 1995, 30, 1452-1454.
111. Davis A.M., Wensley D.F., Phelan P.D.: Spontaneous pneumothorax in pediatric patients. *Respiratory Med.* 1993, 87: 531-534.
112. O'Lone E., Elphick H.E., Robinson P.J.: Spontaneous pneumothorax in children: When is invasive treatment indicated? *Pediatr Pulmonol.* 2008, 43, 41-46.
113. Wojsyk-Banaszak I., Schoeneich N., Jończyk-Potoczna K., Henschke J., Breborowicz A.: Analiza częstości występowania i obrazu klinicznego odmy jamy płucnej u dzieci. *Pol Merk Lek.* 2011, 31, 186, 335-339.
114. Shaw K.S., Prasil P., Nguyen L.T., Laberge J.M.: Pediatric Spontaneous Pneumothorax. *Seminars in Ped Surg.* 2003, 12, 1, 55-61.
115. Agency for Healthcare Research and Quality (AHRQ). National healthcare quality report. Rockville MD.: Agency for Healthcare Research and Quality (AHRQ), 2003.
116. Miller M.R., Zhan C.: Pediatric patient safety in hospitals: a national picture in 2000. *Pediatrics*, 2004, 113, 6, 1741-1746.
117. Chen K.Y., Jerng J.S., Liao W.Y., Ding L.W., Kuo L.C., Wang J.Y., Yang P.C.: Pneumothorax in the ICU: Patient outcomes and prognostic factors. *Chest*, 2002, 122, 678-683.
118. De Lassence A., Timsit J.F., Tafflet M., Azoulay E., Jamali S., Vincent F., Cohen Y., Garrouste-Org., Alberti C., Dreyfuss D.: Pneumothorax in the intensive care unit: incidence, risk factors, and outcome. *Anesthesiology*, 2006, 104, 5-13.
119. Giraud T., Dhainaut J.F., Vaxelaire J.F., Joseph T., Journois D., Bleichner G., Sollet J.P., Chevret S., Monsallier J.F.: Iatrogenic complications in adult intensive care units: A prospective two-center study. *Crit Care Med.* 1993, 21, 40-51.
120. Anzueto A., Frutos-Vivar F., Esteban A., Alia I., Brochard L., Stewart T., Benito S., Tobin M.J., Elizalde J., Palizas F., David C.M., Pimentel J., Gonzalez M., Soto L., D'Empaire G., Pelosi P.: Incidence, risk factors and outcome of barotrauma in mechanically ventilated patients. *Intensive Care Med.* 2004, 30, 612-619.
121. Gammon R.B., Shin M.S., Groves Jr., R.H Hardin J.M., Hsu C., Buchalter S.E.: Clinical risk factors for pulmonary barotrauma: A multivariate analysis. *Am J Respir Crit Care Med.* 1995, 152, 1235-1240.
122. Boussarsar M., Thierry G., Jaber S., Roudot-Thoraval F., Lemaire F., Brochard L.: Relationship between ventilatory settings and barotrauma in the acute respiratory distress syndrome. *Intensive Care Med.* 2002, 28, 406-413.

123. Schnapp L.M., Chin D.P., Szaflarski N., Matthay M.A.: Frequency and importance of barotrauma in 100 patients with acute lung injury. *Crit Care Med.* 1995, 23, 272-278.
124. Weg J.G., Anzueto A., Balk R.A., Wiedemann H.P., Pattishall E.N., Schork M.A., Wagner L.A.: The relation of pneumothorax and other air leaks to mortality in the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med.* 1998, 338, 341-346.
125. Eisner M.D., Thompson B.T., Schoenfeld D., Anzueto A., Matthay M.A.: Airway pressures and early barotrauma in patients with acute lung injury and acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002, 165, 978-982.
126. Brochard L., Roudot-Thoraval F., Roupie E., Delclaux C., Chastre J., Fernandez-Mondejar E., Clementi E., Mancebo J., Factor P., Matamis D., Ranieri M., Blanch L., Rodi G., Mentec H., Dreyfuss D., Ferrer M., Brun-Buisson C., Tobin M., Lemaire F.: Tidal volume reduction for prevention of ventilator-induced lung injury in acute respiratory distress syndrome. The Multicenter Trial Group on Tidal Volume Reduction in ARDS. *Am J Respir Crit Care Med.* 1998, 158, 1831-1838.
127. Lefrant J.Y., Muller L., De La Coussaye J.E., Prudhomme M., Ripart J., Gouzes C., Peray P., Saissi G., Eledjam J.J.: Risk factors of failure and immediate complication of subclavian vein catheterization in critically ill patients. *Intensive Care Med.* 2002, 28, 1036-1041.
128. Timsit J.F.: Central venous access in intensive care unit patients: Is the subclavian vein the royal route? *Intensive Care Med.* 2002, 28, 1006-1008.
129. Despars J.A., Sassoon C.S., Light R.W.: Significance of iatrogenic pneumothoraces. *Chest*, 1994, 105, 1147-1150.
130. Ogata E.S., Gregory G.A., Kitterman J.A., Phibbs R.H., Tooley W.H.: Pneumothorax in the respiratory distress syndrome: incidence and effect on vital signs, blood gases, and pH. *Pediatrics*, 1976, 58, 177-183.
131. Sedman A., Harris J.M. Jr., Schulz K., Schwalenstocker E., Remus D., Scanlon M., Bahl V.: Relevance of the Agency for Healthcare Research and Quality Patient Safety Indicators for children's hospitals. *Pediatrics*, 2005, 115, 1, 135-145.
132. Ding W., Shen Y., Yang J., He X., Zhang M.: Diagnosis of Pneumothorax by Radiography and Ultrasonography: A Meta-analysis. *Chest*, 2011, 140, 859-866.
133. Volpicelli G.: Sonographic diagnosis of pneumothorax. *Intensive Care Med.* 2011, 37, 224-232.
134. Lichtenstein D.A., Mezière G., Biderman P., Gepner A.: The lung point: an ultrasound sign specific to pneumothorax. *Intensive Care Med.* 26, 1434-1440.

135. Cunningham J., Kirkpatrick A.W., Nicolaou S., Liu D., Hamilton D.R., Lawless B.: Enhanced recognition of "lung sliding" with power color Doppler imaging in the diagnosis of pneumothorax. *J. Trauma*, 2002, 52, 769-771.
136. Lichtenstein D.: *Whole body ultrasonography in the Critically Ill*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2010, s 317. ISBN 978-3-642-05328-3.
137. Lichtenstein D.A.: Ultrasound in the management of thoracic disease. *Crit Care Med*. 2007, 35, 250-261.
138. Henry M., Arnold T., Harvey J.: "BTS guidelines for the management of spontaneous pneumothorax". *Thorax*, 2003; 58, Suppl 2, 39-52.
139. Laennec R.T.H.: *Traite de l'auscultation mediate et des maladies des poumons et du coeur*. Paris: Tome Second, 1819.
140. Wernecke K., Galanski M., Peters P.E., Hansen J.: Pneumothorax: evaluation by ultrasound-preliminary results. *J Thorac Imag*. 1987, 2, 76-78.
141. Rantanen N.W.: Diseases of the thorax. *Vet Clin North Am Equine Pract*. 1986, 2, 1, 49-66.
142. Targhetta R., Bourgeois J.M., Balmes P.: Echography of pneumothorax. *Rev Mal Respir*. 1990, 7, 575-579.
143. Targhetta R., Bourgeois J.M., Chavagneux R., Balmes P.: Diagnosis of pneumothorax by ultrasound immediately after ultrasonically guided aspiration biopsy. *Chest*. 1992, 101, 3, 855-856.
144. Maury E., Guglielminotti J., Alzieu M., Guidet B., Offenstadt G.: Ultrasonic examination: an alternative to chest radiography after central venous catheter insertion? *Am J Respir Crit Care Med*. 2001, 1, 164, 3, 403-405
145. Kreuter M., Eberhardt R., Wenz H., Schmitteckert H., Heussel C.P., Herth F.: Diagnostic Value of Transthoracic Ultrasound Compared to Chest Radiography in the Detection of a Post-Interventional Pneumothorax. *Ultraschall Med*. 2011, 32, 02, 20-23.
146. O'Brodovich H.: Pulmonary edema in infants and children. *Curr Opin Pediatr*. 2005, 17, 381-384.
147. <http://www.mdguidelines.com/pulmonary-edema>.
148. Elzouki A.Y., Harfi H.A., Nazer H., Oh W., Stapleton F.B., Whitley R.J.: *Textbook of Clinical Pediatrics*. Lippincott Williams & Wilkins, 2012, s. 2165. ISBN 978-3-642-02201-2.
149. O'Brodovich H.: Pulmonary edema in infants and children. *Curr Opin Pediatr*. 2005, 17, 381-384.
150. Flori H.R., Glidden D.V., Rutherford G.W., Matthay M.A.: Pediatric acute lung injury: prospective evaluation of risk factors associated with mortality. *Am J Respir Crit Care Med*. 2005, 171, 995-1000.
151. Kakihana K., Ohashi K., Akiyama H.: Pulmonary Complications Caused by Acute Leukemia. *JCD*. 2010 www.slm-hematology.com.

152. Toy P., Lowell C.: TRALI—definition, mechanisms, incidence and clinical relevance. *Best Pract Res Cl Anaesthesiol.* 2007, 21, 2, 183-193.
153. Reissig A., Kroegel C.: Transthoracic sonography of diffuse parenchymal lung disease: the role of comet tail artifacts. *J Ultrasound Med.* 2003, 22, 2, 173-180.
154. Frassi F., Gargani L., Gligorova S., Ciampi Q., Mottola G., Picano E.: Clinical and echocardiographic determinants of ultrasound lung comets. *Eur J Echocardiogr.* 2007, 8, 6, 474-479.
155. Pieper C.H., Smith J., Brand E.J.: The value of ultrasound examination of the lungs in predicting bronchopulmonary dysplasia *Pediatr Radiol.* 2004, 34, 3, 227-231.
156. Arbelot C., Ferrari F., Bouhemad B., Rouby J.J.: Lung ultrasound in acute respiratory distress syndrome and acute lung injury. *Curr Opin Crit Care.* 2008, 14, 1, 70-74.
157. Kosiak W.: Diagnostyka ultrasonograficzna chorób zapalnych płuc. Część 1. Obraz prawidłowy i podstawy diagnostyki ultrasonograficznej zmian zapalnych w płucach. *Ultrasonografia*, 2009, 9, 26-31.
158. Copetti R., Cattarossi L.: Ultrasound diagnosis of pneumonia in children. *Radiol Med.* 2008, 113, 2, 190-198.
159. Caiulo V.A., Gargani L., Caiulo S., Fiscaro A., Moramarco F., Latini G., Picano E.: Lung ultrasound in bronchiolitis: comparison with chest X-ray. *Eur J Pediatr.* 2011, 170, 11, 1427-33.
160. Lichtenstein D.: Lung ultrasound in the critically ill. *In: Yearbook of Intensive Care and Emergency Medicine.* Heidelberg: Springer, 2004, s. 625-644. ISBN 978-3540207146.
161. Ashbaugh D.G., Bigelow B., Petty T., Levine B.: Acute respiratory distress in adults. *Lancet*, 1967, 2, 7511, 319-323.
162. Bernard G.R., Artigas A., Brigham K.L., Carlet J., Falke K., Hudson L., Lamy M., Legall J.R., Morris A., Spragg R.: The American-European Consensus Conference on ARDS. Definitions, mechanisms, relevant outcomes, and clinical trial coordination. *Am J Respir Crit Care Med.* 1994, 149, 3, 818-824.
163. Gardelli G., Feletti F., Gamberini E., Bonarelli S., Nanni A., Mughetti M.: Using sonography to assess lung recruitment in patients with acute respiratory distress syndrome. *Emerg Radiol* 2009, 16, 219-221.
164. Lichtenstein D.: Lung ultrasound in the critically ill. *Clin Intensive Care* 2005, 16, 2, 79-87.
165. Volpicelli G., Cardinale L., Mussa A., Valeria C.: Diagnosis of cardiogenic pulmonary edema by sonography limited to the anterior lung. *Ches.* 2009, 135, 3, 883-884.
166. Dalen J.E.: Pulmonary embolism: what have we learned since Virchow? Natural history, pathophysiology, and diagnosis. *Chest*, 2002, 122, 1440-1456.

167. Moser K.M., Fedullo P.F., Littejohn J.K., Crawford R.: Frequent asymptomatic pulmonary embolism in patients with deep venous thrombosis. *JAMA*. 1994, 271, 223-225.
168. Kearon C.: Natural history of venous thromboembolism. *Circulation*, 2003, 107, 23 Suppl. 1, I22-I30.
169. Stevenson GF., Stevenson FL.: Pulmonary embolism in childhood. *J Pediatr*. 1949, 34:62.
170. Van Ommen C.H., Heijboer H., Buller H.R., Hirasing R.A., Heijmans H.S., Peters M.: Venous thromboembolism in childhood: A prospective two-year registry in The Netherlands (2001). *J Pediatr*. 2001, 139, 676-681.
171. Stein P.D., Kayali F., Olson R.E.: Incidence of venous thromboembolism in infants and children: data from the National Hospital Discharge Survey. *J Pediatr*. 2004, 145, 4, 563-565.
172. Andrew M., David M., Adams M., Ali K., Anderson R., Bernard D., Bernstein M., Brisson L., Cairney B., DeSai D., Grant R., Israels S., Jardine L., Luke B., Massicotte P., Silva M.: Venous thromboembolic complications (VTE) in children: first analyses of the Canadian Registry of VTE. *Blood*, 1994, 83, 1251-1257.
173. Gibson B., Chalmers E., Bolton-Maggs P., Henderson D.J., Lynn R.: Thrombembolism in childhood: a prospective 2 year BPSU study in the United Kingdom. *Thromb Haemost*. 2003, 1, suppl 1, OC422.
174. van Ommen C.H., Peters M.: Venous thromboembolic disease in childhood. *Semin Thromb Hemost*. 2003, 29, 391-404.
175. Nuss R., Hays T., Manco-Johnson M.: Childhood thrombosis. *Pediatrics* 1995, 96:291-294.
176. Stein P.D., Kayali F., Olson R.E.: Estimated case fatality rate of pulmonary embolism, 1979 to 1998. *Am J Cardiol*. 2004, 93, 1197-1199.
177. Evans D.A., Wilmott R.W.: Pulmonary embolism in children. *Pediatr Clin North Am*. Jun 1994, 41, 3, 569-84.
178. Rajpurkar M., Warriar I., Chitlur M., Sabo C., Frey M.J., Hollon W., Lusher J.: Pulmonary embolism-experience at a single children's hospital. *Thromb Res*. 2007, 119, 6, 699-703.
179. Kroegel C., Reissig A.: Principle Mechanisms Underlying Venous Thromboembolism: Epidemiology, Risk Factors, Pathophysiology and Pathogenesis. *Respiration*, 2003, 70, 7-30.
180. Van Ommen C.H., Peters M.: Acute pulmonary embolism in childhood. *Thrombosis Research*, 2006, 118, 13-25.
181. Massicotte M.P., Dix D., Monagle P., Adams M., Andrew M.: Central venous catheter related thrombosis in children: analysis of the Canadian Registry of Venous Thromboembolic Complications. *J Pediatr*. 1998, 133, 770-776.

182. Torbicki A., Perrier A., Konstantinides S., Agnelli G., Galiè N., Pruszczyk P., Bengel F., Brady A.J., Ferreira D., Janssens U., Klepetko W., Mayer E., Remy-Jardin M., Bassand JP, ESC Committee for Practice Guidelines (CPG). Guidelines on the diagnosis and management of acute pulmonary embolism: the Task Force for the Diagnosis and Management of Acute Pulmonary Embolism of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J.* 2008, 29, 18, 2276-2315.
183. Hiorns M.P., Mayo J.R.: Spiral computed tomography for acute pulmonary embolism *Can Assoc Radiol J.* 2002, 53, 258-268.
184. Rathbun S.W., Raskob G.E., Whitsett T.L.: Sensitivity and specificity of helical computed tomography in diagnosis of pulmonary embolism. *Arch Intern Med.* 2000, 132, 227-232.
185. Kokot F., Januszewicz W.: Interna. Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL, 2004: s. 240-245. ISBN 8320032490.
186. Dudrick S.J., Joyner C.R., Miller L.D., Eskin D.J., Knight D.H.: Ultrasound in the early diagnosis of pulmonary embolism. *Surg Forum*, 1966, 17, 117-118.
187. Joyner C.R. Jr., Miller L.D., Dudrick S.J., Eskin D.J., Knight D.H.: Reflected ultrasound in the detection of pulmonary embolism. *Trans Assoc Am Physicians*, 1966, 79, 262-277.
188. Miller L.D., Joyner C.R. Jr., Dudrick S.J., Eskin D.J.: Clinical use of ultrasound in the early diagnosis of pulmonary embolism. *Ann Surg.* 1967, 166, 381-393.
189. Goldhaber S.Z., Visani L., De Rosa M.: Acute pulmonary embolism: clinical outcomes in the International Cooperative Pulmonary Embolism Registry (ICOPER). *Lancet*, 1999, 353, 1386-1389.
190. Kasper W., Konstantinides S., Geibel A., Olschewski M., Heinrich F., Grosser K.D., Rauber K., Iversen S., Redecker M., Kienast J.: Management strategies and determinants of outcome in acute major pulmonary embolism: results of a multicenter registry. *J Am Coll Cardiol.* 1997, 30, 1165-1171.
191. Sevitt S., Gallaher N.: Venous thrombosis and pulmonary embolism. A clinico-pathological study in injured and burned patients. *Br J Surg.* 1961, 48, 475-489.
192. Kearon C., Ginsberg J.S., Hirsh J.: The role of venous ultrasonography in the diagnosis of suspected deep venous thrombosis and pulmonary embolism. *Ann Intern Med.* 1998, 129, 1044-1049.
193. Perrier A., Bounameaux H.: Ultrasonography of leg veins in patients suspected of having pulmonary embolism. *Ann Intern Med.* 1998, 128, 243-245.
194. Hampton A.O., Castleman B.: Correlation of postmortem chest tele-roentgenograms with autopsy findings. *Am J Roentgenol Radium Ther.* 1940, 43, 305-326.

195. Dalen J.E., Haffajee C.I., Alpert J.S 3rd, Howe J.P, Ockene I.S, Paraskos J.A. Pulmonary embolism, pulmonary hemorrhage and pulmonary infarction. *N Engl J Med.* 1977, 296, 1431-1435.
196. Mathis G., Bitschnau R., Gehmacher O., Scheier M., Kopf A., Schwärzler B., Amann T., Doring W., Hergan K.: Chest ultrasound in diagnosis of pulmonary embolism in comparison to helical CT: *Ultraschall in Med.* 1999, 20, 54-59.
197. Reissig A., Heyne J-P., Kroegel C.: Sonography of lung and pleura in pulmonary embolism: sonomorphologic characterization and comparison with spiral CT scanning. *Chest*, 2001, 120, 1977-1983.
198. Dalen J.E., Alpert J.S.: Natural history of pulmonary embolism. *Prog Cardiovasc Dis.* 1975, 17, 259-270.
199. Bynum L.J., Wilson J.E 3rd.: Radiographic features of pleural effusions in pulmonary embolism. *Am Rev Respir Dis.* 1978, 117, 829-834.
200. Shah A.A., Davis S.D., Gamsu G., Intriore L.: Parenchymal and pleural findings in patients with and patients without acute pulmonary embolism detected at spiral CT. *Radiology*, 1999, 211, 147-153.
201. Ren H., Kuhlman J.E., Hruban R.H., Fishman E.K., Wheeler P.S., Hutchins G.M.: CT of inflation-fixed lungs: Wedge-shaped density and vascular sign in the diagnosis of infarction. *J Comput Assist Tomogr.* 1990, 14, 82-86.
202. Herth J.F., Becker H.D., Transthoracic ultrasound. *Respiration.* 2003, 70, 87-94.
203. Chernick V., Hodson WH., Greenfield LJ.: Effects of chronic pulmonary artery ligation on pulmonary mechanisms and surfactant. *J Appl Physiol.* 1966, 21, 1315-1320.
204. Lichtenstein D.A.: The Respiratory System. In: *Practical Ultrasound In Anesthesia for Critical Care and Pain Management.* New York: Informa Healthcare USA, 2008, s. 194-214. ISBN 978-0824728861.
205. Light R.W.: Pleural effusion due to pulmonary emboli. *Curr Opin Pulm Med.* 2001, 7, 198-201.
206. Elliott C.G., Goldhaber S.Z., Visani L., DeRosa M.: Chest radiographs in acute pulmonary embolism. Results from the International Cooperative Pulmonary Embolism Registry. *Chest*, 2000, 118, 33-38.
207. Ren H., Kuhlman J.E., Hruban R.H., Fishman E.K., Wheeler P.S., Hutchins G.M.: CT of inflation-fixed lungs: Wedge-shaped density and vascular sign in the diagnosis of infarction. *J Comput Assist Tomogr.* 1990, 14:82-86.
208. Mathis G., Metzler J., Fussenegger D., Sutterlütli G., Feurstein M., Fritzsche H.: Sonographic observation of pulmonary infarction and early infarctions by pulmonary embolism. *Eur Heart J.* 1993, 14, 804-808.
209. Frazer R.G., Paré J.A.P., Paré P.D., Frazer R.S., Genereux G.P.: Embolic and thrombotic diseases of the lung, in Frazer RG., Paré J.A.P., Paré

- .P.D., Frazer R.S., Genereux G.P.: *Diagnosis of diseases of the chest*, ed 3. Philadelphia: Saunders, 1990, s 1701-1813. ISBN 978-0721638737.
210. Remy-Jardin M., Remy J., Deschildre F., Artaud D., Beregi J.P., Hossain-Foucher C., Marchandise X., Duhamel A.: Diagnosis of pulmonary embolism with spiral CT: Comparison with pulmonary angiography and scintigraphy. *Radiology*, 1996, 200, 699-706.
 211. Stern E.J., Müller N.L., Swensen S.J., Hartman T.E.: CT mosaic pattern of lung attenuation: Etiologies and terminology. *J Thorac Imaging*. 1995, 10, 294-297.
 212. Nakos G., Kitsioulis E.I., Lekka M.E.: Bronchoalveolar lavage alterations in pulmonary embolism. *Am J Respir Crit Care Med*. 1998, 158, 1504-1510.
 213. Malik A.B., Van der Zee H.: Mechanism of pulmonary edema induced by microembolization in dogs. *Circ Res*. 1978, 42, 72-79.
 214. Ohkuda K., Nakahara K., Weidner W.J.: Lung fluid exchange after uneven pulmonary artery obstruction in sheeps. *Circ Res*. 1978, 43, 152-161.
 215. Cheng D., Rodriguez R.M., Perkett E.A., Rogers J., Bienvenu G., Lapalainen U., Light R.W.: Vascular endothelial growth factor in pleural fluid. *Chest*, 1999, 116, 760-765.
 216. Kosiak M., Kosiak W., Korbus-Kosiak A.: Zatorowość płucna w pediatrii: trudności i nadzieje diagnostyczne. *Ultrasonografia*, 2008, 8, 32, 65-70.
 217. Kosiak M., Korbus-Kosiak A., Kosiak W., Potaz P.: Is chest sonography a breakthrough in diagnosis of pulmonary thromboembolism in children? *Pediatr Pulmonol*. 2008, 43, 12, 1183-1187.
 218. Versluis P.J., Lamers R.J. Lobar pneumonia: an ultrasound diagnosis. *Pediatr Radiol*. 1993, 23, 7, 561-562.
 219. Reisig A., Gorg C., Mathis G.: Transthoracic sonography in the diagnosis of pulmonary diseases: a systematic approach. *Ultraschall in Med*. 2009, 30, 438-458.
 220. Weinberg B., Diakoumakis E.E., Kass E.G., Seife B., Zvi Z.B.: The air bronchogram: sonographic demonstration. *AJR Am J Roentgenol*. 1986, 147, 593-595.
 221. Görg C., Kring R., Bert T.: Transcutaneous contrast-enhanced sonography of peripheral lung lesions. *AJR Am J Roentgenol*. 2006, 187, 4, 420-429.
 222. Görg C.: Transcutaneous contrast-enhanced sonography of pleural-based pulmonary lesions. *Eur J Radiol*. 2007, 64, 2, 213-221.
 223. Mazur E.: Atypowe zapalenia płuc – obraz kliniczny, diagnostyka mikrobiologiczna. *Med Rodzinna*, 2008, 1, 6-10.
 224. Jennings L.C., Anderson T.P., Beynon K.A., Chua A., Laing R.T., Werino A.M., Young S.A., Chambers S.T., Murdoch D.R.: Incidence and

- characteristics of viral community-acquired pneumonia in adults. *Thorax*, 2008, 63, 42-48.
225. Yang P.C., Luh K.T., Chang D.B., Yu P.C., Kuo S.H., Wu H.D.: Ultrasonographic evaluation of pulmonary consolidation. *Am Rev Resp Dis*. 1992, 146, 757-762.
226. Yang P.C., Lee Y.C., Wu H.D., Luh K.T.: Lung tumors associated with obstructive pneumonitis: US studies. *Radiology*, 1990, 174, 717-720.
227. Mathis G.: *Chest Sonography*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2008, s. 50-62. ISBN 978-3642212468.
228. Yang P.C., Luh K.T., Lee Y.C.: Lung abscesses: ultrasonography and ultrasound-guided transthoracic aspiration. *Radiology*, 1991, 180, 171-175.
229. Marrie T.J.: Community acquired pneumonia: epidemiology, etiology, treatment. *Infect Dis Clin North Am*. 1998, 12, 3, 723-740.
230. Mandhaniya S., Swaroop C., Thulkar S., Vishnubhatla S., Kabra S.K., Xess I., Bakhshi S.: Oral voriconazole versus intravenous low dose amphotericin B for primary antifungal prophylaxis in pediatric acute leukemia induction: a prospective, randomized, clinical study. *J Pediatr Hematol Oncol*. 2011, 33, 8, 333-341.
231. Groll A.H., Shah P.M., Mentzel C., Schneider M., Just-Nuebling G., Huebner K.: Trends in the postmortem epidemiology of invasive fungal infections at a university hospital. *J Infect*. 1996, 33, 1, 23-32.
232. Zmeili O.S., Soubani A.O.: Pulmonary aspergillosis: a clinical update. *QJM*. 2007, 100, 6, 317-334.
233. Garnacho-Montero J., Amaya-Villar R., Ortiz-Leyba C., Leon C., Alvarez-Lerma F., Nolla-Salas J., Iruetagoiena J.R., Barcenilla F.: Isolation of *Aspergillus* spp. from the respiratory tract in critically ill patients: risk factors, clinical presentation and outcome. *Crit Care*. 2005, 9: R191-R199.
234. Meersseman W., Vandecasteele S.J., Wilmer A., Verbeken E., Peetermans W.E., Van W.E.: Invasive aspergillosis in critically ill patients without malignancy. *Am J Respir Crit Care Med*. 2004, 170, 621-625.
235. Trof R.J., Beishuizen A., Debets-Ossenkopp Y.J., Girbes A.R., Groeneveld A.B.: Management of invasive pulmonary aspergillosis in non-neutropenic critically ill patients. *Intensive Care Med*. 2007, 33, 10, 1694-1703.
236. Lin S.J., Schranz J., Teutsch S.M.: Aspergillosis case-fatality rate: systematic review of the literature. *Clin Infect Dis*. 2001, 32, 3, 358-366.
237. Andreas H., Groll A.H., Roilides E., Walsh T.J.: *Invasive Aspergillosis in Paediatric Patients*. W. Pasqualotto A.C.: *Aspergillosis: from diagnosis to prevention*. London New York: Springer Dordrecht Heidelberg, 2010, s 460-483. ISBN 978-90-481-2407-7.

238. Ruhnke M., Böhme A., Buchheidt D., Cornely O., Donhuijsen K., Einsele H., Enzensberger R., Hebart H., Heussel C.P., Horger M., Hof H., Karthaus M., Krüger W., Maschmeyer G., Penack O., Ritter J., Schwartz S.: Infectious Diseases Working Party in Haematology and Oncology of the German Society for Haematology and Oncology. Diagnosis of invasive fungal infections in hematology and oncology – guidelines from the Infectious Diseases Working Party in Haematology and Oncology of the German Society for Haematology and Oncology (AGIHO). *Ann Oncol.* 2012, 23, 4, 823-833.
239. Subira M., Martino R., Rovira M., Vazquez L., Serrano D., Camara R.: Clinical applicability of the new EORTC/MSG classification for invasive pulmonary aspergillosis in patients with hematological malignancies and autopsy-confirmed invasive aspergillosis. *Ann Hematol.* 2003, 82, 80-82.
240. Heussel C.P., Kauczor H.U., Heussel G., Fischer B., Mildenerger P., Thelen M.: Early detection of pneumonia in febrile neutropenic patients: use of thin-section CT. *AJR Am J Roentgenol.* 1997, 169, 5, 1347-1353.
241. Heussel C.P., Kauczor H.U., Heussel G., Fischer B., Begrich M., Mildenerger P., Thelen M.: Pneumonia in febrile neutropenic patients and in bone marrow and blood stem-cell transplant recipients: use of high-resolution computed tomography. *J Clin Oncol.* 1999, 17, 3, 796-805.
242. Ramila E., Sureda A., Martino R., Santamaría A., Franquet T., Puzo C., Montesinos J., Perea G., Sierra J.: Bronchoscopy guided by high-resolution computed tomography for the diagnosis of pulmonary infections in patients with hematologic malignancies and normal plain chest X-ray. *Haematologica*, 2000, 85, 9, 961-966.
243. Caillot D., Couaillier J.F., Bernard A., Casasnovas O., Denning D.W., Mannone L., Lopez J., Couillaud G., Piard F., Vagner O., Guy H.: Increasing volume and changing characteristics of invasive pulmonary aspergillosis on sequential thoracic computed tomography scans in patients with neutropenia. *J Clin Oncol.* 2001, 19, 1, 253-259.
244. Greene R.E., Schlamm H.T., Oestmann J.W., Stark P., Durand C., Lortholary O., Wingard J.R., Herbrecht R., Ribaud P., Patterson T.F., Troke P.F., Denning D.W., Bennett J.E., de Pauw B.E., Rubin R.H.: Imaging findings in acute invasive pulmonary aspergillosis: clinical significance of the halo sign. *Clin Infect Dis.* 2007, 44, 3, 373-379.
245. Kami M., Kishi Y., Hamaki T., Kawabata M., Kashima T., Masumoto T., Oki Y., Tanaka Y., Sawada S., Machida U., Ohtomo K., Kanda Y., Hirai H., Mutou Y.: The value of the chest computed tomography halo sign in the diagnosis of invasive pulmonary aspergillosis. An autopsy-based retrospective study of 48 patients. *Mycoses*, 2002, 45, 8, 287-294.

246. Kim Y., Lee K.S., Jung K.J., Han J., Kim J.S., Suh J.S.: Halo sign on high resolution CT: findings in spectrum of pulmonary diseases with pathologic correlation. *J Comput Assist Tomogr.* 1999, 23, 4, 622-626.
247. Lass-Flörl C., Resch G., Nachbaur D., Mayr A., Gastl G., Auberger J., Bialek R., Freund M.C.: The value of computed tomography guided percutaneous lung biopsy for diagnosis of invasive fungal infection in immunocompromised patients. *Clin Infect Dis.* 2007, 45, 7, e101-e104.
248. Horger M., Einsele H., Schumacher U., Wehrmann M., Hebart H., Lengerke C., Vonthein R., Claussen C.D., Pfannenbergl C.: Invasive pulmonary aspergillosis: frequency and meaning of the “hypodense sign” on unenhanced CT. *Br J Radiol.* 2005, 78, 932, 697-703.
249. Irga-Jaworska N. Inwazyjne zakażenia grzybicze u dzieci leczonych z powodu schorzeń rozrostowych układu krwiotwórczego i ciężkiej anemii aplastycznej – nowe aspekty diagnostyki i terapii. 2013, Tom XLIII, suplement 2, s. 80, PL ISSN 0303-4135.

9. STRESZCZENIE

Obrazowanie zmian w mięszu płuc za pomocą ultradźwięków nie znalazło jeszcze miejsca w algorytmach diagnostycznych chorób płuc i nadal nie jest metodą diagnostyczną akceptowaną przez większość klinicystów. Powszechnie jest przekonanie o braku możliwości i przydatności badania tkanki płucnej za pomocą ultradźwięków nie tylko u dzieci, ale również u osób dorosłych, pomimo stale rosnącej liczby publikacji, w których dobrze udokumentowano przydatność oceny ultrasonograficznej płuc w codziennej praktyce klinicznej. Ultrasonograficzna ocena narządów położonych wewnątrz klatki piersiowej u dzieci nie jest zagadnieniem nowym i wykorzystywana jest w codziennej praktyce w większości ośrodków pediatrycznych. Jednakże ocena śródpiersia, jamy opłucnowej i podopłucnowych obszarów konsolidacji tkanki płucnej to jedyne, jak dotychczas, elementy przezklatkowego badania ultrasonograficznego płuc (PBUP) wykorzystywane w pediatrii. W tej grupie pacjentów brak jest danych o możliwości wykorzystania PBUP w diagnostyce obrzęku płuc, odmy jamy opłucnowej, zatorowości płucnej i zapalenia płuc o etiologii grzybiczej.

Zasadniczym celem rozprawy była prezentacja możliwości wykorzystania przezklatkowego badania ultrasonograficznego płuc u dzieci, ze szczególnym uwzględnieniem pacjentów leczonych z powodu choroby nowotworowej. Kolejnym celem była prezentacja PBUP jako metody diagnostyki obrazowej zmian w płucach u dzieci, z uwzględnieniem aspektów technicznych badania, prawidłowego obrazu płuc i zmian patologicznych w wybranych jednostkach chorobowych: w odmie jamy opłucnej, zatorowości płucnej, obrzęku płuc i inwazyjnej aspergiliozy płucnej. W pracy przedstawiono zarys historii diagnostyki ultrasonograficznej płuc oraz aktualny stan wiedzy, uwzględniając pacjentów pediatrycznych i dorosłych. Dodatkowo zaprezentowano publikacje, które według autora należy uznać za kluczowe w rozwoju ultrasonograficznej diagnostyki płuc, oddzielnie dla populacji dorosłej i pediatrycznej. Szczegółowo omówiono argumenty przemawiające za korzystaniem z diagnostyki ultrasonograficznej płuc w codziennej praktyce oraz przedstawiono potencjalne możliwości diagnostyczne PBUP u dzieci, w oparciu o dane dotyczące populacji pacjentów dorosłych. Omówiono również bezpieczeństwo metody, dostępność, możliwość oceny zmian w płucach u pacjentów z bezwzględными i względnymi przeciwwskazaniami do badań radiologicznych oraz praktyczne aspekty jej wykorzystania. W dalszej części opracowania przedstawiono i podsumowano własne doświadczenia w diagnostyce ultrasonograficznej odmy jamy opłucnej, zatorowości płucnej, obrzęku płuc oraz inwazyjnej aspergiliozy płucnej u dzieci leczonych z powodu choroby nowotworowej. Taki układ rozprawy wybrano z dwóch przyczyn. Po pierwsze w dostępnym piśmiennictwie brakuje danych o możliwości wykorzystania ultrasonograficznej oceny płuc w grupie dzieci diagnozowanych i leczonych z powodu chorób nowotworowych. Po drugie jest to grupa schorzeń stwarzających „stan bezpośredniego zagrożenia życia u dziecka”, a dotychczas nie

opracowano dla nich ultrasonograficznych kryteriów diagnostycznych możliwych do wykorzystania w populacji pediatrycznej.

Argumentem przemawiającym za prezentacją doświadczeń własnych autora rozprawy jest fakt, że obecnie PBUP jest pierwszym badaniem obrazowym płuc w grupie pacjentów leczonych w Klinice Pediatrii, Hematologii i Onkologii Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego. Technika PBUP, kryteria diagnostyczne i ultrasonograficzna diagnostyka różnicowa zmian w płucach u dzieci zostały opracowane przez autora pracy na podstawie wieloletnich doświadczeń własnych, uzyskanych w pediatrycznej pracowni ultrasonograficznej oraz danych z piśmiennictwa, dotyczącego populacji pacjentów dorosłych oraz kilku publikacji omawiających prezentowane zagadnienia u dzieci. W pracy szczegółowo omówiono możliwości diagnostyki obrzęku płuc, odmy jamy opłucnowej, zatorowości płucnej oraz zapalenia płuc o etiologii grzybiczej za pomocą ultradźwięków.

Ultrasonograficzne kryteria diagnostyczne odmy jamy opłucnej podzielono na kryteria wykluczające i potwierdzające rozpoznanie. Do kryteriów wykluczających odmy jamy opłucnowej zaliczono obecność objawu ślizgania linii opłucnej *lung sliding*, obecność ultrasonograficznych artefaktów linii B, artefaktów linii Z oraz artefaktów linii I (modyfikacja własna), a także stwierdzenia objawu określanego w piśmiennictwie angielskim jako *lung pulse*. Za kryteria potwierdzające obecność odmy jamy opłucnej przyjęto obecność charakterystycznego wzorca zmian, określanego jako profil A' oraz stwierdzenie objawu *lung point* lub *double lung point*.

Do rozpoznania obrzęku płuc przyjęto następujące kryteria: uwidocznienie trzech lub więcej artefaktów linii B w jednym podłużnym przyłożeniu głowicy typu convex lub głowicy sektorowej, uwidocznienie siedmiu lub więcej artefaktów linii B w jednym poprzecznym przyłożeniu głowicy liniowej wysokiej częstotliwości (8-12 MHz). Jednocześnie zmiany muszą być widoczne nad całą powierzchnią płuc, a jeżeli nie ma możliwości wykonania badania tylnej powierzchni klatki piersiowej, zmiany muszą być obecne nad całą przednio-boczną lub boczną powierzchnią klatki piersiowej.

Kryteria diagnostyczne rozpoznania ARDS obejmują obecność tzw. zespołów śródmiąższowych lub zespołów śródmiąższowo-pęcherzykowych w każdym z ocenianych obszarów płuc. Ponadto, konieczne jest stwierdzenie zmian w linii opłucnej, takich jak pogrubienie linii opłucnej >2mm, obecność drobnych podopłucnowych obszarów konsolidacji, nieregularny zarys linii opłucnej, obecność obszarów z brakiem lub zredukowanym „objawem ślizgania” (w porównaniu do przylegających obszarów płuca). Kolejne kryteria obejmują uwidocznienie w co najmniej jednej przestrzeni międzyżebrowej tzw. *spared areas*, czyli występowania obok siebie obszarów prawidłowego obrazu płuca i obszarów z zespołami śródmiąższowo-pęcherzykowymi, obecność podopłucnowych obszarów konsolidacji tkanki płucnej o echogeniczności zbliżonej do echogeniczności wątroby, z widocznym bronchogramem powietrznym. Ostatnie dotyczą obecności płynu w jamie opłucnej oraz stwierdzenia ultrasonograficznego objawu określanego

jako *lung pulse*, opisywanego jako brak „objawu ślizgania” opłucnej i przemieszczanie się płuca zgodnie z akcją serca.

W diagnostyce zatorowości płucnej (ZP) kryteria diagnostyczne podzielono na dwie grupy: kryteria dla zatorowości płucnej wysokiego ryzyka oraz kryteria dla zatorowości płucnej niewysokiego ryzyka. W grupie pacjentów z zatorowością płucną wysokiego ryzyka kryteria przyjęto zgodnie protokołem diagnostycznym „*BLUE protocol*”. W tej grupie pacjentów rozpoznanie ZP stawiane jest na podstawie wykluczenia innych przyczyn niewydolności oddechowej, połączonej z możliwością potwierdzenia zmian zakrzepowo-zatorowych w naczyniach żylnych kończyn dolnych, wykorzystując ultrasonograficzny test uciskowy, będący jednym z elementów tego protokołu diagnostycznego. W diagnostyce ultrasonograficznej zatorowości płucnej niewysokiego ryzyka wykorzystuje się cztery kryteria diagnostyczne: mięśzowe – stwierdzenie podopłucnowych obszarów konsolidacji tkanki płucnej, opłucnowe – obecność płynu w jamie opłucnej, naczyniowe – brak przepływu w obszarach konsolidacji ocenianego za pomocą w opcji dopplerowskich i śródmięszkowe – uwidocznienie zmian odpowiadających „lokalnemu” obrzękowi płuc, który manifestuje się obecnością zespołów śródmięszkowo-pęcherzykowych w obszarach przylegających do zmian typowych dla zatorowości płucnej niewysokiego ryzyka.

Ultrasonograficzne kryteria rozpoznania inwazyjnej choroby grzybiczej płuc za pomocą PBUP opracowane zostały po analizie obrazów ultrasonograficznych zmian w płucach u dzieci leczonych z powodu choroby nowotworowej, u których na podstawie danych klinicznych, badań laboratoryjnych i badań obrazowych płuc postawiono rozpoznanie inwazyjnej choroby grzybiczej płuc i wdrożono systemowe leczenie przeciwgrzybicze. Kryteria te opracowano według takiego samego schematu jak kryteria rozpoznania klasycznego zapalenia płuc o etiologii bakteryjnej, uwzględniając kryteria mięśzowe, opłucnowe i naczyniowe. Poszerzono je o dodatkowe kryterium, jakim jest obecność lub brak „płucnych” artefaktów ultrasonograficznych w obszarach przylegających do konsolidacji mięszu płucnego.

W pracy przedstawiono analizę wyników przezklatkowych badań ultrasonograficznych płuc u dzieci leczonych na Oddziałach Hematologii i Onkologii Dziecięcej w Katedrze i Klinice Pediatrii, Hematologii Onkologii i Endokrynologii Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego, kierowanym przez prof. dr hab. Annę Balcerską. Badania w okresie od 10 listopada 2009 roku do 30 czerwca 2012 roku przeprowadził zespół pracowników działającej przy Klinice Pracowni Diagnostyki Ultrasonograficznej i Biopsyjnej. Analizie poddano wyniki 1297 badań ultrasonograficznych płuc, które wykonano u 322 pacjentów obojga płci, w tym u 132 dziewcząt (41% pacjentów) oraz u 190 chłopców (59% pacjentów). Wiek pacjentów w chwili badania wynosił od 1 roku do 18 lat, średnia wieku w analizowanej grupie wyniosła 8,7 lat. Maksymalna liczba badań wykonanych u jednego pacjenta wyniosła 35, a minimalna 1 badanie. U jednego pacjenta wykonano średnio 4 badania. Zmiany patologiczne stwierdzono u 51/322 chorych.

Najczęściej stwierdzaną zmianą w obrębie klatki piersiowej była inwazyjna choroba grzybicza płuc, stwierdzana u pacjentów będących w głębokiej neutropenii (9,3% badanych pacjentów), Obrzęk płuc i zatorowość płucną rozpoznano odpowiednio u 10/322 co stanowi po 3,1% badanych i 7/322 co stanowi 2,2% badanych. Najrzadszym rozpoznaniem w badanej grupie była jatrogenna odma jamy opłucnej (1,2% badanych pacjentów). Rozpoznanie postawione na podstawie PBUP potwierdzano badaniem TK lub badaniem RTG klatki piersiowej. Tylko w jednym przypadku rozpoznanie potwierdził jedynie przebieg kliniczny. Udokumentowano tym samym bardzo dużą zgodność pomiędzy wymienionymi metodami diagnostycznymi.

Na podstawie przeprowadzonej w pracy analizy sformułowano wnioski, dotyczące zastosowania PUBP w praktyce. Autor postuluje, że przezklatkowe badanie ultrasonograficzne płuc może być wykorzystywane w diagnostyce chorób płuc u dzieci jako metoda uzupełniająca dotychczas stosowane techniki obrazowania zmian w płucach. Ponadto w populacji pediatrycznej możliwa jest diagnostyka ultrasonograficzna nie tylko zapalenia płuc, lecz także odmy jamy opłucnej, zatorowości płucnej i obrzęku płuc. Jednocześnie przezklatkowe badanie ultrasonograficzne płuc jest niezwykle przydatne we wczesnej diagnostyce inwazyjnej aspergilozy płucnej u dzieci leczonych z powodu z choroby nowotworowej, a w diagnostyce jatrogennej odmy jamy opłucnej u dzieci PBUP powinno być pierwszym wykonanym badaniem obrazowym, a inne techniki obrazowania płuc wykonywane tylko w przypadku wątpliwości klinicznych. Autor zwraca uwagę na konieczność walidacji metody w dalszych badaniach prospektywnych na znacznie większej liczbie pacjentów oraz wskazuje na konieczność dalszej, skuteczniejszej niż dotychczas promocji tej metody wśród lekarzy.

10. SUMMARY

Imaging of changes in the lung parenchyma with ultrasound has yet to find its place in the diagnostic algorithms of lung diseases and is still not widely accepted as a method by majority of clinicians. Despite free access to the already large number of publications with well-documented usefulness of the ultrasound lung assessment in clinical practice, the belief of no feasibility and relevance of examination of lung tissue with ultrasound is widespread not only among the paediatric population, but also among adults. Ultrasound evaluation of organs located inside the chest in children is not a new issue and is done in everyday practice in most paediatric centres. However, the evaluation of mediastina, pleural cavity and pleural areas of lung consolidation are so far the only elements of lung ultrasound used in paediatrics. In this group of patients, there are no data on possible use of lung ultrasound in the diagnosis of pulmonary oedema, pneumothorax, pulmonary embolism and fungal aetiology pneumonia.

The primary objective of the dissertation was to present the possibilities of using transthoracic lung ultrasound in children, with a particular emphasis on patients being treated for cancer. Another aim was to present lung ultrasound as a method of imaging diagnostic of changes in the lungs of children with regard to technical aspects of the study, the correct lung image and pathological changes in selected disease entities: pneumothorax, pulmonary embolism, pulmonary oedema, and invasive pulmonary aspergillosis.

The aim of the study was carried out in the first part of the paper presenting the history of ultrasound lung diagnostic and its current state in both general and pediatric population and discussing in detail the arguments for using it in daily practice, which are divided into a number of problems, such as good diagnostic potential of lung ultrasound in children in the context of the data available for the adult population, the safety of the method, its availability, the possibility to assess changes in the lungs of patients with absolute and relative contraindications for radiological examinations and practical aspects of using the method.

The second part of the study presents and summarizes own experience in the ultrasound diagnosis of pneumothorax, pulmonary embolism, pulmonary oedema, and invasive pulmonary aspergillosis in children treated for cancer. Detailed ultrasound diagnostic criteria for those disease entities for the paediatric population and the results of own research are presented. In addition, in the two annexes to the paper publications the author considers crucial in the development of ultrasound diagnosis of lung are summarized, separately for adult and paediatric populations and in the supplement describes in detail the method of transthoracic lung ultrasound in children. This system was chosen because of the absence of data in the available literature on the possible use of ultrasound evaluation of the

lungs of children diagnosed and treated for cancer and the fact that these are conditions presenting a 'direct life-threatening state of the child' and until now no ultrasound diagnostic criteria that can be used in the paediatric population have been developed. An argument for the presentation of the author's own experience is the fact that at the moment lung ultrasound is a first imaging method of lungs in this group of patients treated in the Department of Paediatrics, Haematology and Oncology, Medical University of Gdansk and its technique, ultrasound diagnostic criteria and differential diagnosis of lung lesions in children have been developed by the author on the basis of literature data on the adult population, a number of paediatrics-related papers and own several years of experience in paediatric ultrasound department. The paper details the ultrasound diagnostic criteria for four selected disease entities.

Ultrasound diagnostic criteria of pneumothorax were divided into criteria that exclude pneumothorax diagnosis such as the presence of 'lung sliding', the presence of ultrasound B-line artefacts, Z-line artefacts and I-line artefacts (own modification), the presence of 'lung pulse' symptom, and criteria that confirm the presence of pneumothorax include: the presence of a pattern of changes known as an 'A prime' profile, according to the criteria established by Daniel Lichtenstein in a diagnostic 'BLUE protocol', finding a symptom known as 'lung point' and the 'double lung point' symptom.

For the diagnosis of pulmonary oedema, the following criteria were settled: visualization of three or more B-line artefacts in a longitudinal probe (convex or sector type) position, visualization of seven or more B-line artefacts in a transverse position for a linear probe (8 - 12 MHz), these changes must be visible over the entire surface of the lungs. If it is impossible to carry out the examination of the back side of the chest, the changes must be present over the entire anterior - lateral or lateral surface of the chest.

Diagnostic criteria for the diagnosis of ARDS were adopted under the criteria proposed by Copetti R. et al and include: the presence of the so-called interstitial syndromes or alveolar-interstitial syndromes in each of the evaluated areas of the lung, the presence of changes in pleural line: pleural line thickening > 2 mm, the presence of small areas of consolidation (up to 2.0 - 3.0 mm in diameter) with an irregular outline of the pleura, the presence of areas with no or reduced 'sliding sign' compared to adjacent areas of the lung, the presence of so-called 'spared areas' (healthy lung area and alveolar-interstitial area side by side) in at least one intercostal space, the presence of lung tissue consolidation areas of echogenicity similar to the echogenicity of the liver with a visible air bronchogram, the presence of fluid in the pleural cavity, the presence of 'lung pulse' sign, which is described as a lack of 'sliding symptom' of the pleura and lung movement corresponding the action of the heart.

In the diagnosis of pulmonary embolism different diagnostic criteria for patients of the group known as high risk pulmonary embolism and low risk pulmonary embolism group were accepted. In the first group, these criteria were set in accordance with the ones established by Daniel Lichtenstein in his 'BLUE protocol'. In these patients, diagnosis of pulmonary embolism is based on the exclusion of other causes of respiratory failure, with the possibility of confirmation of venous thromboembolic events in the veins of the lower limbs on the basis of ultrasound compression test, which is one of the elements of the diagnostic protocol. In the ultrasound diagnosis of low-risk pulmonary embolism four diagnostic criteria are used: parenchymal (presence of lung tissue consolidation areas), pleural (fluid in the pleural cavity), vascular (no flow in the areas of consolidation- assessed by Doppler Imaging) and interstitial (presenting changes that correspond to 'local' pulmonary oedema which manifests itself by the presence of the alveolar-interstitial syndromes adjacent to lesions typical for low-risk pulmonary embolism)

Ultrasonographic criteria for the diagnosis of invasive fungal lung disease using lung ultrasound were developed after analysis of ultrasound images of changes in the lungs in children treated for cancer in whom clinical data, laboratory tests and imaging studies confirmed the diagnosis of invasive fungal lung disease and systemic antifungal treatment was implemented. These criteria were developed by the same pattern as the classic diagnostic criteria for bacterial pneumonia taking the parenchymal, pleural, and vascular criteria into account. These were extended by an additional criterion which is the presence or absence of 'lung' ultrasound artefacts in areas adjacent to the consolidation of the lung parenchyma.

The paper presents an analysis of the results of transthoracic lung ultrasound examinations in children treated in the Department of Paediatrics, Haematology and Oncology, Medical University of Gdansk (Head of the Department: Professor Anna Balcerska, MD, PhD), which were performed by the Ultrasound and Biopsy Department of Paediatrics, Haematology and Oncology Department, Medical University of Gdansk team. The examinations were performed between 10 November 2009 and 30 June 2012.

1297 lung ultrasound examinations that were performed in 322 patients of both sexes (132 girls, representing 41% of the entire group and 190 boys, representing 59% of the patients) were analysed. The age of patients at the time of the study ranged from 1 year to 18 years, the average age of the analysed group was 8.7 years. The maximum number of examinations performed in one patient was 35, and the minimum one study, on average four examinations were performed in one patient.

Pathological changes were found in 51 out of 322 patients. Most frequent change in the chest was invasive pulmonary aspergillosis in patients who are in profound neutropenia (9.3% of patients), and the least was iatrogenic pneumothorax (1.2% of patients). Pulmonary oedema and pulmonary embolism were diagnosed respectively in 10 and 7 out of 322 patients which is 3.1% and 2.2% of the respondents. In only one case the diagnosis based on lung ultrasound was confirmed with the clinical course, in the remaining patients CT or chest X-ray confirmed the diagnosis. This documents that these diagnostic methods are highly compatible.

On the basis of the analysis in this paper, the following conclusions were formed: transthoracic lung ultrasound can be used in the diagnosis of lung diseases in children as a complementary method to previously used lung lesion imaging techniques; in the paediatric population, not only ultrasonographic diagnosis of pneumonia is possible, but also pneumothorax, pulmonary embolism and pulmonary oedema; transthoracic lung ultrasound is extremely useful for the early diagnosis of invasive pulmonary aspergillosis in children treated for cancer; in children in the diagnostics of iatrogenic pneumothorax lung ultrasound should be the first imaging technique, other lung imaging techniques ought to be performed only in case of clinical doubts; the presented conception of diagnosis of lung diseases in children with lung ultrasound requires further prospective studies on a much larger number of patients, however, it is necessary to further and more effectively promote this method among doctors.

11. SUPPLEMENT

Kluczowe publikacje w rozwoju ultrasonografii płuc

- **Dénier A.** *Les ultrasons, leur application au diagnostic.* 1946, *Presse Med.* 22, 307-308.
1946 r. – pierwsza publikacja sugerująca możliwość oceny obecności płynu w jamie opłucnowej za pomocą ultradźwięków.
- **Pell R.L.** *Ultrasound for routine clinical investigations.* *Ultrasonics.* 1964, *April-June, Vol. 2, Issue 2,* 87-89.
1964 r. – autor potwierdza tezę Deniera.
- **Rolfo F. i wsp.** *Experimental and clinical research on the possibilities of the use of ultrasonics in the diagnosis of some chest diseases.* *Arch Sci Med.* 1964 *Jun.,* 117, 277-295.
1964 r. – pierwsza publikacja odnośnie możliwości diagnostyki chorób płuc za pomocą ultradźwięków.
- **Joyner C.R. Jr, Herman R.J., Reid J.M.** *Reflected ultrasound in the detection and localization of pleural effusion.* *JAMA.* 1967, 200 (5), 399-402.
1966 r. – autor dokumentuje przydatność diagnostyki ultradźwiękowej do oceny płynu w jamie opłucnej.
- **Joyner C.R. Jr, Miller L.D., Dudrick S.J., Eskin D.J., Knight D.H.** *Reflected ultrasound in the detection of pulmonary embolism.* *Trans Assoc Am Physicians.* 1966, 79, 262-77.
1966 r. – pierwsza publikacja o możliwości diagnostyki zatorowości płucnej za pomocą ultradźwięków.
- **Miller L.D., Joyner C.R., Dudrick S.J., Eskin D.J.** *Clinical use of ultrasound in the detection of pulmonary embolism.* *Trans Assoc Am Physicians,* 1966, 166, 381-392.
1966 r. – autorzy potwierdzają przydatność kliniczną ultradźwięków w diagnostyce zatorowości płucnej.
- **Ross A.M., Crentin E., Hohes J.M.** *Ultrasonic examination of the lung.* 1968, *J Lab Clin Med.* 72, 556-564.
1968 r. – pierwszy poglądowy artykuł o diagnostyce ultrasonograficznej płuc.

- **Doust B.D., Baum J.K., Maklad N.F., Doust V.L.** *Ultrasound evaluation of pleural opacities. Radiology 1975, 114, 135-140.*
1975 r. – pierwsza publikacja dokumentująca możliwość wykorzystania ultrasonografii w diagnostyce chorób płuc i opłucnej w porównaniu do klasycznych badań rentgenowskich płuc.
- **Gryminski J., Krakowka P., Lypacewicz G.** *The diagnosis of pleural effusion by ultrasonic and radiologic techniques. Chest 1976, 70 (1), 33-37.*
1976 r. – pierwsza publikacja potwierdzająca, że ultrasonograficzna ocena objętości płynu w jamie opłucnej jest bardziej dokładna niż klasyczne badania radiologiczne płuc.
- **Chandrasekhar A.J., Reynes C.J., Churchill R.J.** *Ultrasonically guided percutaneous biopsy of peripheral pulmonary masses. Chest, 1976, 70, 627-630.*
1976 r. – autor prezentuje zastosowanie ultrasonografii do monitorowania biopsji położonych obwodowo zmian w płucach.
- **Ravin C.E.** *Thoracocentesis of loculated pleural effusions using grey scale ultrasonic guidance. Chest, 1977 May; 71(5), 666-668.*
1977 r. – autor przedstawia możliwość wykorzystania ultrasonografii w monitorowaniu punkcji otorbionego płynu w jamie opłucnej.
- **Adams F.V., Galati V.** *M-mode ultrasonic localization of pleural effusion: use in patients with nondiagnostic physical and roentgenographic examinations. JAMA. 1978, 239, 1761-1764.*
1978 r. – pierwsze zastosowanie obrazowania w opcji M-mode w diagnostyce płynu w jamie opłucnej, dokumentujące jego obecność przy braku zmian w badaniu fizykalnym i klasycznym badaniu rtg płuc.
- **Marks W.M., Filly R.A., Callen P.W.** *Real-time evaluation of pleural lesions: new observations regarding the probability of obtaining free fluid. Radiology 1982, 142, 163-164.*
1982 r. – autorzy prezentują zastosowanie techniki obrazowania w czasie rzeczywistym w diagnostyce różnicowej pomiędzy obecnością płynu w jamie opłucnej a zmianą litą.

- **Weinberg B., Diakoumakis E.E., Kass E.G., Seife B., Zvi Z.B.** *The air bronchogram: sonographic demonstration. Am J Roentgenol.* 1986, 147, 593-595.
1986 r. – autorzy jako pierwsi opisują obraz ultrasonograficzny bronchogramu powietrznego w zapaleniu płuc.
- **Dorne H.L.** *Differentiation of pulmonary parenchymal consolidation from pleural disease using the sonographic fluid bronchogram. Radiology.* 1986 Jan., 158(1), 41-2.
1986 r. – pierwszy opis obrazu ultrasonograficznego bronchogramu płynowego.
- **Wernecke K., Galanski M., Peters P.E., Hansen J.** *Pneumothorax: evaluation by ultrasound—preliminary results. J Thorac Imaging.* 1987 Apr., 2(2), 76-78.
Rantanen N.W. *Diseases of the thorax. Vet Clin North Am Equine Pract.,* 1986 Apr., 2(1), 49-66.
1987 r. – obraz ultrasonograficzny odmy opłucnowej z wykorzystaniem kryteriów rozpoznania odmy opłucnowej opisanych rok wcześniej przez Rantanena w diagnostyce odmy opłucnowej u koni.
- **Lorenz J., Borner N., Nikolaus H.P.** *Sonographic volumetry of pleural effusions. Ultraschall Med.,* 1988, 212-215.
1988 r. – autor prezentuje metodę oceny objętości płynu w jamie opłucnej za pomocą ultradźwięków.
- **Acunas B., Celik L., Acunas A.** *Chest sonography. Differentiation of pulmonary consolidation from pleural disease. Acta Radiol.,* 1989 May–Jun.; 30(3), 273-5.
1989 r. – autor wykorzystuje bronchogram powietrzny, płynowy i pułapkę powietrzną do ultrasonograficznej charakterystyki obszaru konsolidacji tkanki płucnej.
- **Mathis G., Metzler J., Feurstein M., Fussenegger D., Sutterlütli G.** *Lung infarcts detected with ultrasonography. Ultraschall Med.,* 1990 Dec.; 11(6), 281-283.
1990 r. – pierwsza publikacja o możliwości diagnostyki zatorowości płucnej pod postacią zawału niekompletnego z wykorzystaniem przezklatkowego badania ultrasonograficznego płuc.
- **Walz M., Muhr G.** *Sonographische Diagnostik beim stumpfen Thoraxtrauma. Unfallchirurg.* 1990, 93, 359-363.
1990 r. – pierwsza publikacja o wykorzystaniu PBUP w diagnostyce pacjentów po urazie klatki piersiowej.

- **Wu H.D., Yang P.C., Lee L.N.** *Differentiation of lung abscess and empyema by ultrasonography. J Formos Med Assoc., 1991 Aug., 90(8), 749-754.*
1991 r. – autor przedstawia ultrasonograficzne kryteria różnicowania pomiędzy ropniem a ropniakiem płucnej.
- **Goerg C., Schwerek W.B., Goerg K., Walters E.** *Pleural effusion: an 'acoustic window' for sonography of pleural metastases. J Clin Ultrasound 1991; 19, 93-97.*
1991r. – diagnostyka ultrasonograficzna przerzutów do opłucnej z wykorzystaniem płynu w jamie opłucnej jako okna akustycznego.
- **Mathis G., Metzler J., Fusenegger D., Feurstein M., Sutterlutti G.** *Ultraschallbefunde bei Pneumonie. Ultraschall Klin Prax. 1992, 7, 45-49.*
1992 r. – pierwsza publikacja systematyzująca diagnostykę ultrasonograficzną zapaleń płuc.
- **Targhetta R., Chavagneux R., Bourgeois J.M., Dauzat M., Balmes P., Pourcelot L.** *Sonographic approach to diagnosing pulmonary consolidation. J Ultrasound Med. 1992, 11, 667-672.*
1992 r. – autor podaje kryteria ultrasonograficznej diagnostyki różnicowej obszarów konsolidacji tkanki płucnej.
- **Targhetta R., Bourgeois J.M., Chavagneux R., Balmes P.** *Diagnosis of pneumothorax by ultrasound immediately after ultrasonically guided aspiration biopsy. Chest, 1992 Mar.; 101(3), 855-856.*
1992 r. – autorzy przedstawiają możliwość wykorzystania PBUP wykonanego bezpośrednio po biopsji aspiracyjnej zmian w płucach w diagnostyce jatrogennej odmy opłucnowej.
- **Targhetta R., Bourgeois J.M., Chavagneux R., Marty-Double C., Balmes P.** *Ultrasonographic approach to diagnosing hydropneumothorax. Chest, 1992 Apr., 101(4), 931-934.*
1992 r. – autor podaje ultrasonograficzne kryteria diagnostyczne hydropneumothorax.
- **Yu C.J., Yang P.C., Chang D.B., Luh K.T.** *Diagnostic and therapeutic use of chest sonography: value in critically ill patients. AJR Am J Roentgenol., 1992 Oct., 159(4), 695-701.*
1992 r. – autorzy prezentują przydatność PBUP w grupie pacjentów w stanach zagrożenia życia w oddziale intensywnej terapii.

- **Yang P.C., Luh K.T., Chang D.B., Wu H.D., Yu C.J., Kuo S.H.** *Value of sonography in determining the nature of pleural effusion: analysis of 320 cases. AJR., 159, 29-33.*
1992 r. – autorzy podają kryteria ultrasonograficznej diagnostyki różnicowej płyn w jamie opłucnej z uwzględnieniem jego etiologii.
- **Mathis G., Dirschmid K.** *Pulmonary infarction: sonographic appearance with pathologic correlation. Eur J Radiol., 1993; 17, 170-174.*
1993 r. – autorzy przedstawia obraz ultrasonograficzny zawału płuca w kontekście zmian patomorfologicznych, uzasadniając słuszność koncepcji obrazowania zmian zatorowych w płucach w lokalizacji podopłucnowej.
- **Civardi G., Fornari F., Cavanna L., Di Stasi M., Sbolli G. et al.** *Vascular signals from pleural-based lung lesions studied with pulsed Doppler ultrasonography. 1993; J Clin Ultrasound., 21, 617-622.*
1993 r. – pierwsza publikacja o możliwości wykorzystania PBUP z zastosowaniem opcji dopplerowskiej w diagnostyce zmian litych w płucach.
- **Yuan A., Yang P.C., Chang D.B.** *Pulmonary infarction: use of color Doppler sonography for diagnosis and assessment of reperfusion of the lung. AJR Am J Roentgenol., 1993 Feb., 160(2), 419-420.*
1993 r. – autorzy potwierdzają przydatność obrazowania zmian w przebiegu zatorowości płucnej i zawału płuca za pomocą dopplera kodowanego kolorem.
- **Wu R.G., Yuan A., Liauw Y.S., Chang D.B., Yu C.J., Wu H.D., Kuo S.H., Luh K.T., Yang P.C.** (1994) *Image comparison of real-time gray-scale ultrasound and color Doppler ultrasound for use in diagnosis of minimal pleural effusion. Am J Respir Crit care Med., 150, 510-514.*
1994 r. – autorzy wykorzystują dopplerowski artefakt ultrasonograficzny określany jako „color fluid sign” w diagnostyce niewielkiej objętości płynu w jamie opłucnej.

- **Yuan A., Chang D.B., Yu C.J., Kuo S.H., Luh K.T., Yang P.C.** *Color Doppler sonography of benign and malignant pulmonary masses. AJR Am J Roentgenol., 1994 Sep., 163(3), 545-549.*
1994 r. – autorzy prezentują próbę wykorzystania oceny zmian ogniskowych w lokalizacji podopłucnowej za pomocą dopplera kodowanego kolorem w diagnostyce różnicowej zmian łagodnych i złośliwych.
- **Targhetta R., Chavagneux R., Balmes P., Lemerre C., Mauboussin J.M., Bourgeois J.M., Pourcelot L.** *Sonographic lung surface evaluation in pulmonary sarcoidosis: preliminary results. J Ultrasound Med., 1994 May, 13(5), 381-388.*
1994 r. - autorzy przedstawiają obraz ultrasonograficzny zmian w płucach w przebiegu sarkoidozy.
- **Kopf A., Metzler J., Mathis G.** *Sonographie bei Lungentuberkulose. Bildgebung, 1994, 61(S2), 12.*
1994 r. – autorzy opisują obraz ultrasonograficzny zmian w płucach w przebiegu gruźlicy płuc.
- **Lichtenstein D.A.** *Diagnostic echographique de l'oedeme pulmonaire. Rev Im Med., 1994, 6, 561-562.*
1994 r. – pierwsza publikacja o możliwości wykorzystania ultrasonografii w diagnostyce obrzęku płuc.
- **Gehmacher O., Mathis G., Kopf A., Scheier M.** *Ultrasound imaging of pneumonia. Ultrasound Med Biol., 1995, 21(9), 1119-1122.*
1995 r. – pierwsza anglojęzyczna publikacja omawiająca kryteria ultrasonograficzne rozpoznania zapalenia płuc.
- **Lichtenstein D.A., Menu Y.** *A bedside ultrasound sign ruling out pneumothorax in the critically ill. Lung sliding. Chest, 1995 Nov., 108(5), 1345-1348.*
1995 r. – pierwsza publikacja dokumentująca przydatność kliniczną ultrasonograficznego objawu ślizgania opłucnej (*ang. lung sliding*) w diagnostyce odmy opłucnowej w grupie pacjentów oddziału intensywnej terapii.

- **Wu R.G., Yang P.C., Kuo S.H., Luh K.T.** "Fluid color" sign: a useful indicator for discrimination between pleural thickening and pleural effusion, *J Ultrasound Med.* 1995, 14, 767-769.
1995 r. – autorzy wykorzystują ultrasonograficzny objaw „fluid color sign” w różnicowaniu pomiędzy pogrubieniem opłucnej a obecnością niewielkiej objętości płynu w jamie opłucnej.
- **Hsu W.H., Ikezoe J., Chen C.Y., Kwan P.C., Hsu C.P., Hsu N.Y., Chiang C.D., Ho W.L.** Color Doppler ultrasound signals of thoracic lesions. Correlation with resected histologic specimens. *Am J Respir Crit Care Med.*, 1996 Jun.; 153, 1938-1951.
1996 r. – autorzy prezentują korelację pomiędzy obrazem ultrasonograficznym zmian w płucach ocenianych w opcjach dopplera kodowanego kolorem i dopplera spektralnego a oceną histopatologiczną pobranych tkanek.
- **Lichtenstein D., Mézière G., Biderman P., Gepner A., Barré O.** The comet-tail artifact. An ultrasound sign of alveolar-interstitial syndrome. *Am J Respir Crit Care Med.*, 1997 Nov., 156(5), 1640-1646.
1997 r. – dokumentują przydatność ultrasonograficznych artefaktów linii B w diagnostyce zmian śródmiąższowych w płucach.
- **Gehmacher O., Kopf A., Scheier M., Bitschnau R., Wertgen T., Mathis G.** Can pleurisy be detected with ultrasound? *Ultraschall Med.* 1997, 18, 214-219.
1997 r. – autorzy dokumentują przydatność PBUP w diagnostyce zapalenia opłucnej.
- **Lichtenstein D., Mezière G.** A lung ultrasound sign allowing bedside distinction between pulmonary edema and COPD: the comet-tail artifact. *Intensive Care Med.*, 1998 Dec., 24(12), 1331-1334.
1998 r. – autorzy wykorzystują artefakty linii B w diagnostyce różnicowej obrzęku płuc z zaostrzeniem przewlekłej obturacyjnej choroby płuc (POChP).
- **Mathis G., Bitschnau R., Gehmacher O., Scheier M., Kopf A., Schwärzler B., Amann T., Doring W., Hergan K.** Chest ultrasound in diagnosis of pulmonary embolism in comparison to helical CT. *Ultraschall Med.*, 1999 Apr., 20(2), 54-59.
1999 r. – autorzy potwierdzają wysoką czułość i swoistość PBUP w diagnostyce zatorowości płucnej w ocenie zmian położonych podopłucnowo w korelacji z badaniem za pomocą spiralnej tomografii komputerowej.

- **Lichtenstein D., Mezière G., Biderman P., Gepner A.** *The comet-tail artifact: an ultrasound sign ruling out pneumothorax. Intensive Care Med., 1999 Apr., 25(4), 383-388.*
1999 r. – autorzy dokumentują diagnostyczną przydatność ultrasonograficznego artefaktu ogona komety w diagnostyce odmy opłucnowej.
- **Lichtenstein D., Mezière G., Biderman P., Gepner A.** *The "lung point": an ultrasound sign specific to pneumothorax. Intensive Care Med., 2000 Oct., 26(10), 1434-1440.*
2000 r. – autorzy dokumentują diagnostyczną przydatność ultrasonograficznego objawu określanego w piśmiennictwie anglojęzycznym jako „lung point” w diagnostyce odmy opłucnowej.
- **Wohlgemant S., Gehmacher O., Gehmacher U., Kopf A., Mathis G.** *Sonographic findings in interstitial lung diseases. Ultraschall Med., 2001 Feb, 22(1), 27-31.*
2001 r. – autorzy prezentują obraz ultrasonograficzny zmian w chorobach śródmiąższowych płuc.
- **Kirkpatrick A.W., Ng A.K., Dulchavsky S.A., Lyburn I., Harris A., Torregiani W., Simons R.K., Nicolaou S.** *Sonographic diagnosis of a pneumothorax inapparent on plain radiography: Confirmation by computed tomography. J Trauma., 2001, 50, 750-752.*
2001 r. – autor dokumentuje przydatność diagnostyki ultrasonograficznej w diagnostyce odmy opłucnowej „niemej” w klasycznym badaniu radiologicznym. Potwierdza przydatność diagnostyki ultrasonograficznej płuc głowicami liniowymi wysokiej częstotliwości.
- **Kirkpatrick A.W., Brown D.R., Crickmer S., Mohr B.P., Hamilton D.R., Cunningham J., Walden P.D., Nicolaou S.** *Hand-held portable sonography for the on-mountain exclusion of a pneumothorax. Wilderness Environ Med., 2001, 12(4), 270-272.*
2001 r. – autorzy opisują przydatność i możliwość wykorzystania przenośnych aparatów ultrasonograficznych w diagnostyce odmy opłucnowej.
- **Lichtenstein D.A., Lascols N., Prin S., Mezière G.** *The "lung pulse": an early ultrasound sign of complete atelectasis. Intensive Care Med., 2003 Dec., 29(12), 2187-192.*
2003 r. – autorzy dokumentują przydatność tzw. „lung pulse” we wczesnej diagnostyce niedodmy.

- **Reissig A., Kroegel C.** *Transthoracic ultrasound of lung and pleura in the diagnosis of pulmonary embolism: a novel non-invasive bedside approach.* *Respiration.* 2003 Sep.–Oct., 70(5), 441-452.
2003 r. – autorzy dokumentują przydatność ultrasonograficznej oceny płuc i opłucnej w diagnostyce zatorowości płucnej.
- **Görg C., Seifart U., Görg K., Zugmaier G.** *Color Doppler sonographic mapping of pulmonary lesions: evidence of dual arterial supply by spectral analysis.* *J Ultrasound Med.,* 2003, 1033-1039.
2003 r. – autorzy opisują podwójne unaczynienie tętnicze w opcji dopplera spektralnego zmian ogniskowych w płucach położonych obwodowo, zmieniając poglądy na możliwość diagnostyki różnicowej tych zmian za pomocą opcji dopplerowskich.
- **Jambrik Z., Monti S., Coppola V., Agricola E., Mottola G., Miniati M., Picano E.** *Usefulness of ultrasound lung comets as a nonradiologic sign of extravascular lung water.* *Am J Cardiol.,* 2004 May, 15, 93(10), 1265-1270.
2004 r. – autorzy przedstawia koncepcję wykorzystania ultrasonograficznych artefaktów linii B do oceny objętości wody pozanaczyniowej w płucach.
- **Kirkpatrick A.W., Sirois M., Laupland K.B., Liu D., Rowan K., Ball C.G., Hameed S.M., Brown R., Simons R., Dulchavsky S.A., Hamilton D.R., Nicolaou S.** *Hand-held thoracic sonography for detecting post-traumatic pneumothoraces: the Extended Focused Assessment with Sonography for Trauma (EFAST).* *J Trauma.,* 2004, 57, 288-295.
2004 r. – autorzy wprowadzają pojęcie EFAST (*Extended Focused Assessment with Sonography for Trauma*) rozszerzając klasyczny algorytm diagnostyczny określany jako FAST (*Focused Assessment with Sonography for Trauma*) o badanie ultrasonograficzne płuc u pacjentów w stanach zagrożenia życia, celem wykluczenia lub potwierdzenia obecności odmy opłucnowej i/lub płynu w jamie opłucnej.
- **Chung M.J., Goo J.M., Im J.G., Cho J.M., Cho S.B., Kim S.J.** *Value of high-resolution ultrasound in detecting a pneumothorax.* *Eur Radiol.,* 2005 May, 15(5), 930-935.
2005 r. – autorzy dokumentują przydatność korzystania z głowic liniowych wysokiej częstotliwości w diagnostyce odmy opłucnowej.

- **Agricola E., Bove T., Oppizzi M., Marino G., Zangrillo A., Margonato A., Picano E.** "Ultrasound comet-tail images": a marker of pulmonary edema: a comparative study with wedge pressure and extravascular lung water. *Chest*, 2005 May, 127(5), 1690-1695.
2005 r. – autorzy prezentują metodę szacunkowej oceny objętości wody pozanaczyniowej w płucach w diagnostyce obrzęku płuc wykorzystując analizę artefaktów ogona komety, korelując wyniki z pomiarem ciśnienia zaklinowania w tętnicy płucnej.
- **Görg C., Bert T., Görg K.** Contrast-enhanced sonography for differential diagnosis of pleurisy and focal pleural lesions of unknown cause. *Chest*, 2005, 128, 3894-3899.
2005 r. – pierwsza publikacja o możliwości wykorzystania ultrasonograficznych środków kontrastujących w diagnostyce zmian ogniskowych w płucach.
- **Soldati G., Testa A., Silva F.R., Carbone L., Portale G., Silveri N.G.** Chest ultrasonography in lung contusion. *Chest*, 2006 Aug., 130(2), 533-538.
2006 r. – autorzy prezentują możliwości wykorzystanie PBUP w diagnostyce stłuczenia płuca.
- **Görg C., Bert T., Kring R.** Contrast enhanced sonography of the lung for differential diagnosis of atelectasis. *J Ultrasound Med.* 2006, 25, 35-39
2006 r. – autorzy wykorzystują ultrasonograficzne środki kontrastujące w diagnostyce różnicowej niedodmy.
- **Lichtenstein D.A., Mezière G.A.** Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol. *Chest*, 2008 Jul., 134(1), 117-125.
2008 r. – pierwsza publikacja odnośnie ultrasonograficznego algorytmu diagnostycznego w grupie pacjentów z niewydolnością oddechową określanego jako „BLUE protocol”.
- **Sperandeo M., Varriale A., Sperandeo G., Filabozzi P., Piattelli M.L., Carnevale V., Decuzzi M., Vendemiale G.** Transthoracic ultrasound in the evaluation of pulmonary fibrosis: our experience. *Ultrasound Med Biol.*, 2009 May, 35(5), 723-729.
2009 r. – autorzy prezentują obraz ultrasonograficzny włóknienia płuc.

Kluczowe publikacje w rozwoju ultrasonografii płuc w pediatrii

- **Kangaroo H., Sukov A., Sample W.F., Lipson M., Smith L.** *Ultrasonographic evaluation of juxtadiaphragmatic masses in children. Radiology, 1977, 1, 25, 785-787.*
1977 r. – pierwsza publikacja o możliwościach ultrasonograficznej oceny zmian w płucach przylegających do przepony z oceny przebrzuszej.
- **Haller J.O., Schneider M., Kassner E.G., Friedman A.P., Waldroup L.D.** *Sonographic evaluation of the chest in infants and children. AJR Am J Roentgenol., 1980 May, 134(5), 1019-1027.*
1980 r. – pierwsza publikacja odnośnie możliwości wykorzystania ultradźwięków w diagnostyce zmian w klatce piersiowej u dzieci.
- **Miller J.H., Reid B.S., Kemberling C.R.** *Water-path ultrasound of chest disease in childhood. Radiology, 1984 Aug., 152(2), 401-408.*
1984 r. – autorzy przedstawiają zastosowanie podkładki dystansującej w obrazowaniu zmian w klatce piersiowej poprawia jakość uzyskiwanych obrazów zmian patologicznych.
- **Mühler E., Wicher W., Engelhardt W., von Bernuth G.** *Diagnosis of pleural effusion using sector sonography in childhood. Monatsschr Kinderheilkd., 1986 Mar., 134(3), 146-149.*
1986 r. - pierwsza publikacja odnośnie diagnostyki płynu w jamie opłucnej u dzieci.
- **Schneider K, Mayr B, Fendel H.** *Potentialities and limitations of sonographic diagnosis of the chest in childhood. Rofo., 1986 May, 144(5), 546-551.*
Rosenberg H.K. *The complementary roles of ultrasound and plain film radiography in differentiating pediatric chest abnormalities. Radiographics, 1986 May, 6(3), 427-445.*
1986 r. – obie prace sugerują konieczność dodatkowej diagnostyki z wykorzystaniem ultradźwięków w przypadku jednostronnego zacięcia miąższu płuca w klasycznym badaniu rtg płuc.
- **Baysal K., Uysal S., Cetinkaya F., Gürses N., Akan H.** *Two-dimensional ultrasonographic findings of atelectatic lung segments. Indian J Pediatr., 1997 Sep.–Oct., 64(5), 713-717.*
1997 r. – autorzy prezentują obraz ultrasonograficzny niedodmy płuc u dzieci.

- **Schirg E., Larbig M.** *Wert des Ultraschalls bei der Diagnostik kindlicher Pneumonien. Ultraschall Med., 1999, 20, 34.*
1999 r. – autorzy prezentują możliwości diagnostyki ultrasonograficznej w zapalenia płuc u dzieci.
- **Liu D.M., Forkheim K., Rowan K., Mawson J.B., Kirkpatrick A., Nicolaou S.** *Utilization of ultrasound for the detection of pneumothorax in the neonatal special-care nursery. Pediatr Radiol., 2003 Dec., 33(12), 880-883.*
2003 r. – pierwszy opis przypadku rozpoznania odmy opłucnowej u noworodka.
- **Pieper C.H., Smith J., Brand E.J.** *The value of ultrasound examination of the lungs in predicting bronchopulmonary dysplasia Pediatr Radiol., 2004 Mar., 34(3), 227-231.*
2004 r. – autorzy oceniają przydatność ultrasonograficznej oceny płuc u noworodków w diagnostyce dysplazji oskrzelowo-płucnej.
- **Fontalvo L.F., Amaral J.G., Temple M., Chait P.G., John P., Krishnamuthy G., Smith C., Connolly B.** *Percutaneous US-guided biopsies of peripheral pulmonary lesions in children. Pediatr Radiol., 2006 Jun., 36(6), 491-497.*
2006 r. – autorzy prezentują przydatność ultrasonograficznie monitorowanej biopsji obwodowo położonych zmian w płucach u dzieci.
- **Kosiak M., Korbus-Kosiak A., Kosiak W., Potaz P.** *Is chest sonography a breakthrough in diagnosis of pulmonary thromboembolism in children? Pediatr Pulmonol., 2008 Dec., 43(12), 1183-1187.*
2008 r. – pierwsza publikacja o możliwości wykorzystania PBUP w diagnostyce zatorowości płucnej u dzieci.
- **Chiu C.Y., Wong K.S., Lai S.H., Huang Y.H., Tsai M.H., Lin Y.C.** *Peripheral hypoechoic spaces in consolidated lung: a specific diagnostic sonographic finding for necrotizing pneumonia in children. Turk J Pediatr., 2008, 50(1), 58-62.*
2008 r. – autorzy prezentują ultrasonograficzny obraz zmian w martwiczym zapaleniu płuc.
- **Copetti R., Cattarossi L.** *Ultrasound diagnosis of pneumonia in children. Radiol Med., 2008 Mar., 113(2), 190-198.*
2008 r. – autorzy potwierdzają przydatność PBUP w diagnostyce zapalenia płuc u dzieci z wykorzystaniem objawów i artefaktów ultrasonograficznych stosowanych u pacjentów dorosłych.

- **Copetti R., Cattarossi L., Macagno F., Violino M., Furlan R.** *LUS in respiratory distress syndrome: a useful tool for early diagnosis. Neonatology, 94, 52-59.*
2008 r – autorzy prezentują możliwości ultrasonograficznej diagnostyki płuc u noworodków z zespołem zaburzeń oddychania (NRDS).
- **Marciniak B., Fayoux P., Hébrard A., Krivosic-Horber R., Engelhardt T., Bissonnette B.** *Airway management in children: ultrasonography assessment of tracheal intubation in real time? Anesth Analg., 2009 Feb., 108(2), 461-465.*
2008 r. – autorzy wykorzystują diagnostykę ultrasonograficzną do oceny lokalizacji rurki intubacyjnej u dzieci.
- **Kurian J., Levin T.L., Han B.K., Taragin B.H., Weinstein S.** *Comparison of ultrasound and CT in the evaluation of pneumonia complicated by parapneumonic effusion in children. AJR Am J Roentgenol., 2009 Dec., 193(6), 1648-1654.*
2009 r. – autorzy potwierdzają wysoką czułość i swoistość diagnostyki ultrasonograficznej płuc w powikłanym zapaleniu płuc.
- **Stone M.B., Secko M.A.** *Bedside ultrasound diagnosis of pulmonary contusion. Pediatr Emerg Care., 2009 Dec., 25(12), 854-855.*
2009 r. – pierwszy opis przypadku rozpoznania stłuczenia płuca u dziecka w przyłożkowo wykonanym PBUP.
- **Caiulo V.A., Gargani L., Caiulo S., Fisicaro A., Moramarco F., Latini G., Picano E.** *Lung ultrasound in bronchiolitis: comparison with chest X-ray. Eur J Pediatr., 2011 Apr., 6.*
2011 r. – autorzy oceniają przydatność PBUP u dzieci z ostrym zapaleniem oskrzelików.